

А. Ф. ФРОЛОВ, И. В. КОРОТКИХ

624.13
Ф-91

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебного пособия для учащихся гидрогеологических специальностей техникумов

СССР
4474А

БИБЛИОТЕКА
Костромского архитектурно-строительного техникума



МОСКВА "НЕДРА" 1983

УДК 624.131.1(075)

Фролов А. Ф., Коротких И. В. Инженерная геология. Учеб. пособие для техникумов. М., Недра, 1983. 333 с.

Изложены основы грунтоведения, геодинамики литосферы, методы лабораторных и полевых исследований грунтов в инженерно-геологических целях, а также методика проведения инженерно-геологических исследований для целей строительства.

Для учащихся старших курсов геологоразведочных техникумов по специальности «Гидрогеология и инженерная геология».

Табл. 57, ил. 99, список лит.— 49 назв.

Рецензенты:

д-р геол.-минер. наук *А. И. Шеко* (ВСЕГИНГЕО),
Т. Н. Шитикова (Старооскольский геол.-разв. техникум)

Ф $\frac{3202000000-290}{043(01)-83}$ 49—83

© Издательство «Недра», 1983

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие написано согласно программе курса «Инженерная геология» (специальность «Гидрогеология и инженерная геология») для геологоразведочных техникумов, утвержденной Учебно-методическим управлением по среднему специальному образованию Министерства высшего и среднего специального образования СССР.

Книга состоит из четырех разделов: «Основы грунтоведения», «Методы лабораторных и полевых исследований грунтов в инженерно-геологических целях», «Основы инженерной геодинамики» и «Методика инженерно-геологических изысканий».

В работе описаны свойства грунтов и специфика их исследований, рассмотрены сущность и механизм развития неблагоприятных геологических процессов и дана их инженерно-геологическая оценка.

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» поставлены большие задачи по охране окружающей среды: «Улучшать охрану природы, усилить работу по сохранности сельскохозяйственных угодий, борьбу с эрозией почв, повысить темпы работ по рекультивации земель, обеспечить их защиту от селей, оползней, обвалов, засоления, заболачивания, подтопления и иссушения»*. В соответствии с этими задачами в работе особое внимание уделено мероприятиям по предупреждению возможных неблагоприятных последствий инженерно-геологических работ.

Введение, разделы I и III написаны преподавателем Киевского геологоразведочного техникума А. Ф. Фроловым, разделы II и IV кандидатом геолого-минералогических наук И. В. Коротких.

Книга может быть полезна проектировщикам и строителям, сталкивающимся в своей производственной деятельности с вопросами инженерной геологии.

Авторы благодарят всех, кто содействовал созданию данного учебного пособия и будут признательны тем, кто пришлет замечания и предложения по поводу улучшения книги.

* Материалы XXVI съезда КПСС, М., Политиздат, 1981, с. 183.

Этапом, предшествующим рождению отечественной инженерной геологии, следует считать конец XIX в., когда в России началось интенсивное строительство дорог, фабрик, плотин и других сооружений, что поставило перед специалистами ряд проблем геологического характера. К этому периоду приурочена деятельность таких корифеев геологической науки, как И. М. Мушкетов, А. П. Павлов, В. А. Обручев, И. М. Губкин.

Однако отечественная инженерная геология сформировалась как самостоятельная дисциплина в 30-е годы нашего столетия, когда в нашей стране в широких масштабах развернулось гидротехническое и промышленное строительство. В это время появляется специальная литература, создаются нормативы, разрабатываются методы лабораторных и полевых исследований, в том числе количественной оценки свойств горных пород. В эти годы были учреждены специальные кафедры при крупнейших геологических вузах страны и появились первые учебники по инженерной геологии Н. В. Бобкова и Н. Н. Маслова.

В становлении и развитии инженерной геологии как самостоятельной дисциплины большую роль сыграли труды Ф. П. Саваренского, В. А. Приклонского, И. В. Попова, М. М. Филатова, а позднее Е. М. Сергеева, Н. В. Коломенского, Г. К. Бондарика, И. С. Комарова, В. Д. Ломтадзе и др.

В 1959 г. И. В. Попов охарактеризовал инженерную геологию как отрасль геологии, изучающую динамику верхних горизонтов земной коры в связи с инженерной деятельностью человека.

В последние 20 лет, когда темпы научно-технического прогресса все более и более нарастают, в полной мере оправдалось предвидение акад. В. И. Вернадского о том, что человек становится «крупнейшей геологической силой». Сегодня человеческая деятельность, объектом которой являются литосфера, биосфера, атмосфера и гидросфера, приняла такие масштабы, когда не исключено нарушение сложившегося равновесия во внешней среде Земли. Достаточно сказать, что площадь, занятая различной застройкой на поверхности земли, составляет 4 % суши, а к 2000 г. она достигнет 15 %. Протяженность берегов искусственных морей превышает длину экватора. Площадь орошаемых и осушаемых земель, на которой коренным образом изменяются гидрогеологические и другие природные условия, приближается к 10 млн. га. Отвалы горных пород, скопившихся при различных видах подземного и наземного строительства и при горнодобывающих работах, измеряются многими кубическими километрами. Все это не может не вызвать побочных, часто непредвиденных явлений, нарушающих режим внешней среды и в первую очередь верхней части литосферы, или так называемую геологическую среду.

Проблема окружающей среды в настоящее время приобрела глобальный характер, в нашей стране ее изучению придается особо важное значение. В СССР принят ряд законов и постановлений, направленных на охрану окружающей природной среды: «О мерах по дальнейшему улучшению охраны природы и рациональному использованию природных ресурсов» (постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 29 декабря 1972 г.), «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов» (постановление Верховного Совета СССР от 9 июля 1975 г.), «Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах» (1975 г.).

Охрана окружающей среды включает, естественно, и охрану геологической среды. Предупреждение возможности образования таких экзодинамических процессов, как водная и ветровая эрозия почв, заболачивание, засоление, оползни, сели или борьба с ними в тех случаях, когда они возникли, является актуальной задачей инженерной геологии.

Таким образом, инженерную геологию в настоящее время и в ближайшем будущем можно определить как *науку о геологической среде, ее рациональном использовании и охране в связи с возможностью возникновения вредных для человека геологических процессов.*

Ее основные направления, продолжающие непрерывно развиваться, — грунтоведение, инженерная геодинамика, региональная инженерная геология. Они в свою очередь включают ряд других геологических дисциплин, главные из которых механика грунтов, изучающая теорию устойчивости и прочности грунтов, техническая мелиорация грунтов, занимающаяся методами изучения свойств горных пород, специальная инженерная геология, представляющая собой методическую основу инженерно-геологических изысканий для различного вида строительства, и др. В последние годы в связи с широким развитием в СССР региональных геологических и строительных работ формируются такие отрасли инженерной геологии, как геокриология (мерзловедение), лёссоведение, морская и космическая инженерная геология.

За время своего существования советская школа инженеров-геологов получила мировое признание и стала способной решать самые сложные задачи по обоснованию возведения инженерных сооружений.

Раздел I

ОСНОВЫ ГРУНТОВЕДЕНИЯ

Глава I

ПОНЯТИЕ О ГРУНТАХ И ПРОЦЕССАХ ФОРМИРОВАНИЯ ИХ СВОЙСТВ

Объект изучения грунтоведения

Грунтоведение изучает различные горные породы для обоснования строительства сооружений разного рода.

Сфера наземного и подземного строительства распространяется на глубину десятков и первых сотен метров от земной поверхности. В большинстве случаев верхние слои земли сложены четвертичными и другими породами осадочного происхождения. В этом случае их обычно называют покровными отложениями в отличие от коренных, или материнских, пород, залегающих более глубоко.

По составу и состоянию грунты можно разделить на скальные и полускальные, или твердые, горные породы, и нескальные, или землистые, горные породы. Скальные горные породы существенно отличаются от нескальных условиями происхождения (генезисом), характером внутренних связей и свойствами. Среди них выделяют магматические, метаморфические и твердые осадочные породы. Все они обладают прочными кристаллизационными связями, а их инженерно-геологические свойства в целом более надежны, менее подвержены изменениям под действием внешних факторов и легче поддаются изучению, чем свойства нескальных пород. Последние, в свою очередь, разделяются на связные горные породы (глины, суглинки, супеси) и несвязные, сыпучие или раздельнозернистые породы (пески, галечники). И те и другие относятся к многофазным, полиминеральным, дисперсным системам (см. ниже).

В инженерной геологии существует целый ряд классификаций горных пород, как общих, так и специальных. Из общих наиболее полными являются классификации Ф. П. Саваренского, Е. М. Сергеева [42], В. Д. Ломтадзе [23]. К специальным (частным) классификациям, характеризующим отдельные свойства грунтов, относятся классификации пород по крепости, водопроницаемости, а также ряд классификаций нормативного характера, содержащихся в СНиПах и других документах. Некоторые из них приведены в соответствующих разделах настоящего пособия.

Возведение инженерных сооружений осуществляется либо в самом поверхностном слое земли, и тогда этот слой служит основанием сооружения, либо производится под поверхностью

земли, и тогда грунт является средой для сооружения. В обоих случаях горная порода изучается в ненарушенном сложении. Однако грунт может служить также и материалом для сооружения (земляные плотины, насыпи, дамбы).

Итак, с одной стороны, горные породы изучаются как многофазные, полиминеральные системы, изменяющиеся во времени, а с другой — как основание, среда или материал для строительства.

Если принять за основу определение, которое дает Е. М. Сергеев, то грунтами следует считать любые горные породы, залегающие в поверхностной части земной коры, которые изучаются как многокомпонентные динамические системы с целью познания их в качестве объекта инженерной деятельности человека.

Основные геолого-генетические типы грунтов

Свойства грунтов во многом зависят от их происхождения (генезиса), поэтому в геологии принято делить все горные породы на три основных геолого-генетических типа: магматические, метаморфические и осадочные.

К магматическим относятся породы, возникшие из расплавленной магмы путем ее прорыва в верхние слои земли и последующего остывания и кристаллизации на некоторой глубине от поверхности (интрузивные магматические горные породы), либо на поверхности (эффузивные горные породы) земли. Все эти породы в невыветрелом состоянии обладают высокой прочностью и водостойкостью и практически пригодны для возведения большинства сооружений.

Метаморфические горные породы по происхождению вторичные; они образовались из магматических и осадочных пород под действием большого давления, высоких температур, водных химических растворов и ряда других факторов, в результате чего произошло изменение их состава, структуры, текстуры, прочности внутренних связей. В целом эти породы обладают достаточной прочностью, плотностью, водостойкостью и в большинстве случаев залегают на значительной глубине. Типичными представителями таких пород являются сланцы, гнейсы, мраморы, кварциты.

Осадочные горные породы, как уже было сказано, наиболее широко распространены на земной поверхности и в то же время обладают большим разнообразием видов и большой изменчивостью свойств. Осадочные породы являются конечным продуктом преобразования коренных пород в процессе их выветривания и последующего диагенеза. Состав, состояние и свойства грунтов осадочного происхождения зависят от стадии формирования, на которой находится исследуемый грунт, и условий, в которых протекает процесс его формирования. В дальнейшем, говоря о грунтах, мы будем характеризовать более подробно осадочные отло-

жения, которые по генезису и свойствам могут быть разделены на следующие шесть групп.

- I. Глинистые и пылеватые.
- II. Обломочные несцементированные.
- III. Обломочные сцементированные.
- IV. Осадочные биогенные и хемогенные.
- V. Отложения особого состава, состояния и свойств.
- VI. Техногенные накопления.

Не претендуя на создание общей инженерно-геологической классификации грунтов в целом, нам представляется целесообразно дать рабочую схему классификации грунтов осадочного происхождения, в основе которой лежит предложенный Ф. П. Саваренским принцип выделения классов по типу внутренних связей. Для дальнейшего деления на группы, типы и виды служат состав, структура, пластичность и другие типичные свойства грунтов (табл. 1).

Приведенная таблица позволяет, с одной стороны, группировать грунты по прочности и характеру внутренних связей, а с другой — выделить в каждой группе генетические типы и назвать виды грунтов, входящих в нее. Указанную таблицу правомерно считать схемой, так как каждый вид характеризуется основным признаком, но при этом не дается количественной оценки свойств данного вида грунтов.

Среди приведенных выше групп осадочных грунтов наиболее широко распространены грунты I и II групп, относящиеся по времени образования к отложениям четвертичного периода.

Среди них обычно выделяют девять генетических типов, существенно отличных по свойствам и составу.

1. *Элювиальные грунты.* Образуются как продукт выветривания коренных пород и остаются на месте своего образования, обычно на плато или пологих склонах. Представляют собой в зависимости от вида коренной породы дресву кристаллических пород либо глинистую или известковистую массу, образующуюся при выветривании сланцев, глин, известняков и мергелей. Эти грунты обладают большой неоднородностью состава и часто подлежат удалению при строительстве.

2. *Делювиальные грунты.* Образуются в результате смыва с водораздела или верхней части склона более легких компонентов грунта (глинистые и пылеватые частицы, мелкий песок) и отложения их на склоне или у его подножия. Соответственно мощность этих грунтов увеличивается в нижней части склона. Глинистые делювиальные грунты, неоднородные по составу, часто бывают обводнены и в силу указанных выше условий недостаточно устойчивы (в них могут возникать оползни).

3. *Коллювиальные грунты.* Это рыхлые накопления осыпей и обвалов, возникающие как результат склоновых гравитационных процессов. Характер сортировки материала по крупности различен у обвалов и осыпей. Мощность коллювия обычно невелика.

Схема классификации грунтов осадочного происхождения

Класс (по типу внутренних связей)	Группа	Генетический тип	Вид	Основные определяющие признаки
Грунты связные, с эластичными, обратимыми, преимущественно водно-коллоидными связями	I. Глинистые и пылеватые	Элювиальные, делювиальные, пролювиальные, водно-ледниковые, золово-делювиальные и др.	Глины, суглинки, супеси	Пластичность и некоторые водно-физические свойства (размокание, набухание, липкость и др.)
Грунты несвязные. Связи между частицами отсутствуют; существуют лишь силы трения и «зацепления» между отдельными зёрнами	II. Обломочные нецементированные (раздельнозернистые)	Элювиальные, аллювиальные, морские, водно-ледниковые, ледниковые, озерно-ледниковые, гравитационные, золовые	Валуны, галька, щебень, гравий, дресва, гравелистые, крупные, средние, мелкие, тонкие и пылеватые пески	Форма и характер поверхности частиц, коэффициент фильтрации, гранулометрический состав
Грунты скальные и полускальные с жесткими цементационными связями различной крепости и водостойкости преимущественно вторичного происхождения	III. Осадочные сцементированные	Сингенетические, эпигенетические, диагенетические	Конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты	Структура, тип цемента, прочность
Грунты скальные и полускальные с жесткими кристаллизационными связями различной крепости	IV. Осадочные биогенные и хемогенные	Сингенетические	Известняки, доломиты, мергели, мел, кремнистые породы	Структура, текстура, тип цемента, минеральный состав, растворимость

Класс (по типу внутренних связей)	Группа	Генетический тип	Вид	Основные определяющие признаки
Грунты от текучепластичных до твердых. Связи водно-коллоидные, кристаллизационные	V. Особого состава, состояния, свойств	а. Органогенные	Торф, заторфованные грунты, илы	Пористость, влажность, количество органических веществ
		б. Элювиальные, делювиальные, коллювиальные	Солончаки, солонцы, такыры	Состав и количество водорастворимых солей
		Морские, озерные — подвергающиеся засолению	Супеси, суглинки	Просадочность
		в. Элювиальные, делювиальные, пролювиальные, морские, озерные, болотные, аллювиальные	Глины, суглинки, супеси, пески, торфы	Температура, льдистость, криогенная текстура
Грунты с жесткими связями, искусственного происхождения и без связей, но с повышенным трением (уплотненные)	VI. Искусственные грунты	а. Улучшенные различными химическими компонентами	Глины, суглинки, супеси	Вид мелиорации
		б. Обожженные	Суглинки, лёссовые грунты	Временное сопротивление сжатию
		в. Замороженные	Суглинки, супеси, пески	Температура, льдистость
		г. Переотложенные	Отвалы материнской породы	Состав, степень уплотненности
		д. Искусственно уплотненные	Пески, супеси, суглинки, глины	Петрографический состав, степень плотности
е. Искусственно намытые	Пески, супеси, суглинки	То же		

Глинистые разности часто обводнены, так как к ним приурочены спорадические водоносные горизонты или линзы грунтовых вод.

4. *Проллювиальные грунты.* Образуются в результате смыва и переноса поверхностных отложений временными дождевыми и снеговыми потоками. К ним относятся также селевые накопления. Характеризуются большой разнородностью по составу.

5. *Аллювиальные грунты.* Представляют собой продукты переноса и отложения наносов рекой. Их состав и свойства различны для горных и равнинных рек. Аллювий горных рек, как правило, состоит из валуново-галечникового, хорошо окатанного и отсортированного материала; аллювий равнинных рек содержит кроме гравия и песка, наиболее часто встречающихся в разрезе террас, глинистые, суглинистые и илстые отложения (пойма и надпойменная терраса, приустьевые части рек). Поэтому аллювий в зависимости от условий образования может быть как хорошо промытым и отсортированным, так и неоднородным, содержащим в слое песка или гравия линзы суглинков, глин, торфа, ила.

6. *Грунты ледникового происхождения* имеют широкое распространение в северных районах СССР. Среди них выделяют три геолого-генетические разновидности: морена, водно-ледниковые и озерно-ледниковые отложения.

Морена (конечная, донная, основная) характеризуется наличием тонкозернистого материала (супесь, суглинки, глина) с большим или меньшим количеством валуново-галечниковых образований и гравия. Как правило, обладает высокой естественной уплотненностью и малой водопроницаемостью.

Водно-ледниковые (флювиогляциальные) грунты представляют собой отложения водных потоков, образовавшихся в результате таяния ледников и напоминающих аллювиальные грунты. Отсортированы и могут быть представлены как песками, так и супесчано-суглинистыми разностями.

Озерно-ледниковые грунты — это отложения ледниковых озер. Они характеризуются слоистостью и разнообразием состава. Типичным представителем являются ленточные глины Карелии.

7. *Грунты озерно-болотного происхождения* распространены в районах избыточного увлажнения и занимают по площади 7 % территории СССР, особенно широко они представлены в Белоруссии, Карелии, Западной Сибири. Относятся к биогенным грунтам и представлены торфом, сапропелем, заторфованными и торфо-илстыми разностями, болотным мергелем. Общей чертой этих грунтов являются их высокая влажность, большая влагоемкость и малая несущая способность.

8. *Грунты эолового происхождения* — это барханные пески пустынь, дюнные пески побережий озер и морей и некоторые виды лёссовых отложений. Характеризуются невысокой связностью, легким или пылеватым гранулометрическим составом, большой однородностью, а пески — хорошей отсортированностью. Лёссовые грунты могут обладать просадочными свойствами (см. гл. 7).

9. *Грунты морского и лагунного происхождения.* Все рассмотренные выше генетические типы грунтов относились к континентальным отложениям; некоторые из них имеют широкое региональное распространение, другие приурочены к сравнительно небольшим районам. Морские осадки имеют колоссальную область распространения и чрезвычайно разнообразны (в зависимости от глубин, на которых они отлагаются). С инженерно-геологической точки зрения интересны те литолого-генетические разности, которые формируются непосредственно в прибрежной полосе (терригенный материал) или на мелководье в лагунах и лиманах. Прибрежные отложения представлены песчано-галечниковыми грунтами, хорошо окатанными и отсортированными волноприбойной деятельностью. Их мощность измеряется десятками и сотнями метров в зависимости от гидрологических условий данного участка шельфа.

Лагунные отложения возникли в результате аккумуляции осадков, приносимых реками в мелководные, частично отделенные от моря бассейны. Здесь отсутствуют сильные течения и волноприбойная деятельность, а поэтому осаждение твердого стока рек происходит в условиях, способствующих накоплению тонкого материала, возникновению засоления, существованию биогенных процессов. Характерные грунты здесь — глины, суглинки, илы с прослойками солей.

Понятие о номенклатуре грунтов оснований сооружений

Общая инженерно-геологическая классификация грунтов позволяет дать в основном качественную оценку или производить выделение отдельных литолого-генетических разностей. Такова, например, классификация Е. М. Сергеева [42]. Но поскольку строителей в меньшей мере интересует возраст породы, чем точное литологическое определение ее вида (суглинок, глина, супесь) или количественные показатели ее деформационных, прочностных и других инженерно-геологических свойств, то все горные породы, рассматриваемые как грунты оснований при строительстве, принято согласно строительным нормам и правилам (СНиП) делить на следующие основные типы:

а) скальные — изверженные, метаморфические и осадочные образования с жесткими связями между зернами (спаянные и цементированные). Образуют сплошные или трещиноватые массивы;

б) нескальные, в том числе: крупнообломочные — нецементированные, содержащие обломки кристаллических или осадочных пород размером более 2 мм в количестве более 50%; песчаные — сыпучие в сухом состоянии грунты, содержащие фракции размером более 2 мм в количестве менее 50%, не обладающие свойством пластичности (число пластичности $I_p < 0,01$); глинистые — связные грунты, обладающие пластичными свойствами, для которых число пластичности $I_p > 0,01$.

Однако такого общего разделения было бы достаточно, если бы каждый из выделенных основных типов грунтов не подразде-

лялся на определенные разновидности в зависимости от тех или иных его свойств или особенностей.

Так, скальные грунты разделяются, например, по прочности, степени выветривания и отношению к воде.

Среди крупнообломочных грунтов выделяют в зависимости от размеров частиц и их процентного содержания три разновидности: валунные, галечниковые и гравийные грунты. Пески бывают гравелистые, крупные, средней крупности, мелкие и пылеватые. По степени влажности крупнообломочные и песчаные грунты могут быть маловлажными, влажными и водонасыщенными, а по плотности — плотными, средней плотности и рыхлыми.

Глинистые грунты разделяются в зависимости от числа пластичности на супеси, суглинки и глины. Их состояние характеризуется коэффициентом консистенции, в зависимости от значений которого глинистые грунты могут находиться в твердом, пластичном или текучем состоянии.

Все виды грунтов, имеющие отрицательную температуру или содержащие лед, относятся к мерзлым грунтам.

Физико-технические свойства грунтов и их показатели

При объективной оценке грунтов для целей строительства инженер-геолог не может ограничиться лишь визуальным описанием слоя или образца породы. В дополнение к обычным традиционным методам, применяемым при геологической съемке, используются специальные инженерно-геологические методы исследования (полевые или лабораторные), дающие возможность произвести не только качественную, но и количественную оценку таких свойств грунта, как влажность, плотность, водопроницаемость, деформируемость, прочность и др.

Эти свойства, присущие грунтам как физическим телам, характеризуют физическое состояние, отношение к воде, химический или минеральный состав компонентов, из которых состоит грунт, и, наконец, реакцию грунтов на прилагаемые к ним механические усилия. Свойства эти разнообразны, зависят от генетического типа и класса внутренних связей между частицами породы и могут быть условно разделены на несколько видов: физические, химические, водные и механические. В последнее время в практике утвердился термин, обобщающий все эти свойства как физико-технические.

Для конкретного выражения различных свойств грунтов служат показатели, выраженные числовыми значениями, характеризующими количественно данное свойство.

Все показатели физико-технических свойств по их назначению следует разделить на классификационные и расчетные. С помощью классификационных показателей делят грунты по видам или по состоянию. Это плотность, число пластичности, степень влажности, гранулометрический состав и др. Расчетные показатели предназначены для вычисления других производных показателей,

а также для инженерно-геологических расчетов осадки основания, устойчивости откоса и др.

К *физическим свойствам* грунтов относятся: вещественный состав, плотность, пористость и влажность грунта. Эти свойства характеризуют физическое состояние грунта в условиях природного (ненарушенного) залегания, изменяются для разных грунтов в определенных пределах и дают возможность косвенно судить о механических свойствах грунтов.

К *водным свойствам* относятся свойства, возникающие в грунтах при взаимодействии с водой или характеризующие отношение грунтов к воде. Это консистенция, пластичность, липкость, размокание, размягчение, набухание, усадка, влагоемкость, водоотдача, капиллярность, водопроницаемость, водонасыщение, водопоглощение.

К *механическим свойствам* дисперсных грунтов относят деформируемость и прочность. Оба эти свойства проявляются при приложении к грунтам внешних усилий (статических или динамических), и поэтому показатели этих свойств применяются для расчета осадок оснований, прочности и устойчивости сооружений.

Скальные и полускальные грунты кроме названных свойств характеризуются рядом других, отражающих природу их прочности и представляющих интерес для исследований при специальных видах строительства (см. гл. 6).

Химические свойства грунтов проявляются в зависимости от наличия в их составе таких компонентов, как растворимые соли, некоторые минералы или гумус. Они в состоянии изменить обычные для такого вида дисперсных грунтов физические или механические свойства. К химическим свойствам относятся: растворимость, засоление, степень органического разложения и карбонатность.

Показатели всех перечисленных свойств для разных грунтов существенно отличаются. Это отличие обусловлено генезисом, составом и характером внутренних связей.

Процесс формирования физико-технических свойств осадочных грунтов

Свойства горных пород зависят от их состава, структуры, текстуры, которые формируются в процессе образования породы и всей дальнейшей геологической истории. Таким образом, основной подход при изучении свойств пород должен быть генетическим.

Как известно, породы осадочного происхождения занимают всего 5 % объема земной коры, но имеют широкое площадное распространение, покрывая около 75 % поверхности суши.

Осадконакопление в различных геологических условиях привело к образованию существенно разных генетических типов осадочных отложений. Формирование каждого из этих генетических типов происходило по следующей схеме.

1. Образование исходного материала будущей породы за счет разрушения материнских пород в процессе выветривания (*гипергенез*).

2. Транспортировка материала с последующим дроблением и частичной сортировкой на путях переноса.

3. Осаждение и накопление осадков в водных бассейнах. Транспортировка, осаждение и накопление первоначального осадка в совокупности носят название *седиментогенеза*.

4. Преобразование первоначального осадка в осадочную горную породу. Эта стадия называется *эпигенезом* и разделяется на ряд этапов:

а) *ранний диагенез* — изменение осадка в поверхностном слое за счет уплотнения;

б) *собственно диагенез* — процесс, проходящий под действием дегидратации, перекристаллизации и литификации осадка с превращением его в горную породу;

в) *катагенез* — изменение породы под действием давления, повышенных температур и химических растворов.

Совокупность всех названных процессов называется *литогенезом*.

В процессе литогенеза происходит постепенное увеличение прочности осадочных пород в результате их уплотнения и упрочнения внутренних связей. Так, пески преобразуются в песчаники, карбонатные породы — в мергели, глинистые породы — в сланцы.

Между физико-техническими свойствами грунтов осадочного происхождения и условиями их образования существует четкая зависимость, сформулированная Н. Н. Масловым [26]. Грунты, одинаковые по своему происхождению, образовавшиеся в одинаковых условиях и претерпевшие одинаковые последующие изменения, должны характеризоваться одними и теми же инженерно-геологическими свойствами и их показателями.

После ознакомления с объектом изучения грунтоведения, свойствами грунтов, показателями этих свойств и процессами их формирования представляется возможным сформулировать основные задачи грунтоведения, решение которых необходимо при производстве изысканий.

Главной теоретической задачей грунтоведения как науки является углубленное изучение природы горных пород как многокомпонентных систем, слагающих геологическую среду, их генезиса и постгенетических процессов, обуславливающих формирование свойств этих пород.

Практические задачи грунтоведения сводятся к следующему:

1) генезис и литолого-петрографический состав грунтов в основании сооружений сказываются на прочности и устойчивости последних. Поэтому необходимо выделять генетические типы и виды грунтов на изучаемом участке;

2) отдельные слои имеют различную мощность и элементы залегания, поэтому необходимо установить их пространственное положение в пределах участка;

3) различные литолого-генетические типы пород обладают различными свойствами, поэтому необходимо определить характеристики этих свойств для выделения в основании сооружений инженерно-геологических элементов;

4) под воздействием сооружения произойдут изменения свойств грунтов. Поэтому необходимо дать прогноз изменения свойств выделенных элементов и оценить опасность их изменения во времени;

5) определение показателей свойств грунтов связано с приборными испытаниями грунтов на образцах или в массивах. Поэтому задачей грунтоведения является широкое применение и дальнейшее совершенствование лабораторных и полевых методов изучения свойств грунтов;

6) задачей грунтоведения является также изучение способов улучшения этих свойств.

Основные составные части и фазное состояние дисперсных грунтов

Рыхлые грунты осадочного происхождения состоят из твердых частиц (или скелета) с промежутками между ними — пораами, заполненными водой с растворенными в нем солями, воздухом и газами. Такие грунты представляют собой дисперсные системы, в которых вода служит дисперсной средой, а твердые минеральные частицы — дисперсной фазой. Поскольку размеры частиц и минералы, входящие в состав грунта, различны как по величине, так и по составу, то дисперсные грунты относят к полидисперсным и полиминеральным системам [3].

Глинистые грунты как коллоидные системы.

Их природа и основные свойства

Глины и суглинки в значительной степени (до 75 %) состоят из тонкодисперсных и коллоидных частиц. Как указывает К. К. Гедройц, 1 % коллоидных фракций ($d < 0,00001$ мм) обладает такой же суммарной поверхностью, как и 99 % всех остальных фракций, содержащихся в грунте. Кроме того, коллоидные частицы не нейтральны, а имеют электрическую природу. Все это обусловило наличие в глинистых грунтах электрокинетических свойств, которые объясняют многие особенности поведения грунтов в сооружениях и позволяют эффективно воздействовать на свойства грунтов при их технической мелиорации.

Глинистым грунтам как природным коллоидным системам присущи такие явления, как поглотительная способность, явления коагуляции, пептизации, набухания, тиксотропии. Все они объясняются коллоидными свойствами глинистых частиц.

Поглотительная способность (адсорбция) обусловлена поглощением тонкодисперсной частью грунта различных веществ, находящихся в водной или газовой частях среды. Пути

протекания этого процесса могут быть разнообразными, вследствие чего принято различать механическое, химическое, биологическое и физико-химическое поглощение (ионный обмен). Физико-химическое поглощение сказывается на таких свойствах глинистых грунтов, как их водопроницаемость, пластичность, набухание, размокание.

Коагуляция. Глинистый грунт представляет собой коллоидную систему, в которой каждая частица несет заряд, а между частицами действуют силы отталкивания, препятствующие сближению одноименных зарядов. Кроме того, частицы покрыты гидратными оболочками.

В определенных условиях в грунтовой суспензии наступает порог коагуляции, при котором частицы сближаются, соединяются в агрегаты и в виде хлопьев выпадают из раствора. В грунте природной влажности и ненарушенной структуры содержание тонкодисперсной части уменьшается. Такое явление называется коагуляцией, или свертыванием, частиц. Существует несколько видов коагуляции: электролитная, взаимная, при замораживании, при высушивании, при ударе.

Пептизация. Под этим термином подразумевается разукрупнение, разрушение агрегатов и переход геля в золь*. Это — явление, обратное коагуляции. В результате пептизации в глинистых суспензиях можно определить действительное содержание коллоидной фракции. Свойства пептизированных грунтов изменяются, уменьшается сжимаемость, понижается прочность, уменьшается водопроницаемость. Структура грунта в результате пептизации также изменяется.

Тиксотропность. Тиксотропностью называется способность дисперсных грунтов, содержащих коллоиды, переходить при действии динамических нагрузок (удар, встряхивание, вибрация) из более твердой в более мягкую консистенцию, т. е. разжижаться или размягчаться, а после прекращения действия нагрузки возвращаться в свое прежнее состояние. Степень тиксотропности зависит от ряда факторов: процентного содержания и размеров коллоидной фракции, ее минерального состава, влажности.

Тиксотропия изучается при исследовании грунтов в оползневых склонах и искусственных откосах насыпей и выемок, так как она может быть причиной нарушения устойчивости этих склонов и откосов при их сотрясении в результате взрывных работ, проезда транспорта или сейсмических явлений. Наконец, явление тиксотропности используется при производстве строительных работ (вибропогружении свай) или при проходке разведочных выработок (вибробурение).

* Гель — студнеобразный осадок, возникающий в суспензии в результате образования более крупных агрегатов из элементарных частей. Золь — частицы твердой фазы, тонкодиспергированные в водной среде и находящиеся во взвешенном состоянии.

В И В Л И О Т Е К А
Кооперативного архитектурно
строительного техникума

Минеральный состав осадочных грунтов

Минералы — это природные тела различного химического состава, образовавшиеся в земной коре в результате физико-химических процессов и входящие в состав твердой фазы грунтов. В грунтах осадочного происхождения встречается несколько десятков видов минералов, которые в соответствии с классификацией С. Д. Четверикова по химическому составу делятся на 10 классов (табл. 2).

Таблица 2

Классификация минералов по химическому составу

Класс	Наименование	Распространенные представители
I	Силикаты	Полевые шпаты, роговые обманки, слюды, вторичные алюмосиликаты
II	Карбонаты	Кальцит
III	Оксиды	Кварц, гематит
IV	Гидроокислы	Лимонит, гидроокись алюминия
V	Сульфиды	Пирит, марказит
VI	Сульфаты	Гипс, ангидрит, мирабилит
VII	Галоиды	Галит, флюорит
VIII	Фосфаты	Фосфорит
IX и X	Вольфраматы и самородные элементы	

Наиболее широко распространены минералы I класса — силикаты. Они образуют примерно 85 % пород земной коры и представлены как первичными породообразующими минералами — полевыми шпатами, роговыми обманками, так и их выветрелыми разновидностями — гидрослюдами, а также большой группой вторичных алюмосиликатов — глинистыми минералами.

Минералы VI, VII, VIII классов обладают особенностью, отличающей их от минералов I—IV и IX, X классов: они имеют вторичное происхождение и растворимы.

Учитывая, что минеральный состав, с одной стороны, существенно влияет на физико-технические свойства грунта, а с другой — является классификационной характеристикой для некоторых видов дисперсных грунтов, целесообразно, как это было предложено В. А. Приклонским [34], выделять следующие четыре основные группы минералов:

- I группа — первичные минералы, не растворимые в воде;
- II группа — вторичные минералы, не растворимые в воде;
- III группа — вторичные минералы, растворимые в воде;
- IV группа — органические и органо-минеральные соединения.

К минералам I группы относятся кварц, полевые шпаты, роговая обманка, авгит, слюды и другие первичные минералы, возникшие как продукты физического выветривания скальных горных пород.

Влияние первичных минералов на физико-технические свойства наиболее отчетливо видно в раздельнозернистых несвязных грунтах (пески и крупнообломочные грунты). Наиболее полно этот вопрос изучен В. В. Охотиным [6] на выделенных им фракциях различного размера окатанной и остроугольной формы. На основании его исследований можно сделать такие выводы:

1) при размерах фракций слюд и кварца менее 0,002 мм последний в противоположность слюдам пластичными свойствами не обладает. Наибольшая пластичность отмечается у биотита;

2) гигроскопичность и поглотительная способность частиц биотита и мусковита размером менее 0,01 мм оказываются большими у мусковита;

3) высота капиллярного поднятия для частиц менее 0,5 мм будет наибольшей у слюды, несколько меньшей у окатанного кварца, еще меньшей у полевого шпата и, наконец, наименьшая у остроугольного кварца;

4) коэффициент фильтрации наиболее высокий для фракций окатанного кварца размером от 2 до 0,01 мм; несколько ниже — для полевого шпата, еще ниже — для фракций остроугольного кварца размером 2—0,5 мм.

К минералам II группы относятся глинистые минералы — продукты химического изменения первичных минералов, не растворимые в воде, тонкодиспергированные коллоидные системы, придающие грунтам особые свойства. Минералы этой группы, в свою очередь, подразделяются на три группы — каолинита, монтмориллонита и гидрослюд.

Все глинистые минералы отличаются следующими специфическими особенностями:

— встречаются в виде тончайших коллоидных частиц (менее 0,001 мм);

— имеют пластинчатую, чешуйчатую или игольчатую форму;

— несут на себе электрический заряд;

— имеют слоистое строение, состоящее из двух, трех или четырех слоев, входящих в пакет и образующих кристаллическую решетку, что сообщает частице значительную подвижность;

— по химическому составу представляют собой алюмо- или ферросиликаты.

По степени активности взаимодействия с водой, обменной способности, способности к набуханию глинистые минералы различны.

В группу каолинита входят каолинит, галлуазит, диккит и накрит. Характерным для этих минералов является одинаковый химический состав, прочная и относительно малоподвижная кристаллическая решетка, незначительное набухание при увлажнении

и невысокая обменная способность. Каолинит — водный силикат алюминия — встречается в виде землистой массы в двух разновидностях: первичный каолинит и переотложенный, или вторичный.

К *группе монтмориллонита* относятся монтмориллонит, нонтронит и др. Разновидности отличаются составом катионов в кристаллической решетке. Особенностью строения кристаллической решетки монтмориллонита является более слабая связь между пакетами, что обуславливает значительно большую его гидрофильность и набухаемость по сравнению с каолинитом.

В *группу гидрослюд* входят продукты различной степени гидратации слюд (иллит, глауконит, гидромусковит, гидробиотит и др.). Минералы этой группы отличаются от двух предыдущих изменчивостью химического состава и по своим свойствам занимают промежуточное положение между группами каолинита и монтмориллонита.

К минералам III группы относятся водорастворимые соли — хлориды, сульфаты, карбонаты. Из них наиболее распространены в грунтах галит, гипс, ангидрит, кальцит.

В песчано-глинистых грунтах упомянутые выше минералы могут встречаться в виде сильно-, средне- или слаборастворимых солей, залегающих в виде прослоев, пропластков, стяжений, конкреций, или быть рассеянными по всему объему грунта.

В случае, если в грунте содержится по массе более 0,3 % растворимых солей, он считается засоленным и по своим свойствам относится к классу грунтов особого состава, состояния и свойств (см. гл. 7).

К минералам IV группы относятся органические и органо-минеральные соединения, часто встречающиеся в грунтах, находящихся в условиях избыточной влажности (озерно-болотные, пойменные, старичные, лиманные и другие отложения).

Органические остатки, встречающиеся в грунтах, в большинстве случаев растительного происхождения. Они присутствуют в виде примесей, прослоек, примазок и могут иметь различную степень разложения: от молодого слабаразложившегося торфа до полностью разложившегося органического вещества — гумуса, состоящего из ряда органических соединений: гуминовой, ульминовой, кремниевой и других кислот.

Органические вещества существенно влияют на физико-технические свойства песчано-глинистых грунтов, придавая им большую гидрофильность, которая обуславливает их высокую влагоемкость, пластичность, липкость, сильное набухание, большую сжимаемость, малую прочность и низкую несущую способность, замедленное размокание и большую длительность осадки грунта под нагрузкой.

В случае значительного содержания в песчано-глинистых грунтах растительных остатков (свыше 10 %) их свойства изменяются настолько, что такие грунты принято относить к грунтам особого состава, состояния и свойств (см. гл. 7).

Структура и текстура дисперсных грунтов

По классическому определению В. А. Приклонского под структурой следует понимать размеры, форму, характер поверхности и взаимоотношение отдельных частиц скелета, а также наличие внутренних связей, действующих между ними [34].

Структура грунта складывается в процессе его формирования. Нарушение структуры сказывается на физико-технических свойствах грунта.

Структура позволяет судить о степени дисперсности, глинистости, плотности, однородности грунта и косвенно о некоторых его строительных свойствах.

Само понятие структуры неоднозначно для связных и несвязных грунтов. В несвязных (обломочных нецементированных и песчаных) грунтах различают рыхлую и плотную раздельнозернистую структуру.

Структуру песков принято называть *псаммитовой*, крупнообломочных грунтов — *псефитовой*. В зависимости от размера частиц псаммитовые структуры разделяются на грубо-, крупно-, средне-, мелко- и тонкозернистые, а псефитовые структуры — на крупные, средние и мелкие (валуны, галечники).

При содержании в песке определенного процента глинистой фракции структура называется *пелитопсаммитовой*, а при значительном содержании пылеватой фракции — *алевропсаммитовой*.

Глинистые грунты обладают агрегатной структурой ввиду того, что в них твердая фаза скелета состоит обычно не из отдельных частиц, а из агрегатов частиц различной крупности. В зависимости от крупности агрегатов различают макро-, мезо- и микроагрегатную структуру. Между частицами в агрегатах и между агрегатами действуют внутренние связи.

В глинистых грунтах различают следующие типы структур: пелитовую, алевропелитовую, псаммопелитовую, фитопелитовую, алевроитовую, конгломератовидную (брекчиевидную), сферопелитовую, ооидную, реликтовую. Из них основными и наиболее часто встречающимися являются следующие четыре структуры:

— *пелитовая* — характеризует грунты в основном морского, лагунного, озерного происхождения; состоит почти полностью из глинистых частиц (менее 0,001 мм);

— *алевропелитовая* — характеризует большинство тяжелых разностей глинистых грунтов, в пелитовой массе до 50 % алевролитовых (пылеватых) частиц;

— *псаммопелитовая* — характеризует неоднородные по гранулометрическому составу глинистые континентальные отложения; в пелитовой массе находятся алевроитовые и песчаные (до 50 %) частицы;

— *алевроитовая* — характерна для лёссовидных, делювиальных, пролювиальных отложений; в основной массе пылеватых фракций содержатся в количестве нескольких процентов глинистые и песчаные частицы.

В раздельнозернистых структурах прочность грунта определяется прочностью минералов, из которых он состоит, так как никаких внутренних сил между частицами, кроме сил трения, нет. Дисперсные грунты с раздельнозернистой структурой обладают способностью уплотняться от динамической нагрузки, разжижаться в случае малой плотности и наличия небольшого количества коллоидных частиц, хорошо пропускать и впитывать воду.

В отличие от раздельнозернистых грунты с агрегатными структурами обладают упругими свойствами, сильнее и дольше сжимаются под статическими нагрузками, мало реагируют на динамические нагрузки, являются, в большинстве случаев слабоводопроницаемыми, имеют плохую водоотдачу.

Текстура — совокупность признаков, характеризующих неоднородность породы в пласте; определяется взаимным расположением и соотношением участков породы разных минерального состава и структуры [34].

В отличие от структуры, изучаемой в образце, текстура изучается обязательно в слое, пласте. Она характеризует неоднородность грунта в пространстве, позволяет выделить инженерно-геологические элементы в основании сооружения [см. гл. 33], судить об анизотропности грунтов, находить в слое наиболее «слабые» прослойки; кроме того, текстура позволяет судить о генезисе грунта. В полевых условиях принято определять макротекстуру грунта в основном визуально.

В. Д. Ломтадзе выделяет следующие типы текстур песчано-глинистых грунтов [23]:

1) связанные с условиями отложения: *слоистые* (тонко-, толсто-, косо-, неправильнослоистые, ленточные, линзовидные и др.) и *массивные*;

2) связанные с диагенетическими изменениями: *массивные* для субаквальных осадков и *макропористые* для субаэральных, в частности лёссовидных, грунтов;

3) связанные с процессами метаморфизма — *сланцеватые*;

4) связанные с высыханием осадка — *усадочные, сетчатые*;

5) связанные с оползневыми явлениями — *плойчатые*;

6) связанные с эоловыми явлениями — *гребенчатые* и *кавернозные*;

7) связанные с суффозионными явлениями — *дырчатые* и *провальные*.

Степень сохранности структуры и текстуры грунта в его природном залегании называется **сложением грунта**.

Для песчаных грунтов нарушение сложения ведет к нарушению их плотности — влажности; для глинистых — помимо нарушения естественной уплотненности и влажности нарушение сложения приводит к нарушению внутренних связей, изменению структуры и свойств, присущих грунту в его естественном залегании. Поэтому сохранение ненарушенного сложения является непременным условием инженерно-геологического опробования (см.

гл. 8), а также необходимо при определении деформационных, прочностных и других показателей свойств грунтов, зависящих от состояния грунта в массиве.

Гранулометрический состав осадочных грунтов

Дисперсные грунты состоят из твердой фазы и пор, заполненных воздухом и водой с растворимыми в ней солями. Под твердой фазой, как известно, понимают твердые частицы минерального или органического происхождения, составляющие скелетную основу грунта, о вещественном составе которых было сказано выше. Размеры твердых частиц изменяются в широком диапазоне от долей миллиметра до десятков сантиметров. Очевидно, что присутствие в грунте частиц различного размера существенно влияет на свойства грунта и что это влияние больше проявляется в раздельнозернистых грунтах, в которых внутренние связи между частицами отсутствуют.

Под гранулометрическим составом понимают относительное содержание в грунте фракций различного размера, выраженное в процентах к массе абсолютно сухого грунта.

Фракция — это группа частиц (или обломков) грунта определенного интервала размеров. Каждая фракция имеет свое название:

Фракция	Размер частиц (или обломков), мм
Валуны (камни)	800—200
Галька (щебень)	200—20
Гравий (дресва)	20—2
Песчаная	2—0,05
Пылеватая	0,05—0,005
Глинистая	Менее 0,005

Примечание. Названия, помещенные в скобках, указывают на наличие угловатой формы частиц (или обломков), а основные — относятся к окатанной форме.

Первые три обычно называют грубообломочными, а песчаную, пылеватую и глинистую — мелкообломочными, или мелкими, фракциями. Грунты, в которых преобладают или которые целиком состоят из крупнообломочных фракций (валуны, галька, гравий), представляют собой гравитационные, аллювиальные, ледниковые или морские отложения. Они слагают каменные осыпи, россыпи, пляжи и заполняют русла горных рек. В подавляющем большинстве случаев эти отложения лишены мелкого песчано-глинистого заполнителя. Наоборот, мелкие фракции составляют скелетную основу всех рыхлых песчано-глинистых грунтов самого различного генезиса.

Песчаные фракции состоят в основном из окатанных и угловатых обломков кварца, полевого шпата и других пород. По раз-

меру они условно разделяются на гравелистые (2—1 мм), крупные (1—0,5 мм), средние (0,5—0,25 мм), мелкие (0,25—0,10 мм) и тонкие (0,10—0,05 мм). Внутренние связи между частицами отсутствуют.

Пылеватые фракции состоят преимущественно из тонкодисперсного кварца и аморфной кремниевой кислоты. Разделяются на крупнопылеватые (0,05—0,01 мм) и мелкопылеватые (0,01—0,005 мм). Связи между частицами в сухом состоянии практически отсутствуют; во влажном состоянии появляется липкость.

Глинистые фракции состоят из вторичных минералов — монтмориллонита, каолинита, иллита, гидратов окислов железа и марганца, гуматов. По своим размерам это предколлоидные и коллоидные частицы ($d = 0,005—0,0001$ мм), несущие на себе электрический заряд и обладающие рядом особых свойств.

Таким образом, гранулометрический состав дисперсных грунтов является одним из элементов их структуры, характеризующим соотношение частиц твердой фазы различных размера и формы. С другой стороны, гранулометрический состав служит мерой дисперсности грунта, что позволяет использовать его как классификационную характеристику. Так, гранулометрический состав является основной классификационной характеристикой для всех раздельнозернистых (несцементированных) грунтов и вспомогательной — для песчано-глинистых и глинистых грунтов.

Помимо классификационных целей гранулометрический состав используют в инженерной геологии при изысканиях и проектировании:

а) для установления условий механической суффозии в естественных основаниях и искусственных земляных телах в случае возникновения в них гидродинамического давления;

б) для выбора и расчета отверстий фильтров при опытных откачках;

в) для ориентировочного косвенного определения коэффициента фильтрации в песках по эмпирическим формулам;

г) для оценки пригодности грунтов как материала тела плотин, дамб, обратных фильтров и других элементов земляных гидротехнических сооружений;

д) для составления так называемых оптимальных смесей грунта, укладываемого в полотно дороги или аэродромное покрытие.

Классификация песчано-глинистых и грубообломочных грунтов по гранулометрическому составу

В СССР наиболее часто при проведении инженерно-геологических изысканий используют трехчленную классификацию песчано-глинистых грунтов по гранулометрическому составу (табл. 3), основы которой были разработаны В. В. Охотным.

По этой классификации все грунты в зависимости от содержания глинистой фракции разделяются на четыре основные вида:

Таблица 3

Классификация песчано-глинистых грунтов по гранулометрическому составу

Вид грунта	Содержание фракций, %		
	глинистых (<0,005 мм)	пылеватых (0,005—0,05 мм)	песчаных (0,05—2 мм)
Глина	Более 30		Больше, чем пылеватых
Глина пылеватая	Более 30	Больше, чем песчаных	
Суглинок тяжелый	30—20		Больше, чем пылеватых
Суглинок тяжелый пылеватый	30—20	Больше, чем песчаных	
Суглинок средний	20—15		Больше, чем пылеватых
Суглинок средний пылеватый	20—15	Больше, чем песчаных	
Суглинок легкий	15—10		Больше, чем пылеватых
Суглинок легкий пылеватый	15—10	Больше, чем песчаных	
Супесь	10—3		Больше, чем пылеватых
Супесь пылеватая	10—3	Больше, чем песчаных	
Песок	Менее 3		

глина (содержание глинистой фракции более 30 %), суглинки (30—10 %), супеси (10—3 %) и пески (менее 3 %).

В случае, когда содержание пылеватых частиц больше, чем песчаных, грунту дополнительно дается название «пылеватый». Например, если из трех основных фракций грунта содержание глинистой фракции составляет 25 %, пылевой — 60 %, а песчаной — 15 %, то такой грунт следует называть суглинком тяжелым пылевым.

Для деления на виды раздельнозернистых грубообломочных и песчаных грунтов служит классификация СНиП II-15-74 (табл. 4).

Для выражения гранулометрического состава грунтов существует ряд способов. Наиболее распространен в производственной практике громоздкий и не всегда удобный *табличный способ*. Данные гранулометрического анализа целой группы исследованных в лаборатории образцов в этом случае представляются в виде таблиц.

Значительно более компактно и наглядно изображение гранулометрического состава с помощью *треугольной диаграммы* (рис. 1).

**Классификация крупнообломочных и песчаных грунтов
по гранулометрическому составу**

Вид грунта	Содержание частиц определенной крупности, % от массы воздушно-сухого грунта
Крупнообломочные	
Валунный грунт (глыбовый)	Частицы крупнее 200 мм составляют более 50 %
Галечниковый грунт (щебенистый)	Частицы крупнее 10 мм составляют более 50 %
Гравийный грунт (дресвяный)	Частицы крупнее 2 мм составляют более 50 %
Песчаные	
Песок гравелистый	Частицы крупнее 2 мм составляют более 25 %
Песок крупный	Частицы крупнее 0,5 мм составляют более 50 %
Песок средней крупности	Частицы крупнее 0,25 мм составляют более 50 %
Песок мелкий	Частицы крупнее 0,1 мм составляют 75 % и более
Песок пылеватый	Частицы крупнее 0,1 мм составляют менее 75 %

Примечание. Для установления наименования грунта последовательно суммируются процентные содержания частиц, начиная с более крупных.

Для этой цели в удобном масштабе строят равносторонний треугольник Фере, каждая сторона которого разбивается на 100 частей (10 делений по 10 % в каждом). В соответствии с трехчленной классификацией песчано-глинистых грунтов каждая сторона обозначает один из основных видов фракций: песчаную, пылеватую и глинистую.

Гранулометрический состав данного грунта изображается в виде точки, получаемой на пересечении трех координат, опущенных с каждой стороны треугольника, параллельно другой стороне. Для «снятия» с графика, т. е. для расшифровки процентного содержания каждой фракции, достаточно восстановить из данной точки три координаты, параллельно каждой из сторон и в месте их пересечения прочесть соответственно процентные содержания песчаных, пылеватых и глинистых частиц.

Преимуществом такого способа являются возможность нанесения на график большого количества данных, а также простота получения классификационных характеристик для всей исследуемой группы образцов, так как треугольник в соответствии с трехчленной классификацией разбит на участки, позволяющие сразу же определить, какой вид грунтов характеризует нанесенная точка.

Широкое распространение имеет также способ *суммарной* или *интегральной кривой* (рис. 2). В простом или полупологарифмиче-

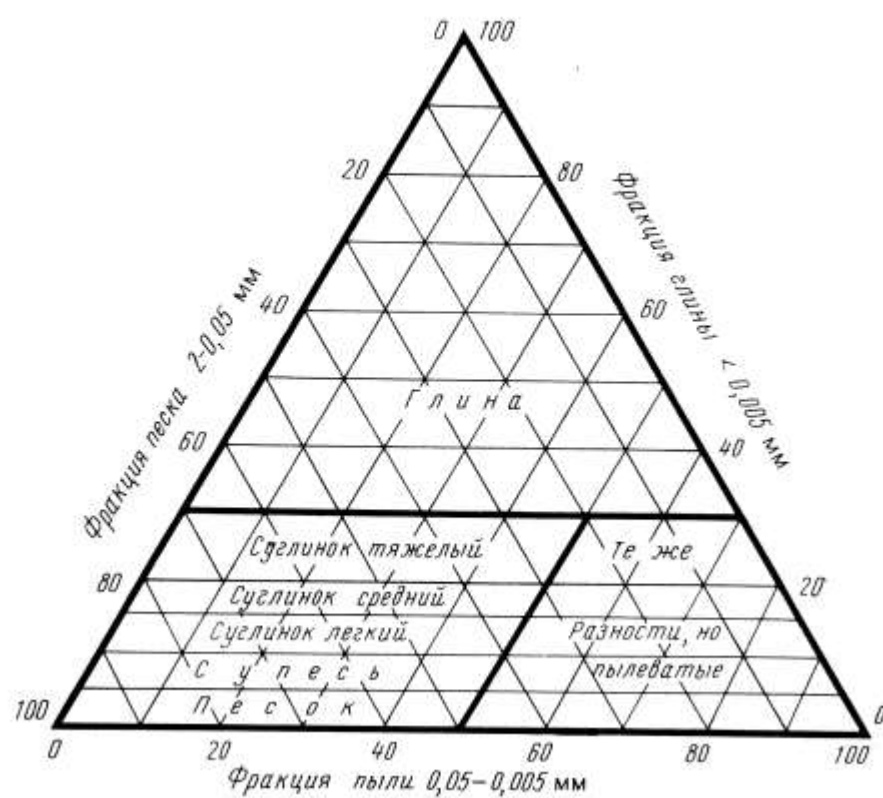


Рис. 1. Треугольная диаграмма гранулометрического состава

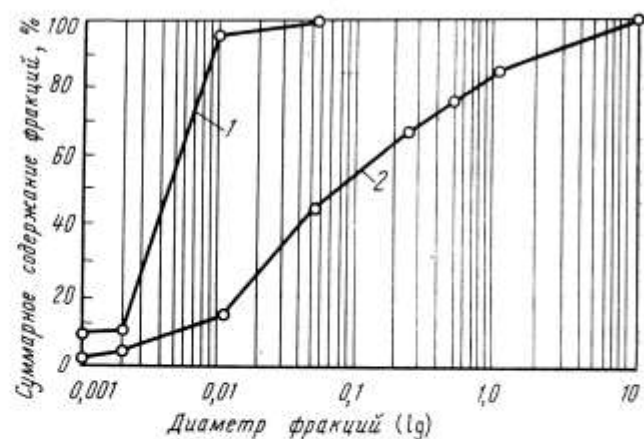


Рис. 2. Интегральные кривые гранулометрического состава: 1 — однородного; 2 — неоднородного

ском масштабе строят график, на горизонтальной оси которого откладывают диаметр фракций (или логарифмы диаметров), а на вертикальной — суммарное содержание фракций. На каждый график может быть нанесено несколько кривых, изображающих гранулометрический состав исследованных образцов, причем характер кривой говорит об однородности грунта: чем круче кривая,

тем однороднее грунт по гранулометрическому составу, и наоборот.

Кроме того, суммарная кривая позволяет находить некоторые величины, характеризующие состав грунта или необходимые для эмпирических расчетов. Это — эффективный диаметр ($D=10$), средний диаметр ($D=60$) и коэффициент неоднородности грунта.

Эффективный диаметр — это такой размер частиц, мельче которого в грунте содержится 10 % фракций. Эта величина применяется при расчетах коэффициента фильтрации.

Средний диаметр — это такой размер частиц, мельче которого в грунте содержится 60 % фракций.

Коэффициент неоднородности грунта (K_n) — это отношение $\frac{D=60}{D=10}$. Если для песков $K_n \geq 3$, то они считаются неоднородными. Пески, содержащие фракцию 0,1—0,25 мм в количестве более 90 %, являются мелкими однородными и имеют $K_n < 3$. Однородными могут быть также крупно- и среднезернистые пески.

Глава 2

ВОДА И ВОЗДУХ В ГРУНТАХ

Виды воды в грунтах

Дисперсные грунты вследствие особенностей своего строения имеют непосредственную связь с внешней средой — атмосферой, гидросферой и биосферой.

Верхняя толща грунтов, доступная проникновению в нее воздуха и атмосферных осадков, называется зоной аэрации.

Изменение содержания влаги в зоне аэрации обусловлено как внешними, так и внутренними факторами геолого-географической обстановки. К внешним относятся климатические, геологические, геоморфологические условия и растительный покров, к внутренним — такие свойства грунтов, как гранулометрический и минеральный состав, емкость поглощения, гидрофильность, влажность. Таким образом, количество воды, которое содержится в грунтах, не является постоянным.

Кроме того, сама вода находится в различных видах и состояниях. Это обуславливает изменение свойств грунтов при изменении содержания в них влаги. Последнее хорошо можно видеть на примере глины. В сухом состоянии кусок глины обладает свойствами твердого тела. При увлажнении глина приобретает пластичные свойства, т. е. может изменять свою форму без разрыва сплошности под действием внешней нагрузки. Наконец, в состоянии переувлажнения глина почти теряет связность и начинает течь. Наряду с изменением влажности глины происходит изменение прочности внутренних связей, в силу чего ее сопротивление внешним усилиям резко падает, а характер деформации под нагрузкой меняется.

В 1936 г. А. Ф. Лебедевым была предложена классификация форм воды в грунтах. Дальнейшие исследования, проведенные С. И. Долговым, Б. В. Дерягиным, П. А. Ребиндером, В. С. Шаровым и Е. М. Сергеевым, развили и дополнили основные положения А. Ф. Лебедева, и в настоящее время классификация форм и видов воды в грунтах представляется следующей [42]:

- I. Вода в форме пара.
- II. Связанная вода:
 - а) прочносвязанная,
 - б) рыхлосвязанная.
- III. Капиллярная вода.
- IV. Свободная вода.
- V. Вода в твердом состоянии.
- VI. Кристаллизационная и химически связанная вода.

Вода в форме пара находится в порах, перемещается из мест с большей в места с меньшей упругостью пара, конденсируется в жидкую воду при понижении температуры, а при повышении последней вновь переходит в парообразное состояние; может переходить также в другие виды, в частности в связанную воду.

Связанная вода по своим свойствам резко отличается от свободной воды. Выделяют прочносвязанную и рыхлосвязанную воду. Количество связанной воды зависит от гидрофильности минералов, степени дисперсности грунта и наличия растворимых солей.

Прочносвязанная вода удерживается на поверхности частиц с силой в несколько мегапаскалей. Ее свойства резко отличны от свойств свободной воды и напоминают свойства твердого тела. Плотность ее изменяется в пределах 1,2—1,4 г/см³; температура замерзания —78 °С; неэлектропроводна, малотеплопроводна; не обладает смачиванием; не выщелачивает солей; не может свободно передвигаться, так как силы молекулярных связей превышают силы тяжести. В присутствии прочносвязанной воды глинистые грунты не пластичны, имеют твердую консистенцию.

Рыхлосвязанная вода образует на поверхности частиц значительно более толстые пленки, чем прочносвязанная. По своим свойствам данный вид связанной воды также заметно отличается от свободной: не подчиняется законам тяжести, не растворяет, замерзает при температуре ниже 0 °С, имеет высокую плотность. Тем не менее эта вода менее прочно связана с поверхностью частиц и при известных условиях может переходить в свободную воду. В присутствии рыхлосвязанной воды глинистый грунт может набухать.

Капиллярной водой называется вода, заполняющая мелкие поры — капилляры. Бывает трех видов: воды углов пор, подвешенная и собственно капиллярная. Находится под действием силы тяжести и силы поверхностного натяжения.

Вода углов пор — капельная форма влаги, занимающей ограниченный объем пор.

Подвешенная вода заполняет капилляры, но не имеет связи с водоносным горизонтом.

Собственно капиллярная вода связана с уровнем грунтовых вод и образует так называемую капиллярную кайму, мощность которой зависит от высоты капиллярного поднятия и изменяется для супесей от 1 до 1,5 м, а в суглинках и глинах от 3 до 8 м. Как высота, так и скорость капиллярного поднятия имеют большое значение для процессов засоления и заболачивания.

С в о б о д н а я, или гравитационная, вода — это вода, находящаяся в жидком состоянии, подчиняющаяся силе тяжести, перемещающаяся в порах под действием разности напоров, обладающая смачивающей, растворяющей и выщелачивающей способностью.

По характеру движения она может разделяться на просачивающуюся воду и воду грунтового потока. Просачивающаяся вода, находящаяся в зоне аэрации, движется сверху вниз под действием силы тяжести. Вода грунтового потока движется в горизонтальном направлении в зоне полного водонасыщения. Скорость ее движения зависит от величины градиента напора. При критическом градиенте в ней возникает гидродинамическое давление, которое может приводить к выносу частиц из слоя породы.

В грунтах, залегающих ниже уровня подземных вод, возникает гидростатическое давление, приводящее к уменьшению массы грунта под водой.

Вода в твердом состоянии. При отрицательной температуре вода замерзает и превращается в лед, находящийся в грунтах в виде прослоек, линз, кристаллов. Лед играет роль цемента, повышая прочность грунта и придавая ему свойства твердого тела. Эти свойства проявляются у сезонно- и многолетнемерзлых грунтов.

Кристаллизационная и химически связанная вода разделяется на воду, входящую в состав минералов и адсорбированную на поверхности минералов. Эти виды воды влияют на свойства грунтов лишь косвенно, приобретая значение при исследовании минерального состава пород.

Изменение количества воды в грунте или переход из одного ее состояния в другое ведет к изменению свойств грунта.

Воздух и газы в грунтах

Одной из характерных черт дисперсных грунтов является присутствие в них воздуха и газов. Содержание воздуха и газов в грунтах называется газовой составляющей грунта. Это — переменная величина, зависящая от строения, состава, влажности грунта, атмосферного давления, гидрогеологических и биологических условий.

Воздух и газы в грунтах могут быть атмосферного, органического и химического происхождения. В количественном отношении газовая составляющая наиболее представительна в зоне аэра-

ции. Содержание воздуха в зоне насыщения, т. е. ниже уровня грунтовых вод, невелико, а значительное содержание растворимых в воде газов наблюдается лишь в минерализованных подземных водах.

Воздух и газы в грунтах встречаются в следующих состояниях: свободном — в макропорах, трещинах, пустотах; защемленном — в глинистых грунтах, в виде пузырьков в тонких порах; растворенном — в воде, заполняющей поры грунта; адсорбированном — на поверхности твердых частиц.

Наличие в грунте защемленного или адсорбированного воздуха и газов ведет: а) к увеличению упругости дисперсного грунта, что повышает его прочность, уменьшает сжимаемость, понижает водопроницаемость; б) к неравномерности замачивания, увлажнения и водонасыщения грунта в массиве; в) к выщелачиванию и суффозионному выносу из грунта легкорастворимых солей, гипса, карбонатов и образованию карстовых пустот; г) к возникновению химических реакций с образованием цементирующих растворов и литификации грунта.

Воздух и газы в молодых озерно-болотных или заболоченных аллювиальных отложениях часто приводят к разуплотнению, разрыхлению, нарушению их структуры и, как следствие, к их подвижности или текучести. Высокая газопроницаемость таких грунтов обуславливает выделение из них газов типа метана, сероводорода и других, что представляет опасность при проходке горных выработок.

Глава 3

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Горные породы (грунты) характеризуются следующими основными физическими свойствами: плотностью грунта; плотностью сухого грунта; плотностью частиц грунта; пористостью; влажностью.

Плотность грунта

Плотностью грунта ρ называют отношение массы грунта (включая массу воды в его порах) к занимаемому этим грунтом объему [30]. Определяется она на монолитах, т. е. пробах грунта с ненарушенным сложением и естественной влажностью. Плотность грунта равна отношению массы всех компонентов, слагающих грунт, к их объему

$$\rho = \frac{m_t + m_n}{V_t + V_n} = \frac{m_t + m_n}{V_t + V_n} = \frac{M}{V}, \quad (3.1)$$

где m_t — масса твердых частиц, г; m_n — масса воды в грунте, г; V_t — объем твердых частиц, см³; V_n — объем, занимаемый водой с растворенными газами, см³; V_n — объем пор, см³; M — масса грунта, г; V — объем грунта, см³.

Для большей части дисперсных грунтов (исключая илы, торфы и некоторые другие) значения плотности грунта колеблются в пределах 1,5—2,2 г/см³.

Плотность грунта относится к расчетным показателям свойства грунтов и используется при характеристике физических свойств грунта и динамических расчетах оснований.

Наиболее распространенными способами определения плотности связных песчано-глинистых грунтов являются метод режущего кольца и метод парафинирования. Для глинистых грунтов с большим количеством крупных обломков гальки, щебня, валунов определение плотности грунта ненарушенного сложения производится в полевых условиях методом шурфиков (см. гл. 12).

Плотность сухого грунта

Плотность сухого грунта ρ_d — это отношение массы сухого грунта с ненарушенной структурой (исключая массу воды в его порах) к занимаемому этим грунтом объему (с сохранением пор).

Плотность сухого грунта равна отношению массы твердых частиц к объему всего грунта

$$\rho_d = \frac{m_r}{v_r + v_n} = \frac{m_r}{V}. \quad (3.2)$$

Плотность сухого грунта характеризует концентрацию частиц в единице объема грунта, находящегося в ненарушенном сложении, что позволяет косвенно судить о степени прочности, сжимаемости и других свойствах грунта в его естественном залегании.

Значения плотности сухого грунта для большинства грунтовых разностей изменяются в пределах от 1,3 до 1,85 г/см³ и определяются расчетным путем по формуле

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} \quad \text{или} \quad \rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01w}, \quad (3.3)$$

где w — естественная влажность грунта.

В первом случае w подставляют в формулу в долях единицы, во втором — в процентах.

Плотность частиц грунта

Плотность частиц ρ_s — это отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к объему твердой части этого грунта [30]

$$\rho_s = \frac{m_r}{v_r}. \quad (3.4)$$

Плотность частиц косвенно характеризует минеральный состав грунта. Для большинства песчано-глинистых грунтов она колеблется в пределах 2,5—2,8 г/см³. Высокие значения ее связаны

с содержанием в грунте тяжелых глинистых минералов типа каолинита и монтмориллонита; низкие значения обусловлены наличием органических примесей (торф, гумус). На величину плотности частиц влияют также растворимые соли, содержащиеся в грунтах.

Ниже приведены средние значения плотности частиц наиболее распространенных видов грунтов:

Грунт	Среднее значение плотности частиц, г/см ³
Пески	2,65
Супеси	2,67
Суглинки	2,70
Глины	2,75
Лёссы	2,68
Торф	0,60

Плотность частиц является расчетной характеристикой и применяется в грунтоведении для расчета пористости и коэффициента пористости, а также как классификационный показатель.

Пористость

Пористость характеризует объем всех пустот в грунте. Различают макро- и микропористость. В первом случае поры различимы невооруженным глазом, во втором — их можно увидеть только при большом увеличении.

К макропорам относят пустоты больших размеров: корнеходы, кротовины и др. В понимании структуры грунта макропористостью называют видимую невооруженным глазом пористость лёссовидных грунтов, напоминающую булавоочные уколы. Число макропор на 1 см² площади грунта является косвенной характеристикой степени разуплотнения лёссовых грунтов и склонности их к просадкам.

Пористость зависит от минерального и гранулометрического состава, а также от условий формирования грунтов. Для различных грунтов она колеблется в значительных пределах и зависит от степени дисперсности грунта: чем более дисперсный грунт, тем у него больший объем пустот. Представления о размерах пустот показатели пористости не дают.

Для удобства расчетов в грунтоведении применяются два показателя пористости грунтов: абсолютная пористость (n) и коэффициент пористости (e). Так как объем всего грунта складывается из объема твердых частиц (скелета) и объема пор, то трудно найти зависимости между этими показателями.

Абсолютная пористость — это отношение объема пор к объему всего грунта, выраженное в процентах.

Коэффициент пористости — это отношение объема пор к объему твердых частиц в долях единицы.

Обозначив объем твердых частиц V_c , а объем пор V_n , получим физическое выражение абсолютной пористости и коэффициента пористости

$$n = \frac{V_n}{V_n + V_c} 100, \quad (3.5)$$

$$e = \frac{V_n}{V_c}. \quad (3.6)$$

Пористость раздельнозернистых грунтов можно определить экспериментально методом водонасыщения (см. главу 12). Пористость связных грунтов вследствие невозможности вычислить объем пор получают расчетным путем с помощью показателей плотности сухого грунта ρ_d и плотности частиц ρ_s . Так как

$$V_n + V_c = 1, \quad (3.7), \quad \text{то } V_n = 1 - V_c, \quad (3.8)$$

где V_n — объем пор в единице объема, или пористость (n).

Выражая V_c через ρ_d и ρ_s , получим

$$V_c = \frac{\rho_d}{\rho_s}. \quad (3.9)$$

После всех преобразований получаем следующую формулу для величины абсолютной пористости:

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} 100. \quad (3.10)$$

Аналогично для коэффициента пористости

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}. \quad (3.11)$$

Как уже указывалось, приведенные формулы являются расчетными. Для преобразования же одного показателя в другой служат формулы пересчета

$$n = \frac{e}{1 + e} 100 \quad (3.12)$$

и

$$e = \frac{n}{1 - n}. \quad (3.13)$$

Вместо формул (3.10) и (3.11) для вычисления пористости можно пользоваться специально составленными номограммами [34].

Пористость влияет на такие свойства грунтов, как плотность сложения песков, водопроницаемость, сжимаемость, прочность.

СНиП II—15—74 рекомендует классифицировать пески по плотности их сложения непосредственно в зависимости от величины коэффициента пористости e , полученного в лаборатории на образцах ненарушенного сложения (табл. 5).

Классификация песков по плотности

Вид песка	Коэффициент пористости e для песков		
	плотных	средней плотности	рыхлых
Пески гравелистые, крупные и средние	$< 0,55$	$0,55 - 0,70$	$> 0,70$
Пески мелкие	$< 0,60$	$0,60 - 0,75$	$> 0,75$
Пески пылеватые	$< 0,60$	$0,60 - 0,80$	$> 0,80$

С увеличением размера пор в песках и величины пористости в глинистых грунтах увеличивается их водопроницаемость.

Сжимаемость грунтов будет тем больше, чем выше значение их пористости. Это хорошо видно на примере торфо-илистых отложений, имеющих высокую пористость.

Показатели прочности (сопротивление сдвигу) тем выше, чем выше плотность грунта. Поэтому, например, рыхлые пески малоустойчивы в откосах и легко выдавливаются при приложении к ним нагрузки, т. е. имеют малое сопротивление сдвигу.

Влажность грунта

Одним из важных физических свойств грунтов является влажность — все количество воды, содержащееся в грунте.

В главе 2 было показано влияние влаги на свойства грунтов, а также те формы воды, в которых она присутствует в них. Влажность выражается в процентах или в долях единицы от массы сухого грунта или в виде отношения объема воды, содержащейся в порах, к объему сухого грунта. Можно рассчитать как полное количество влаги, так и его относительное содержание в породе. Поэтому существует несколько показателей влажности, используемых при оценке грунта: естественная, или природная, влажность, весовая, или абсолютная, влажность, полная влагоемкость, относительная влажность.

Естественная, или природная, влажность w — это все количество воды, которое содержится в порах грунта в его природном состоянии. Она может изменяться в зависимости от климатических и гидрогеологических условий, колебаться на протяжении года или даже суток в известных пределах, но при этом всегда остается характерной для данного генетического вида грунта.

Весовой, или абсолютной, влажностью называют отношение массы воды к массе абсолютно сухого грунта, выраженное в процентах,

$$\text{весовая влажность} = \frac{\text{масса воды}}{\text{масса сухого грунта}} \cdot 100. \quad (3.14)$$

Определение влажности производится термовесовым способом, методика которого изложена в главе 13.

Полная влагоемкость w_n — это такая влажность, при которой все поры заполнены водой*.

Влажность в зоне аэрации, как отмечено выше, непостоянна. Влажность в зоне водонасыщения практически не меняется и количественно соответствует пористости грунта. Эта влажность и называется полной влагоемкостью, а грунт, имеющий такую влажность, водонасыщенным.

Полная влагоемкость может быть определена как

$$w_n = \frac{e}{\rho_s}, \quad (3.15)$$

где e — коэффициент пористости грунта; ρ_s — плотность частиц грунта.

Относительная влажность, или степень влажности, G показывает, какую часть объема пор в грунте занимает вода, т. е. характеризует соотношение фаз в грунте.

Относительная влажность равна отношению естественной влажности к полной влагоемкости

$$G = \frac{w}{w_n}. \quad (3.16)$$

Степень влажности рассчитывается по одной из следующих формул:

$$G = \frac{w\rho_s}{e}, \quad (3.17) \quad \text{и} \quad G = \frac{w\rho_d}{n} \quad (3.18)$$

$$G = \frac{w\rho_s(1-n)}{n}. \quad (3.19)$$

Во всех случаях влажность w и пористость n составляют доли единицы.

В соответствии со СНиП II—15—74 существует следующая классификация грунтов по степени влажности:

Состояние влажности грунта	Степень влажности G
Слабовлажные	0—0,5
Влажные	0,5—0,8
Водонасыщенные	0,8—1,0

Из других показателей влажности для характеристики грунтов применяются максимальная гигроскопичность, максимальная молекулярная влагоемкость, капиллярная влагоемкость.

* Это справедливо лишь для раздельнозернистых грунтов. В глинах и суглинках даже в состоянии полного водонасыщения часть пор (закрытые поры) содержит воздух.

Глава 4

СВОЙСТВА И СОСТОЯНИЕ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ВОДОЙ

Как указывалось в главе 2, изменение влажности грунта с переходом ее через характерные границы ведет к изменению состояния грунта или к возникновению в нем новых свойств.

Поскольку эти свойства проявляются при взаимодействии грунта с водой, они получили название водных, однако условно их разделяют на водно-физические и собственно водные.

К водно-физическим свойствам относятся пластичность, липкость, усадка, набухание, размокание.

Собственно водные свойства — это способность грунта содержать, отдавать и пропускать через себя воду. К их числу относятся: водонасыщение, водоотдача, водопроницаемость.

Пластичность и консистенция

Пластичностью называют способность глинистого грунта под действием внешних усилий менять свою форму без разрыва сплошности, а после прекращения действия усилия сохранять полученную форму. Пластичность — свойство, противоположное упругости.

Пластичными свойствами грунты обладают в определенном диапазоне влажностей. Эти влажности называются пределами пластичности.

Верхним пределом пластичности, или границей текучести, w_L называется такая влажность, при которой грунт переходит из пластичного в текучее состояние. Нижним пределом пластичности, или границей раскатывания, w_p называется такая влажность, при которой грунт переходит из пластичного в полутвердое или твердое состояние. Оба эти предела представляют такие влажности, при которых происходит изменение состояния грунта или его консистенции, и для разных видов грунтов имеют различные значения.

Консистенцией принято называть степень подвижности глинистых частиц, связанную с определенной для данного грунта влажностью. Существует несколько форм консистенции глинистых грунтов: текучая, текучепластичная, мягкопластичная, тугопластичная, полутвердая и твердая. В первых трех формах вследствие ослабления эластичных водно-коллоидных связей подвижность частиц большая, что придает грунтам свойства вязких жидкостей или паст. Три другие формы консистенции характерны для грунтов, находящихся в состоянии твердого тела или близком к нему.

Таким образом, консистенция определяет состояние грунтов. В различных глинистых грунтах значения как верхних, так и нижних пределов пластичности различны. Чем больше эта разница, тем пластичнее грунт.

Эта особенность позволила классифицировать глинистые грунты по пластичности, разделив их на высокопластичные (глины), пластичные (суглинки) и низкопластичные (супеси).

В основу классификации положено число пластичности. Число пластичности I_p представляет собой интервал влажности, в пределах которого грунт находится в пластичном состоянии и определяется как разность между границей текучести и границей раскатывания данного грунта

$$I_p = \omega_L - \omega_p, \quad (4.1)$$

где ω_L — влажность границы текучести (верхний предел пластичности); ω_p — влажность границы раскатывания (нижний предел пластичности).

В соответствии со СНиП II — 15—74 дисперсные грунты принято разделять по числу пластичности следующим образом:

Грунт	Число пластичности I_p
Супесь	0,01 — 0,07
Суглинок	0,07 — 0,17
Глина	> 0,17

И верхний и нижний пределы пластичности определяются в лаборатории на образцах грунтов в нарушенной структуре (см. главу 13). Из них методически более правильным и объективным является определение верхнего предела пластичности ω_L , что позволило некоторым исследователям предложить классификацию грунтов по величине границы текучести. В частности, В. И. Бирюля в качестве полевой классификации предлагает разделять глинистые грунты на виды следующим образом:

Грунт	Граница текучести, %
Глина	Более 42
Суглинок	42—26
Супесь	26—16

Влажность на нижнем пределе пластичности близка по своему значению к максимальной молекулярной влагоемкости ω_{max} , так как на границе перехода грунта из пластичного в твердое состояние в нем содержится в основном связанная вода.

На этом основании некоторые исследователи предлагают классифицировать грунты по ω_{max} . Ниже приводится одна из таких классификаций:

Грунт	Значение ω_{max} , %
Пески	Менее 7
Супеси	7—15
Суглинки	15—25
Глины	Более 25

Преимущество классификации связных грунтов по числу пластичности по сравнению с классификацией по гранулометрическому составу заключается в том, что коагуляция, как известно, чрезвычайно сильно искажает содержание глинистой фракции вследствие образования агрегатов. Это иногда приводит к ошибкам в определении вида грунта на целую градацию (супесь вместо суглинка, суглинок вместо глины).

Однако было бы ошибочным считать, что, классифицируя глинистые грунты по пластичности, не нужно определять их гранулометрический состав. Следует отметить, что число пластичности в известной мере является комплексным показателем, суммарно характеризующим глинистость и физико-химическое состояние тонкодисперсной части грунта [3]. Поэтому заслуживают внимания попытки найти соответствие между содержанием глинистой фракции и числом пластичности. Такие работы, в частности для грунтов юга УССР, проводились методом сопоставлений и статистической обработки значительного числа анализов образцов. Как пример такого сопоставления можно привести таблицу средних значений показателей пластичности и глинистости различных видов грунтов, вполне пригодную для практической оценки (табл. 6).

Таблица 6

Сопоставление показателей гранулометрического состава и пластичности глинистых грунтов

Вид грунта	Содержание глинистых фракций, %	Число пластичности I_p , %
Супесь, суглинок легкий	6—10	1—7
Суглинок средний	11—15	7—15
Суглинок тяжелый	16—30	15—17
Глина	> 30	$I_p > 17$

С инженерно-геологической точки зрения консистенция грунта косвенно связана с его механическими свойствами. Один и тот же грунт в твердой консистенции обладает меньшей сжимаемостью, чем в пластичной консистенции.

При влажностях в диапазоне от текучепластичной до мягкопластичной консистенции грунт обладает липкостью и его труднее разрабатывать механизмами. В текучепластичной и текучей консистенции его прочность падает до нуля.

В процессе исследований очень важно определить, в каком состоянии находится грунт в условиях естественного залегания. Для этого достаточно сравнить природную влажность грунта с влажностью того же грунта на границах текучести и пластичности.

Очевидно, что при влажности $\omega < \omega_p$ грунт будет находиться в твердом состоянии, при $\omega_p < \omega < \omega_L$ — в пластичном состоянии, при $\omega \geq \omega_L$ — в текучем состоянии.

Консистенция грунта характеризуется показателем консистенции (I_L)

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p}, \quad (4.2)$$

где w — естественная влажность; w_p — влажность на границе раскатывания; w_L — влажность на границе текучести; I_p — число пластичности.

В зависимости от показателя консистенции глинистые грунты в соответствии со СНиП II—15—74 разделяют следующим образом:

Вид и состояние грунта Показатель консистенции I_L

Суглинки и глины:

твердые	< 0,00
полутвердые	0,00—0,25
тугопластичные	0,25—0,50
мягкопластичные	0,50—0,75
текучепластичные	0, — 1,0
текучие	> 1,0

Супеси:

твердые	< 0,00
пластичные	0,00—1,0
текучие	> 1,0

Липкость

Под липкостью понимают способность связного грунта при определенной влажности налипать на различные предметы, приходящие в соприкосновение с грунтом.

Липкость обусловлена силами отрыва, возникающими на границе раздела «грунт—постороннее тело», т. е. между частицами грунта, одетыми гидратными оболочками, и поверхностью постороннего тела. В лаборатории для измерения липкости служит прибор, предложенный В. В. Охотиным. Выражается она в паскалях.

Величина липкости зависит от гранулометрического и химико-минерального состава грунтов, а также от их влажности. Наиболее сильно липкость проявляется в глинистых и пылеватых грунтах. Чаще всего это солонцеватые, а также гумусированные грунты.

Максимальной величины для данного грунта липкость достигает при влажности, соответствующей пределу липкости, который лежит между границей текучести и границей раскатывания.

Усадка

Усадкой называется уменьшение объема и линейных размеров образца грунта при высыхании.

Явление усадки свойственно глинистым и органомогенным грунтам. Оно сопровождается неравномерной деформацией грунта при высыхании, появлением в нем трещин, увеличением его водопроницаемости. Этот процесс часто наблюдается в откосах оросительных и осушительных каналов, в глинистых и заторфованных грунтах после удаления из них воды. Усадка ведет к переходу глинистого грунта из пластичного состояния в полутвердое и твердое, причем объем массы грунта уменьшается до определенного предела, после которого остается постоянным. Влажность, соответствующая постоянному объему грунта, называется пределом усадки (w_y).

Усадку принято характеризовать тремя показателями: относительной линейной, относительной объемной и пределом усадки (влажностью усадки), которые определяют лабораторным путем.

Набухание

Свойство глинистых грунтов увеличиваться в объеме при взаимодействии с водой называется набуханием. Набухание сопровождается увеличением пористости и влажности грунта; при этом консистенция его становится более мягкой (грунт переходит из твердого состояния в полутвердое, тугопластичное и даже пластичное).

Набухание обусловлено наличием в грунте гидрофильных минералов (наиболее сильно набухают грунты, содержащие минералы группы монтмориллонита), значительным содержанием глинистой фракции, высокой удельной поверхностью. Способностью набухать обладают многие глины, тяжелые суглинки, однако склонность к набуханию проявляется и в более легких грунтах, например в некоторых разновидностях лёссовидных суглинков юга СССР [37].

Набухание — процесс, обратный усадке; он приводит к ослаблению внутренних связей в грунте, уменьшению его прочности, увеличению сжимаемости, уменьшению водопроницаемости.

При переменном увлажнении, которое имеет место, например, в откосах земляных каналов или гидротехнических насыпей, явления усадки и набухания сменяют друг друга, в результате чего грунт теряет свою прочность: внутренние связи ослабевают, грунт частично отслаивается, частично оползает, что приводит к потере формы и деформациям поперечного сечения каналов.

Набухание характеризуется двумя показателями: свободным набуханием и давлением набухания.

Свободное набухание обусловлено приращением объема набухшего грунта по отношению к первоначальному объему. Косвенно этот показатель дает представление о содержании глинистой и

коллоидной фракций. Свободное набухание определяется лабораторным путем.

Давление набухания развивается в глинистом грунте как реакция внешней нагрузке, передаваемой на грунт от сооружения или веса вышележащей толщи грунта. Это давление может достигать величины 0,6—0,8 МПа и возникает в основании гидротехнических сооружений после пуска в них воды, что приводит к деформациям этих сооружений вследствие неравномерного поднятия разных участков фундамента.

Размокание

Размокание — это потеря сплошности и прочности грунта в результате ослабления или разрушения внутренних связей при взаимодействии с водой. Размокание обусловлено свойством некоторых грунтов размокать и характеризует степень водоустойчивости грунтов.

Инженерно-геологическое значение это явление приобретает в каналах, гидротехнических насыпях и других гидротехнических сооружениях, причем конечным результатом размокания является потеря грунтом прочности, отслаивание и оплывание его на откосах.

Как и другие водно-физические свойства, размокание зависит от минерального состава, состава поглощенного комплекса, характера внутренних связей, а также от начальной влажности грунта.

К грунтам, подверженным быстрому размоканию, относятся лёссы и лёссовидные суглинки, солонцы, пылеватые грунты. Многие грунты перед размоканием предварительно набухают, после чего теряют сплошность, превращаясь в бесструктурную массу. Некоторые грунты при размокании растрескиваются и расслаиваются на отдельные чешуйки.

Косвенно размокание характеризует невысокую уплотненность, склонность к просадочности или низкую прочность внутренних связей (например, в лёссовых грунтах); выражается скоростью (временем) размокания, влажностью размокшего образца и характером распада образца в воде.

Водонасыщение

Под водонасыщением понимают свойство дисперсных грунтов впитывать и удерживать в себе свободную воду. Этим свойством обладают как глинистые, так и раздельнозернистые грунты, так как те и другие имеют поры, в которых удерживается влага, однако характер водонасыщения, его скорость, количество удерживаемой воды зависят от ряда факторов, из которых основными являются: величина удельной поверхности, гидрофильность, гранулометрический состав, пористость.

Водонасыщение связано с величиной удельной поверхности: скорость водонасыщения тем большая, чем меньше удельная поверхность (пески насыщаются значительно быстрее, чем глины).

Количество удерживаемой воды зависит, с одной стороны, от пористости грунта, с другой — от его гидрофильности. Так, пески впитывают большое количество влаги, которая содержится в них в свободном состоянии, однако ее количество легко изменяется либо вследствие водоотдачи, либо в результате испарения. Гидрофильные глинистые грунты активно поглощают воду, однако наряду со свободной влагой в них содержится и связанная вода.

Водонасыщение грунта w_v можно выразить отношением

$$w_v = \frac{m_v}{m_c}, \quad (4.3)$$

где m_v — масса поглощенной грунтом воды; m_c — масса абсолютно сухого грунта.

Принято говорить также о дефиците водонасыщения D , под которым понимают разность между полной влагоемкостью w_n и естественной влажностью грунта w

$$D = w_n - w. \quad (4.4)$$

Водоотдача

Способность грунтов свободно отдавать воду под действием силы тяжести называется водоотдачей. Раздельнозернистые грунты обладают хорошей водоотдачей, численно равной объему их пор. Глинистые грунты имеют плохую водоотдачу, так как значительная часть влаги остается в них в виде связанной воды.

Если взять две трубки, одну из которых заполнить песком, а другую — глиной, затем водонасытить оба грунта до состояния полной влагоемкости, после чего дать воде спокойно стечь, то количество возвращенной воды в первой трубке составит 96—98 %, а во второй — только несколько процентов.

Величина водоотдачи играет большую роль при осушении грунтов. Некоторые грунты обладают малой водоотдачей. Так, например, истинные плавуны практически имеют водоотдачу, равную нулю, и их можно заставить отдавать воду только с помощью электроосмотического осушения (см. гл. 9). Водоотдачу чистых крупных песков приблизительно можно считать равной их пористости.

Водопроницаемость

Водопроницаемостью называют способность грунтов пропускать через себя воду. Свойство это является настолько важным, что по водопроницаемости все горные породы делят на две большие группы: водопроницаемые и водонепроницаемые. Такое деление имеет большое значение в гидрогеологии, поскольку позволяет выделять в геологическом разрезе водоносные

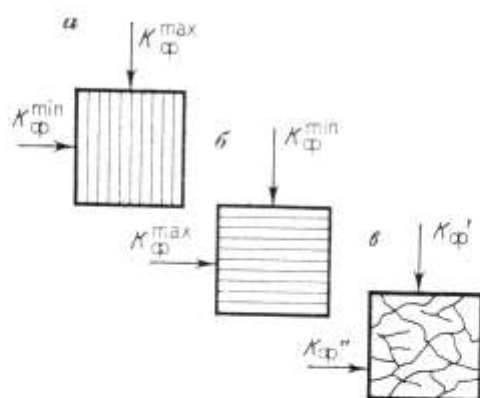


Рис. 3. Схема изменения водопроницаемости в анизотропных грунтах разных структур: а — столбчатой; б — слоистой; в — неявно выраженной.

K_{ϕ}^{\max} , K_{ϕ}^{\min} , K_{ϕ}' , K_{ϕ}'' — коэффициенты фильтрации

горизонты и водоупоры. Водопроницаемости уделяется большое внимание при изысканиях под основания плотин, в чаше водохранилища, в каналах и для других гидротехнических объектов.

Вода в различных горных породах может проходить по порам, трещинам, кавернам и другого рода пустотам. В зависимости от вида и размера этих пустот характер движения воды может быть либо спокойным параллелеструйным (ламинарным), либо вихреобразным (турбулентным). Показателем водопроницаемости в гидрогеологии и инженерной геологии служит коэффициент фильтрации — K_{ϕ} .

В соответствии с законом Дарси расход воды при фильтрации

$$Q = K_{\phi} F I, \quad (4.5)$$

где Q — расход воды, протекающей через грунт за единицу времени, $\text{м}^3/\text{с}$; K_{ϕ} — коэффициент фильтрации, или кажущаяся скорость фильтрации при градиенте, равном единице, $\text{м}/\text{сут}$; F — площадь сечения грунта, через которую проходит вода, м^2 ; I — гидравлический градиент (безразмерная величина).

Из формулы (4.5) следует

$$K_{\phi} = \frac{Q}{F I}. \quad (4.6)$$

В. А. Приклонский приводит усредненные значения коэффициентов фильтрации различных грунтов, которые дают представление о диапазоне изменения этого показателя для грунтов различного гранулометрического состава.

Грунт	Усредненные значения K_{ϕ} , $\text{м}/\text{сут}$
Галечник чистый	Более 100
Галечник с песчаным заполнителем	100—200
Пески чистые разной крупности . .	50—2
Пески глинистые, супеси	2—0,1
Суглинки	Менее 0,1
Глины	Менее 0,001

Для связных пород вследствие их анизотропности коэффициенты фильтрации в горизонтальном и вертикальном направлениях могут существенно отличаться (рис. 3). Такие явления отмечены в грунтах, неоднородных по своему строению,— лёссовых суглинках, ленточных глинах, торфах [1]. При исследовании таких грунтов необходимо определять их водопроницаемость как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях.

Глава 5

ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ РЫХЛЫХ И СВЯЗНЫХ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Механические свойства

Свойства, проявляющиеся в грунтах под влиянием приложения к ним внешних усилий и приводящие либо к изменению объема грунта, либо к нарушению его прочности и плотности, носят название механических. Они подразделяются на деформационные, прочностные и реологические.

Деформационные свойства грунтов проявляются в изменении формы и объема при воздействии на грунт внешних усилий, не приводящих к разрушению.

Как рыхлые, так и связные глинистые грунты при приложении к ним нагрузок уплотняются, т. е. уменьшают свою пористость, что приводит к изменению их формы: уменьшению мощности слоя, понижению отметок поверхности нагружаемой площадки, уменьшению высоты сжимаемого образца в лабораторном приборе. Такое изменение называется деформацией.

Описываемые деформации происходят под действием напряжений, возникающих в грунте после приложения внешней нагрузки. Они тем значительнее, чем больше величина прилагаемой нагрузки, и зависят от первоначального состояния грунта: его вида, структуры, пористости, состава, влажности. В дисперсном грунте эти деформации имеют объемный характер, так как в первую очередь связаны с уменьшением объема грунта, находящегося в напряженном пространстве.

Деформации возникают, как правило, в результате воздействия на скелет породы *нормальной составляющей* нагрузки и характеризуют способность грунта к уплотнению, которая внешне выражается осадкой грунта под сооружением.

Основоположник советской механики грунта Н. М. Герсиванов, изучавший характер деформации грунтов в зависимости от величины прилагаемых к ним нагрузок, выделял три фазы изменения состояния грунтов: уплотнение, сдвиг, выпирание [рис. 4].

Из графика следует, что при некоторых значениях нагрузок от 0 до P_1 происходит уплотнение грунта, в результате которого деформация носит линейный характер и осадка со временем зату-

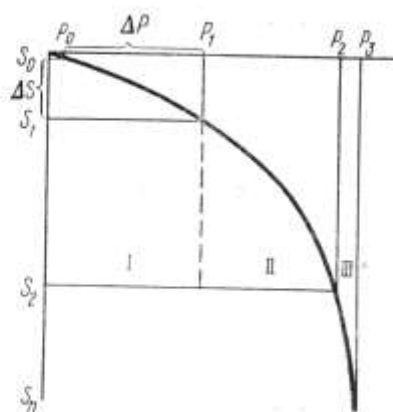


Рис. 4. График деформации грунта под нагрузкой. I, II, III — стадии деформации.

хает. При увеличении нагрузки от P_1 до P_2 в грунте помимо деформаций уплотнения начинаются деформации локальных сдвигов, что приводит к нарушению линейного характера деформации — она продолжает равномерно нарастать. Таким образом, в начале II стадии возникают предпосылки нарушения прочности грунта. При дальнейшем возрастании нагрузки до P_3 локальные сдвиги получают развитие во всей толще грунта основания, деформация нарастает без увеличения нагрузки и в конце этой фазы происходит выпирание грунта из-под сооружения под действием сдвигающих сил и его разрушение. Это явление характеризует

прочностные свойства дисперсных грунтов, обусловлено сопротивлением грунтов сдвигу и выражается либо в потере прочности основания, либо в нарушении устойчивости откосов земляных сооружений.

Такое разделение деформаций достаточно условно, так как в любом массиве грунта под действием внешних сил возникают как сближение частиц, так и элементарные сдвиги. Однако при преобладании процесса уплотнения происходит деформация сжатия (осадка), а при повсеместном развитии сдвигов — потеря прочности и разрушение грунта.

Под реологическими свойствами грунтов понимают закономерности протекания деформаций и изменение прочности грунта во времени. В дисперсных грунтах эти свойства проявляются в виде релаксации, ползучести и длительной прочности.

Под релаксацией понимают процесс перехода упругой деформации в необратимую пластическую, причем этот процесс протекает длительно и сопровождается постепенным уменьшением напряжений, вследствие раздробления части агрегатов, смещения частиц, выравнивания местных напряжений на контактах их друг с другом.

Ползучестью называют способность грунтов длительно деформироваться при постоянной нагрузке, меньшей, чем разрушающая.

Длительная прочность — это постепенно уменьшающаяся прочность грунта при длительном действии нагрузки.

Реологические свойства зависят от структуры грунта в образце или массиве, неравномерности распределения напряжений на контактах частиц, неравнопрочности этих частиц и их агрегатов, а также от величины прикладываемых нагрузок.

При сравнительно небольших давлениях деформации обусловлены в основном увеличением количества контактов частиц, уплотнением, а иногда и упрочением грунта. Они затухают через

какой-то промежуток времени. В случае значительных по величине нагрузок скорость деформации становится практически постоянной в течение длительного времени (пластическое течение). При больших, длительно действующих нагрузках прочность материала грунта постепенно уменьшается и будет меньше, чем его прочность при кратковременно действующих давлениях. Это падение прочности у различных грунтов может достигать 30—70 % по сравнению с мгновенной прочностью.

Реологические свойства имеют большое значение при расчетах прогноза осадки и прочности оснований сооружений, особенно на слабых грунтах.

Сжимаемость

В процессе производственной деятельности человека грунты как основания, материал или среда для сооружений могут подвергаться различным силовым воздействиям: давлению, уплотнению, скалыванию, растяжению, кручению, резанию; наиболее часто грунты испытывают нагрузки от сооружений, приводящие к их уплотнению и сжатию.

По тому, как реагируют на эту деформацию различные грунты или одни и те же грунты, но находящиеся в различном фазном состоянии, судят о пригодности грунта в качестве основания сооружения или материала насыпи.

Задача исследований деформационных свойств грунта заключается в изучении характера сжимаемости, величины и скорости этого процесса, в получении объективных характеристик, необходимых для расчетов осадок оснований сооружений и допускаемых давлений на основание.

Некоторый объем грунта, подвергающийся нормальному давлению (например, от сооружения), сжимается в направлениях большего из действующих напряжений и расширяется в перпендикулярном к нему направлении. Боковому расширению препятствует сопротивление окружающего грунта, поэтому сжатие протекает при ограниченной возможности бокового расширения.

Допуская определенную условность, в грунтоведении рассматривают сжимаемость грунтов в условиях невозможности бокового расширения грунта, которое называется компрессией. Компрессия может быть интерпретирована одной из трех математических зависимостей: между пористостью и давлением, сжатием и давлением и влажностью и давлением. Графически эти зависимости могут быть представлены в виде *компрессионных кривых*.

Наиболее распространенным видом компрессионных кривых являются кривые вида

$$e = f(P). \quad (5.1)$$

Компрессионные кривые выражают эмпирическими уравнениями обычно в логарифмической форме

$$e = e_0 - \frac{1}{B} \ln(P + C), \quad (5.2)$$

где e_0 — коэффициент пористости; P — соответствующая нормальная нагрузка на грунт, МПа; B и C — параметры, значения которых определяют из опыта (безразмерные величины).

Компрессионные кривые получают экспериментально при испытании образцов грунта в компрессионных приборах в лаборатории (см. гл. 14).

Для определения характеристик компрессии рассмотрим следующую схему (рис. 5). Дисперсный грунт подвергают сжатию в жестком кольце фиксированного объема последовательно увеличивающимися ступенями нагрузок $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$. При этом наблюдается уменьшение первоначальной высоты образца H на величину $\Delta H_1, \Delta H_2, \dots, \Delta H_n$ (см. рис. 5, а) и уменьшение объема V_1, V_2 и V_3 (рис. 5, б).

Эту зависимость можно изобразить в виде компрессионной кривой в координатах «давление—деформация», или $\Delta H = f(P)$ (см. рис. 5, в).

Каждая ступень нагрузки приводит к уменьшению объема пор (V_n) образца. При этом объем скелета (V_c) остается постоянным. Так как $V_n/V_c = e$, то увеличение нагрузки приводит к уменьшению коэффициента пористости грунта, что характеризуется кривой

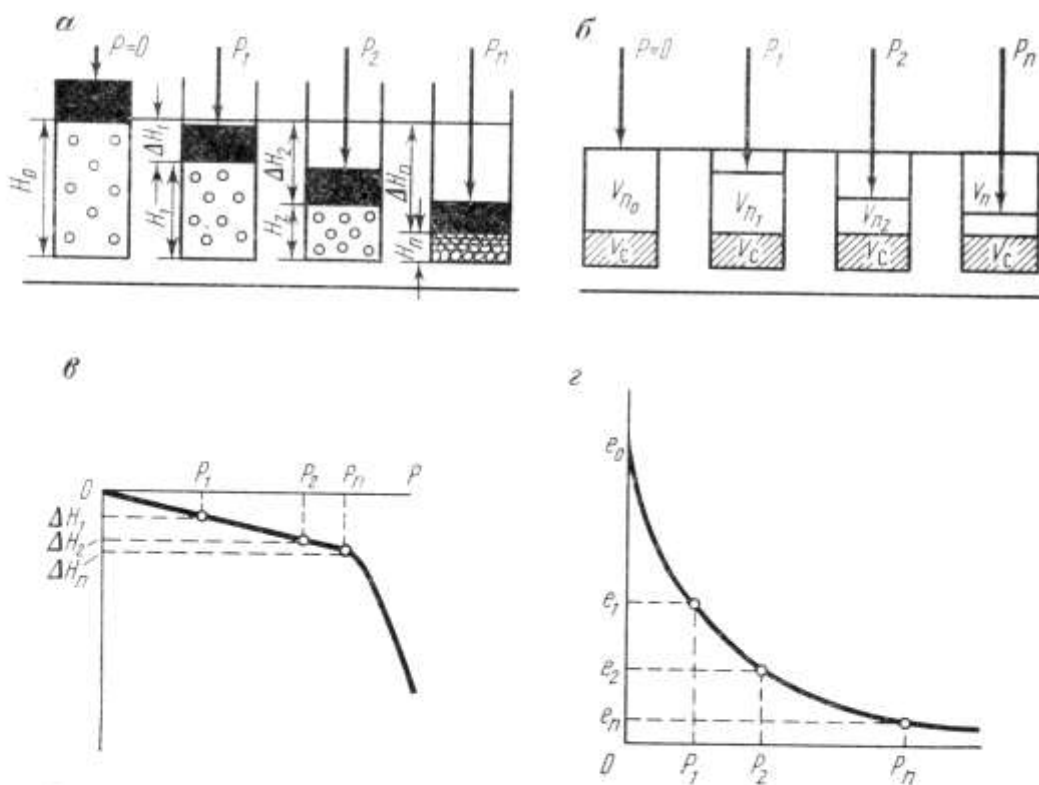


Рис. 5. Модель сжатия дисперсного грунта. а — изменение высоты образца при увеличении нагрузки (осадка); б — изменение пористости образца при увеличении нагрузки (уплотнение); в — кривая зависимости $\Delta H = f(P)$; з — кривая зависимости $e = f(P)$

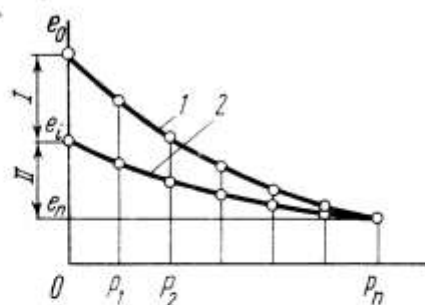


Рис. 6. Ветви компрессионной кривой: 1 — прямая; 2 — обратная. Деформации: I — остаточная; II — упругая

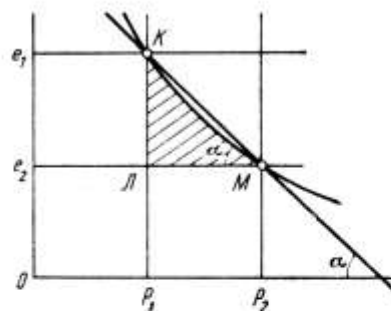


Рис. 7. Геометрический смысл коэффициента сжимаемости

зависимости «давление—коэффициент пористости», или $e = f(P)$, которая выражает изменение плотности грунта (см. рис. 5, з).

Уменьшение коэффициента пористости грунта от e_0 до e_n (рис. 6) характеризует *общую* деформацию при давлении P , в которой следует различать *упругую* и *остаточную* деформации.

Если разгрузить образец грунта (кривая 2 на рис. 6), то отрезок I на оси ординат покажет остаточную деформацию, т. е. необратимую часть общей деформации, которая возникла как результат перемещения частиц и разрушения структурных элементов при сжатии, а отрезок II зафиксирует упругую часть общей деформации, или величину разуплотнения грунта.

Компрессионные свойства грунтов зависят от:

структуры грунта: раздельнозернистые грунты сжимаются быстрее, а конечные осадки их при всех прочих равных условиях меньше, чем у грунтов глинистых; в последних процесс сжатия протекает часто очень медленно;

минерального состава и содержания тонкодисперсной фракции. Наличие в грунтах минералов группы монтмориллонита понижает их сжимаемость за счет возникновения явления набухания, а наличие органических примесей и органо-минеральных соединений, наоборот, резко увеличивает сжимаемость грунтов;

типа и характера внутренних связей: чем прочнее связи, тем меньше сжимаемость;

физического состояния грунта — плотности сухого грунта и естественной влажности: чем больше плотность укладки частиц грунта, тем меньше его сжимаемость; чем выше степень влажности, тем длительнее протекает процесс сжатия глинистых грунтов;

истории нагружения грунта, т. е. темпа приложения нагрузок, который обуславливает полное или неполное завершение этапов сжатия.

При исследовании грунтов наиболее часто пользуются компрессионной кривой вида $e = f(P)$. Эта кривая, характеризующая свойства исследуемого грунта, позволяет: а) классифицировать

грунты по величине сжимаемости; б) устанавливать величину структурной прочности грунта; в) определять модуль общей деформации грунта.

Рассматривая компрессионную кривую (рис. 7), нетрудно заметить, что каждому значению нормального давления P соответствует определенное значение коэффициента пористости e . В случае, если изменение давления будет незначительным, это приведет к малому изменению коэффициента пористости, что позволяет нам принять участок кривой с ординатами e_1, e_2 за прямую. Тогда, как это видно из треугольника KLM , отношение разности ординат $e_1 - e_2$ к разности абсцисс $P_2 - P_1$ будет соответствовать $\operatorname{tg} \alpha$, или a ,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1} = a. \quad (5.3)$$

Чем больше a на данном участке исследуемой компрессионной кривой, тем, очевидно, более сжимаемым является грунт при тех же значениях удельного давления. Величина a в механике грунтов называется *коэффициентом сжимаемости*.

Коэффициент сжимаемости является важным показателем, позволяющим разделить грунты по степени сжимаемости на четыре категории:

Степень сжимаемости грунта	Коэффициент сжимаемости a
Практически несжимаемый	Менее 0,001
Слабосжимаемый	0,001—0,01
Среднесжимаемый	0,01—0,1
Сильносжимаемый	Более 0,1

Второй характеристикой деформационных свойств дисперсных грунтов является *модуль деформации* (E_0)

$$E_0 = \beta \frac{1+e}{a}, \quad (5.4)$$

где a — коэффициент сжимаемости для интервала соседних нагрузок $P_2 - P_1$; β — безразмерный коэффициент, зависящий от относительной поперечной деформации грунта, который принимают для песков равным 0,8; для супесей — 0,7; для суглинков — 0,5 и для глин — 0,4.

Модуль общей деформации вычисляют для определенного интервала нагрузок, в пределах которых сохраняется линейная зависимость между общей деформацией грунта и теми напряжениями, которые ее вызывают. Этот показатель широко применяется в практике расчета деформаций оснований сооружений.

Наконец, третья характеристика сжимаемости грунтов — это так называемый *модуль сжимаемости* (E_c), представляющий собой величину относительного сжатия грунта под действием нагрузки (P) и предложенный Н. Н. Масловым [26].

Модуль сжимаемости показывает величину сжатия образца или осадку слоя грунта мощностью 1 м при приложении к нему внешней нагрузки P

$$E_c = 1000 \frac{\Delta H}{H}, \quad (5.5)$$

где ΔH — сжатие образца или осадка слоя грунта при нагрузке P , мм; H — высота образца или мощность слоя, м.

Ниже приводится классификация грунтов по величине относительной сжимаемости (по Н. Н. Маслову):

Степень сжимаемости грунта	Модуль сжимаемости E_c , мм/м
Практически несжимаемый	Менее 1
Слабосжимаемый	1—5
Среднесжимаемый	6—20
С повышенной сжимаемостью	21—60
Сильносжимаемый	Более 60

Изучение сжимаемости грунтов ведется как в лабораторных, так и в полевых условиях. В первом случае показатели сжимаемости определяют на отдельных образцах грунтов с ненарушенной структурой, извлеченных из шурфов и скважин или на специально приготовленных грунтовых пастах в компрессионных приборах.

Полевые опытные испытания сжимаемости грунтов основания производятся непосредственно в поле с помощью штамповых установок крупных размеров, располагаемых в скважинах или шурфах непосредственно на отметках залегания исследуемого слоя. Конструкции приборов и полевых опытных установок, а также методика проведения испытаний описаны в главах 14 и 16.

Сжатие, или уплотнение, грунта зависит от его вида, состава и состояния грунта. Поэтому характер сжатия, выражающийся компрессионной кривой, различен для песков и глин (рис. 8). У первых компрессионная кривая будет иметь короткий начальный участок, соответствующий резкому уплотнению грунта в момент приложения нагрузки. Аналогией может быть сближение стальных шариков при приложении к ним нагрузки, как это показано на рис. 8, а. В глинистых грунтах такого резкого сжатия в начальный момент не наблюдается, что можно объяснить при-

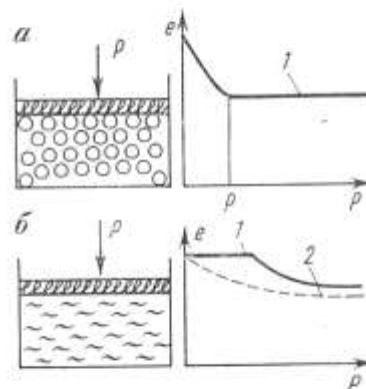


Рис. 8. Компрессионные кривые песчаных и глинистых грунтов: а — модель и кривая сжатия песчаного грунта; б — то же, глинистого грунта. 1 — компрессионная кривая грунта с ненарушенной структурой; 2 — то же, с нарушенной структурой

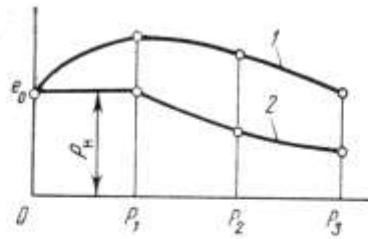


Рис. 9. Компрессионные кривые грунта, содержащего монтмориллонит (набухающего грунта): 1 — кривая свободного набухания; 2 — кривая набухания с пригрузкой образца

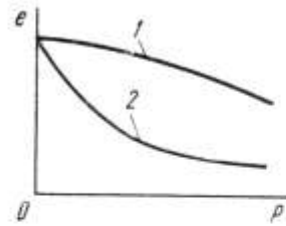


Рис. 10. Компрессионные кривые природно недоуплотненного (просадочного) грунта: 1 — при естественной влажности; 2 — при насыщении водой

ложением нагрузки к совершенно другому материалу, например к гибким металлическим пластинкам или стружкам (см. рис. 8, б). Наличие внутренних структурных связей оказывает сопротивление приложенной нагрузке, вследствие чего сжатие наступает только тогда, когда это сопротивление будет преодолено. Чем прочнее структурные связи или чем более переуплотнены грунты (например, глины, залегающие на значительной глубине от поверхности), тем большей величиной структурной прочности они обладают*. Если структуру грунта нарушить, то структурная прочность резко понижается (см. рис. 8, б, кривая 2).

В глинистом грунте, содержащем минералы группы монтмориллонита, при взаимодействии с водой возникает свободное набухание, которое в процессе опыта приведет к увеличению коэффициента пористости на графике компрессионной кривой (рис. 9, кривая 1), а в случае пригрузки образца в кольце прибора (там же, кривая 2) позволит определить силу набухания $P_{ш}$.

В случае испытания природно недоуплотненных лёссовых грунтов при естественной влажности наблюдается невысокое структурное сцепление, вследствие чего кривая в начальном участке бывает выпуклой (рис. 10, кривая 1). Если же этот грунт насытить водой, то компрессионная кривая покажет резкое уплотнение грунта (там же, кривая 2).

Слабые грунты (торф, ил) характеризуются большой сжимаемостью и отсутствием структурной прочности, а их компрессионные кривые имеют вид, представленный на рис. 11.

Что касается раздельнозернистых грунтов (песок, гравий), то, как было показано выше, их сжимаемость объясняется сближением отдельных обломков или окатанных частиц, и уплотнению противостоит лишь одна сила — внутреннее трение самих частиц.

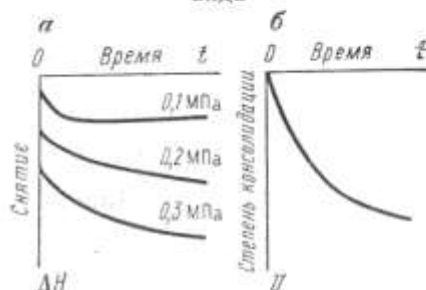
Наличие влаги в порах такого грунта практически не влияет ни на величину, ни на скорость сжатия, так как при сближении

* Величина структурной прочности определяется горизонтальным участком компрессионной кривой, представляющим удельное давление, при котором сопротивление структурных связей будет преодолено.



Рис. 11. Компрессионная кривая слабого грунта

Рис. 12. Кривые консолидации грунта: а — первого вида; б — второго вида



частиц влага выдавливается из крупных открытых пор и процесс уплотнения при данной нагрузке завершается непосредственно вслед за ее приложением к грунту. Вот почему при наличии песчаных оснований сооружений их осадка завершается одновременно с завершением строительства.

Иная картина наблюдается при уплотнении связных глинистых грунтов. Как уже упоминалось, деформация таких грунтов происходит в несколько этапов, а поэтому после приложения нагрузки на грунт проходит некоторое время, прежде чем наступит уплотнение грунта и еще больший промежуток времени требуется на завершение процесса сжатия при данной степени нагрузки. Процесс уплотнения глинистых грунтов во времени при постоянной нагрузке называется *консолидацией*.

Длительность этого процесса зависит от следующих основных факторов: а) структурной прочности грунта; б) водопроницаемости; в) вязкости или ползучести (реологических свойств грунта).

О скорости и характере консолидации дают представление кривые консолидации, т. е. кривые зависимости осадки от нагрузки во времени, которые строят для каждой степени нагрузки исследуемого грунта. Они бывают двух видов.

Кривые первого вида (рис. 12, а) показывают зависимость величины сжатия (ΔH) от времени при степенях нагрузки $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$. Кривые второго вида (см. рис. 12, б) показывают изменение степени консолидации во времени.

Степенью консолидации (U) принято называть отношение величины сжатия в данный момент времени к полной величине сжатия при завершившейся консолидации

$$U = \frac{\Delta H_t}{\Delta H}, \quad (5.6)$$

где U — степень консолидации; ΔH_t — сжатие или осадка в данный момент времени (через t часов от начала сжатия при на-

грузке P); ΔH — полное сжатие при завершившейся консолидации от нагрузки P .

В глинистых грунтах, находящихся в двухфазном состоянии, т. е. водонасыщенных, консолидация протекает медленно: месяцами, годами, десятками лет.

Скорость уплотнения в основном определяется скоростью отжатия воды из пор грунта, а эта последняя, в свою очередь, обусловлена коэффициентом фильтрации, и ее расчет обосновывается в механике грунтов теорией фильтрационной консолидации.

Прочность

В начале настоящей главы была дана общая характеристика механических свойств и показано, что при действии значительных нагрузок на грунт в нем возникают касательные напряжения, стремящиеся сместить одну часть грунта по отношению к другой, что приводит либо к нарушению прочности основания, либо к потере устойчивости откоса. В обоих случаях условием прочности является сопротивление сдвигу, обусловленное силами внутреннего трения в несвязных грунтах, трением и сцеплением в связных грунтах.

Внутренним трением в песках и других раздельнозернистых грунтах называются силы трения, действующие на контактах между частицами. Оно зависит от размера, формы, характера поверхности и минерального состава песков, а также от степени их уплотненности. Чем крупнее частицы, чем более шероховата их поверхность и чем они менее окатаны, тем их сопротивление трению больше. Это сопротивление может быть выражено коэффициентом внутреннего трения f , от которого в основном зависит сопротивление сдвигу чистых песков.

В 1773 г. французский физик Ш. Кулон установил следующую прочностную зависимость: предельное сопротивление сыпучих грунтов сдвигу есть сопротивление трению, прямо пропорциональное нормальному давлению.

Геометрически эта зависимость выражается прямой в системе координат « τ (сопротивление сдвигу) — P (нормальное давление)», проходящей через начало координат (рис. 13), и может быть записана в виде уравнений

$$\tau = fP \quad (5.7), \quad \text{и} \quad \tau = P \operatorname{tg} \varphi, \quad (5.8)$$

где τ — предельное сдвигающее напряжение, МПа; P — нормальное давление, МПа; f — коэффициент внутреннего трения материала (песка).

Как видно из графика, f в уравнении прямой представляет угловой коэффи-

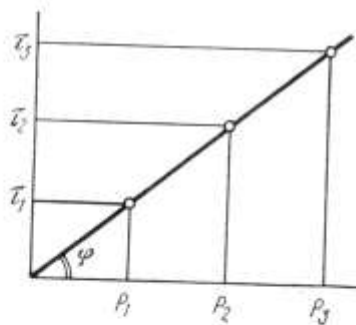


Рис. 13. График сопротивления сдвигу для несвязных грунтов. τ_1, τ_2, τ_3 — сдвигающие усилия; P_1, P_2, P_3 — нормальные давления; φ — угол внутреннего трения

циент, равный тангенсу угла наклона прямой к оси давлений

$$f = \operatorname{tg} \varphi. \quad (5.9)$$

Угол φ получил название угла внутреннего трения, а уравнение (5.8) представляет собой уравнение Кулона для несвязных грунтов.

Как было отмечено, степень уплотненности песков существенно влияет на сопротивление сдвигу: при более плотной укладке частиц сопротивление сдвигу возрастает за счет трения взаимно прижатых поверхностей и зацепления частиц друг за друга.

В табл. 7 показана зависимость значений углов внутреннего трения песка от размера зерен и плотности их укладки.

Таблица 7

Угол внутреннего трения для песков разной крупности и плотности

Вид песка по степени крупности или зернистости	Угол внутреннего трения песка φ , °	
	средней плотности	плотного
Мелкий	27	30
Средний	28	32
Крупный	29	33
Гравелистый	30	35

Из таблицы видно, что степень крупности частиц может сказываться на изменении величины угла φ в диапазоне 3—5°. В таком же диапазоне колеблются значения φ для каждой разности в зависимости от степени уплотнения.

Несколько более сложными зависимостями выражается сопротивление сдвигу в связных грунтах. Здесь кроме сил внутреннего трения существуют еще так называемые силы сцепления между частицами, обусловленные наличием внутренних связей. Так как по своему характеру эти связи могут быть различны (структурные, цементационные, водно-коллоидные, связи зацепления), то и сцепление у разных грунтов или у одних и тех же грунтов, но находящихся в различном фазном состоянии, могут существенно отличаться.

Сцепление зависит от ряда факторов и, в частности, от степени влажности грунта. Чтобы представить себе влияние влаги на прочность грунта, достаточно привести следующие примеры: а) уменьшение прочности сухой глины при ее увлажнении; б) размокание некоторых грунтов (в частности, лёссовых) при их взаимодействии с водой, сопровождающееся потерей сплошности; в) снижение прочности набухших грунтов после прекращения набухания. Во всех этих случаях вода приводит к ослаблению внутренних связей: снижает внутреннее трение в грунтах, увеличивает составляющую нормального давления за счет увеличения объемной массы грунта.

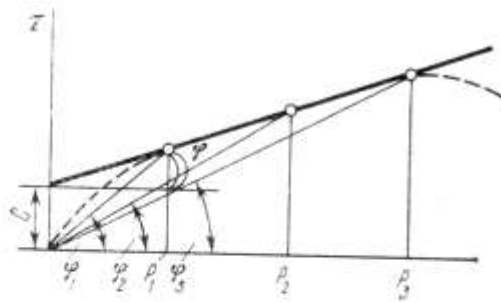


Рис. 14. График сопротивления сдвигу для связных грунтов. τ — сдвигающее усилие; P — нормальное давление; C — сцепление; φ — угол внутреннего трения; ψ — коэффициент сдвига.

Такие природные явления, как оползни, обвалы, сели, связаны с изменением консистенции грунта за счет повышения его влажности, ослабления сил внутреннего трения и сцепления и в конечном счете ведут к резкому уменьшению сопротивления грунтов сдвигу.

Силы, обусловленные сопротивлением внутренних связей в связном грунте, как было показано, не зависят от нормального давления.

В этом случае уравнение Кулона будет иметь вид

$$\tau = P \operatorname{tg} \varphi + C, \quad (5.10)$$

где C — сцепление, МПа.

Геометрически эта зависимость также выражается прямой в координатах « τ — P », но не проходящей через начало координат (рис. 14). На этом графике силы трения по-прежнему характеризуются величиной φ (угол внутреннего трения), а сцепление — отрезком, отсекаемым прямой на оси ординат. В отношении уравнения и графика необходимо сделать два замечания.

Во-первых, прямолинейная зависимость между сопротивлением сдвигу и нормальным давлением в связных грунтах справедлива в определенном диапазоне давлений (примерно от 0,05 до 0,8 МПа). Во-вторых, разделение сопротивления сдвигу на трение и сцепление условно, так как доля того и другого в разных случаях различна.

По Н. Н. Маслову общее сопротивление сдвигу характеризуется коэффициентом сдвига, который определяется по следующей формуле:

$$\operatorname{tg} \psi = \operatorname{tg} \varphi + \frac{C}{P}, \quad (5.11)$$

где ψ — коэффициент сдвига.

Для песчаных грунтов $\operatorname{tg} \psi$ равен $\operatorname{tg} \varphi$ и приближенно соответствует углу естественного откоса песков. Для глинистых грунтов коэффициент сдвига — величина переменная: он уменьшается с увеличением нормального давления. В таких грунтах общее сопротивление сдвигу увеличивается с увеличением содержания глинистой фракции, хотя внутреннее трение при этом уменьшается [23].

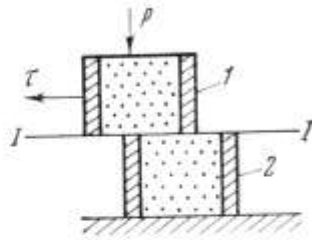


Рис. 15. Схема прибора одноплоскостного сдвига. $I—I$ — заданная плоскость сдвига; 1 — верхнее кольцо прибора, 2 — нижнее кольцо прибора

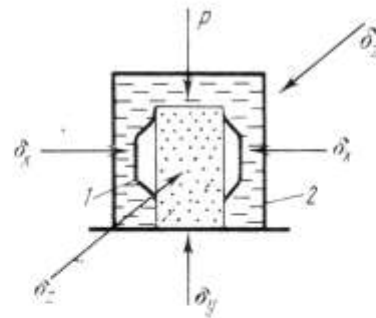


Рис. 16. Схема стабилометра. 1 — герметическая камера, 2 — эластичная оболочка; P — осевое давление, $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ — всестороннее обжимающее давление

Приведенные выше уравнения (5.10) и (5.11) выражают закономерности прочности несвязных и связных дисперсных грунтов и содержат основные расчетные показатели, которыми являются угол внутреннего трения φ и сцепление C . Эти два параметра необходимы для инженерных расчетов прочности и устойчивости массивов грунтов, их давления на ограждения, подземные и гидротехнические сооружения. Даже небольшие изменения значений этих показателей могут повлиять на изменение объемов и стоимости сооружений или привести к недопустимым деформациям и даже разрушению сооружения.

Определение показателей прочности песчано-глинистых грунтов производится в лабораторных сдвиговых приборах и на специальных установках в поле. В лабораторной практике наиболее часто используется метод одноплоскостного среза (рис. 15). Он заключается в перерезывании цилиндрического образца грунта, уплотненного заданным давлением P путем сдвига одной его части по отношению к другой в заранее фиксированной плоскости $I—I$ и определения возникающего при этом сдвигающего усилия τ . Опыты на сдвиг в зависимости от задаваемых граничных условий могут производиться с предварительным уплотнением или без него, быстро или медленно, при различном сочетании уплотняющих и срезающих нагрузок, на грунтах с ненарушенной структурой (монолитах) или с нарушенной структурой (пастах).

Второй метод — испытание на трехосное сжатие в стабилометре (рис. 16). Сущность испытания заключается в создании на образец грунта, заключенный в эластичную оболочку и помещенный в герметически закрытую камеру, всестороннего обжимающего давления $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ с одновременной передачей сжимающего осевого давления P . Постепенно увеличивая осевое давление, образец доводят до разрушения. По окончании испытания двух-трех образцов при различном всестороннем давлении строят диаграмму Мора, по которой определяют параметры сдвига φ и C .

Полевые инженерно-геологические испытания на сдвиг производят в шурфах и скважинах. Выбор метода зависит от вида и состояния грунта и от характера будущего сооружения. Методика этих исследований освещена в гл. 17.

Глава 6

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ПОРОД

Общая характеристика

К твердым породам относятся магматические, метаморфические и твердые осадочные породы. Согласно СНиП II—15—74 сюда входят все грунты основания из группы скальных грунтов и залегающие в виде сплошного или трещиноватого массива*.

Скальные и полускальные породы вследствие относительно глубокого залегания значительно реже служат основанием сооружений, чем рыхлые осадочные отложения, однако в местах их выхода на поверхность и на малой глубине они подвергаются интенсивному выветриванию, что приводит к резкому ухудшению их прочностных свойств.

В отличие от дисперсных грунтов твердые горные породы обладают монолитностью, т. е. состоят из минералов, их обломков, химических соединений или органических остатков (например, известняк-ракушечник), находящихся в плотно-прочном состоянии, имеют малую пористость и очень большие силы внутренних связей.

Пористость скальных пород обычно не превышает 5%. Внутренние связи, сообщающие монолитность породе, имеют кристаллизационный или цементационный характер. Типичной особенностью структурных связей является их необратимость. В процессе выветривания твердых горных пород в них возникают трещины. Трещиноватость обуславливает снижение прочности и значительную водопроницаемость этих пород.

Физические свойства

Скальные и полускальные горные породы как твердые тела характеризуются следующими физическими свойствами: плот-

* СНиП II—15—74 в разделе «Номенклатура оснований» выделяет только группу скальных грунтов, в которую входят изверженные, метаморфические и осадочные породы с жесткими связями между зернами. Многие исследователи считают, что необходимо выделять кроме скальных и полускальные грунты, существенно отличающиеся от первых прочностью, водопроницаемостью и другими свойствами. К полускальным породам относят породы типа мергелей, песчаников с глинисто-кремнистым цементом, имеющие предел прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии $R_z = 5.0$ МПа, а также растворимые и размягчаемые водой, такие, как гипс, гипсовые песчаники и др.

ностью породы, плотностью частиц, пористостью, трещиноватостью, влажностью.

Для скальных пород типа габбро, у которых пористость колеблется от сотых долей до 1,5 %, плотность породы и плотность частиц численно равны, так как объем минеральной части и всей породы одинаков. Однако для пород со значительной пористостью эти показатели существенно отличаются. Для таких пород, как и для дисперсных грунтов, существует еще одна характеристика — плотность сухого грунта, которая определяется расчетным путем (см. гл. 3).

Таким образом, пористость является одной из основных характеристик физических свойств твердых пород. Под пористостью принято понимать общий объем пор в единице объема породы.

Общая пористость в твердых породах разделяется на первичную и вторичную, а также на открытую (эффективную) и закрытую (неэффективную).

Значение этих видов пористости в разных типах скальных и полускальных грунтов различно. Так, первичная пористость возникает в породе вместе с ее образованием из магмы, осадка или в процессе диагенеза. Это, как правило, пустоты между мельчайшими обломками минералов, кристаллов и микротрещины. Вторичная пористость появляется при перекристаллизации отдельных компонентов, суффозии растворимых минералов, дегидратации и др.

В скальных породах доля вторичной пористости велика. В осадочных породах примерно такое же значение имеет межгранулярная, или кавернозная, пористость, возникшая в результате неплотного сложения при образовании осадка или при выщелачивании. Пористость является косвенным показателем прочности, водопроницаемости, деформируемости, влагоемкости, морозостойкости. В большинстве случаев эти качества твердой горной породы проявляются наиболее интенсивно при наличии значительной открытой пористости.

Скальные горные породы, как правило, имеют малую общую пористость ($n < 5\%$), полускальные обладают средней ($n = 5-20\%$) или даже высокой ($n > 20\%$) пористостью.

Ниже приведены средние значения показателей плотности породы, плотности сухой породы, плотности частиц, пористости и влажности для некоторых видов скальных и полускальных пород (табл. 8).

Помимо характеристик плотности и пористости большое значение при оценке физических свойств твердых пород имеет трещиноватость, которую можно характеризовать как дополнительную пористость, возникающую в породах в результате тектонических движений и экзогенных процессов (выветривания).

Количественная оценка трещиноватости может быть дана с помощью коэффициента трещиноватости

$$K_{тр} = \frac{s}{S} 100, \quad (6.1)$$

Таблица 8

Показатели физических свойств некоторых видов твердых пород

Порода	Плотность породы, г/см ³	Плотность сухой породы, г/см ³	Плотность частиц, г/см ³	Пористость, %	Влажность, %
Габбро	2,95	2,95	2,99	0,02—1,5	0
Гранит	2,87	2,86	3,92	0,08—4,5	1
Мрамор	2,70	2,70	2,71	0,1	0
Доломит крепкий	2,68	2,68	2,83	3,4—12,4	1
Мергель	2,40	—	2,73	—	—
Мел	1,35	—	2,68	—	—
Опока	1,71	1,42	2,35	44	До 20

где $K_{тр}$ — коэффициент трещиноватости, %; s — площадь трещин на исследуемом участке, см²; S — площадь всего исследуемого участка, см².

Коэффициент трещиноватости изменяется от $K_{тр} < 2\%$ для пород слаботрещиноватых до $K_{тр} > 20\%$ для пород сильнотрещиноватых.

Трещиноватость при инженерно-геологической оценке массива в скальных или полускальных породах изучается по специальной методике, так как от размера, густоты, направления, характера, генетического типа трещин в большой степени зависят прочность, устойчивость и водопроницаемость основания будущего сооружения.

Водные свойства

К водным свойствам твердых пород следует относить способность этих пород поглощать, удерживать или пропускать воду, а также изменять свою прочность при взаимодействии с ней. Главные из них — это влагоемкость, водопоглощение, водонасыщение, водопроницаемость и водопрочность.

Влагоемкость — это способность породы поглощать и удерживать воду. Она находится в прямой зависимости от пористости, поэтому скальные породы, как правило, невлагоемкие, а полускальные — слабо- или средневлагоемкие. Влагоемкие породы более подвержены выветриванию (особенно морозному) и размягчению.

При исследовании влагоемкости пород следует определять их способность к водопоглощению и водонасыщению.

Водопоглощение (свободное водонасыщение) — способность породы поглощать воду при нормальном атмосферном давлении. Численно водопоглощение выражается отношением количества поглощенной воды к массе абсолютно сухой породы, выраженным в процентах,

$$w_c = \frac{m_s - m_0}{m_0} 100, \quad (6.2)$$

где m_v — масса образца породы, насыщенного водой, г; m_0 — масса абсолютно сухого образца, г.

Для плотных кристаллических пород $\omega_c \leq 1\%$, для трещиноватых, туфогенных, пористых скальных и полускальных пород оно может выражаться десятками процентов.

Водонасыщение (принудительное) — способность горной породы поглощать воду при избыточном давлении в 15—20 МПа или в вакууме. В этом случае может быть достигнуто заполнение 90—98% всех пор. Водонасыщение косвенно свидетельствует о водопроницаемости горной породы, что особенно важно для оснований и примыканий плотин, где после возведения последних создается значительное гидростатическое давление воды.

Эта двойная характеристика служит для вычисления *коэффициента водонасыщения*, характеризующего открытую пористость,

$$K_v = \frac{\omega_c}{\omega_n}, \quad (6.3)$$

где K_v — коэффициент водонасыщения; ω_c — свободное водонасыщение (водопоглощение), %; ω_n — принудительное водонасыщение, %.

Чем выше значение K_v , тем больше доля свободных пор в породе и тем легче порода насыщается водой, фильтрует, разрушается в результате морозного выветривания. Благоприятными свойствами обладают твердые породы, у которых $K_v < 0,5$.

Водопроницаемость — это способность породы пропускать через себя воду под действием гидравлического напора или избыточного давления. Для скальных пород фильтрация, т. е. движение воды через породу, возможно только по трещинам. Для других твердых пород фильтрация зависит от наличия и размеров всех видов открытых пустот: крупных пор, каверн, карстовых полостей, суффозионных проходов.

Основным показателем, применяющимся для оценки водопроницаемости, является *коэффициент фильтрации* (см. гл. 4).

Показателем водопроницаемости является также *удельное водопоглощение* — расход воды, нагнетаемой в скважину в интервале глубины 1 м при напоре, равном 1 м, л/мин. Ниже (табл. 9) приводятся данные водопроницаемости для пород различной степени трещиноватости.

Таблица 9

Водопроницаемость пород различной степени трещиноватости

Степень трещиноватости пород	Коэффициент фильтрации, м/сут	Удельное водопоглощение, л/мин
Нетрещиноватые	Менее 0,01	Менее 0,005
Слаботрещиноватые	0,1—10,0	0,05—5,0
Трещиноватые	10—30	5—15
Сильнотрещиноватые	30—100	15—50

Показатели водопроницаемости имеют большое значение при оценке горных пород как оснований гидротехнических сооружений — плотин, шлюзов, подводящих и деривационных каналов, чаши водохранилищ.

Под водопрочностью следует понимать способность твердых горных пород сохранять механическую прочность, устойчивость и целостность при взаимодействии с водой.

Основным показателем водопрочности является коэффициент размягчения (K_{pz}), учитывающий степень уменьшения механической прочности породы после насыщения ее водой, который определяется по формуле

$$K_{pz} = \frac{R_z^a}{R_z^c}, \quad (6.4)$$

где R_z^a — временное сопротивление сжатию в водонасыщенном состоянии, МПа; R_z^c — временное сопротивление сжатию породы до водонасыщения, МПа.

К размягчаемым относятся породы с $K_{pz} \leq 0,75$. Такие породы при взаимодействии с водой могут не выдержать расчетного давления, приложенного к ним, способны давать оползни, обвалы в крутых откосах, могут размываться текучей водой. Наиболее подвержены размягчению аргиллиты, мергели, известняки, сланцы, засоленные породы.

Механические свойства

Под механическими свойствами мы подразумеваем такие свойства, которые проявляются в породах под действием внешних усилий (давление, удар).

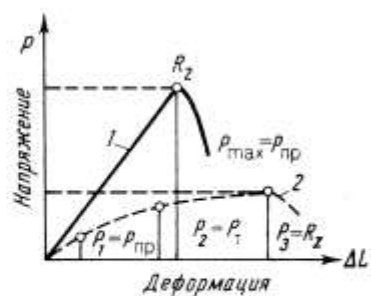
С точки зрения строительной оценки породы как основания, среды или материала для сооружения эти свойства характеризуют деформируемость и прочность породы, а также целый ряд качеств, имеющих существенное значение при различных видах работ (например, при разработке породы механизмами, при взрывании породы и т. д.).

Поэтому все механические свойства мы условно подразделяем на основные (собственно механические) и дополнительные (физико-механические). К основным, или собственно механическим, свойствам относятся прочность и деформируемость. Дополнительные, или физико-механические, свойства — это крепость, твердость, истираемость, разрабатываемость, буримость, взрываемость, морозостойкость.

Под действием прилагаемых внешних нагрузок в породе возникают напряжения. В зависимости от вида внешнего воздействия эти напряжения могут быть сжимающими, растягивающими, сдвигающими. Напряжения ведут к деформациям породы, т. е. нарушению ее прочности и сплошности.

Деформации бывают двух видов: упругие и остаточные (пла-

Рис. 17. График деформации и разрушения твердых пород. 1 — кривая деформации скальной породы, 2 — кривая деформации полускальной породы; $P_{пр}$ — предел пропорциональности, R_T — предел текучести, R_z — предел прочности



стические). Они проявляются в разных твердых породах по-разному. Так, например, в скальных породах деформации, как правило, упругие. При росте напряжения возрастает деформация, которая при некотором максимальном напряжении (P_{max}) приводит к разрушению горной породы (рис. 17). В этом случае горная порода ведет себя как всякое твердое тело, подчиняясь закону Гука: относительная деформация прямо пропорциональна напряжению.

Иная картина возникает при деформировании полускальных пород (мергель, мел). Вначале деформация возрастает пропорционально напряжению, однако после достижения *предела пропорциональности* ($P_{пр}$) наступает не разрушение, а смятие или так называемое пластическое течение породы, что выражается в появлении трещин, изменении форм образца (см. на рис. 17, 2 — криволинейный участок). Это напряжение соответствует *пределу текучести* (R_T), и в некоторых случаях деформация может нарастать без увеличения напряжения, т. е. при $P = const$ (ползучесть). Явление ползучести характеризует прочность породы во времени, так как ползучесть обязательно заканчивается разрушением (см. точку $P_3 = R_z$ на рис. 17).

Таким образом, предел прочности твердых пород оценивается максимальной нагрузкой, приложенной к образцу горной породы в момент его разрушения (потери сплошности), и выражается формулой

$$R_z = \frac{P_{max}}{F}, \quad (6.5)$$

где R_z — временное сопротивление сжатию, или предел прочности, МПа; P_{max} — внешняя нагрузка, Н; F — площадь образца, см².

Аналогично можно рассчитать прочность пород на растяжение и на скалывание. Ориентировочно можно считать, что прочность одних и тех же пород на сжатие в 2—5 раз больше прочности на скалывание и в 20—50 раз больше прочности на растяжение.

На прочность твердых пород влияют следующие факторы: минеральный состав, характер, внутренних связей, трещиноватость, степень выветрелости, степень размягчаемости.

Наиболее прочными являются скальные горные породы и среди них магматические, такие, как габбро, диориты, диабазы, порфириты и базальты, для которых величина R_z изменяется от 110 до 330 МПа. Из метаморфических пород наибольшей прочностью обладают кварциты (до 400 МПа), а из осадочных наиболее прочными являются доломиты, крепкие известняки и крепкие песчаники (R_z от 20 до 200 МПа).

Степень трещиноватости, как и степень выветрелости, находится в обратной зависимости от механической прочности; наименьшей прочностью обладают размягчаемые породы.

СНиП II—15—74 подразделяет скальные грунты на разновидности: а) по величине временного сопротивления одноосному сжатию в водонасыщенном состоянии; б) по степени выветрелости; в) по степени размягчаемости в воде.

Определение предела прочности описано в специальных методических указаниях. Оно заключается в раздавливании под прессом серии из трех—девяти образцов цилиндрической или призматической формы с хорошо шлифованными гранями и в измерении усилия раздавливания. За расчетные значения R_z принимается среднее арифметическое из значений всей испытываемой серии данной породы.

К показателям деформируемости твердых горных пород относятся: модуль упругости, модуль общей деформации, коэффициент поперечной деформации, коэффициент бокового давления.

Модуль упругости — основная характеристика упругих свойств горных пород. *Модуль общей деформации* — величина, аналогичная модулю упругости, однако учитывающая зависимость между напряжениями и общими деформациями (упругими и остаточными). Обе эти характеристики определяют величину напряжений, вызвавших единичную относительную деформацию породы в результате приложения внешней нагрузки.

Коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона) определяет зависимость между продольными и поперечными деформациями. *Коэффициент бокового давления* (коэффициент распора) учитывает часть вертикальной нагрузки, передающейся в стороны.

Дополнительные физико-механические свойства горных пород изучаются в случае проведения специальных видов работ: взрывных, буровых и др.

Крепость — общее сопротивление горной породы воздействиям внешних сил, стремящихся разрушить внутренние связи в породе. Эта характеристика предложена М. М. Протодяконовым для комплексной оценки породы на прочность против дробления взрыва, внедрения бурового инструмента, устойчивости стенок горных выработок и др.

Оценочным критерием является *коэффициент крепости*, изменяющийся от 0,3 до 20 и рассчитываемый по эмпирическим фор-

мулам Протодьяконова или Барона в зависимости от величины R_z . По коэффициенту крепости все горные породы разделяются на 10 категорий.

Твердость — сопротивляемость горной породы проникновению в нее режущих инструментов. Она зависит от минерального состава, прочности структурных связей и состояния породы (степени выветрелости, размягчаемости). Служит для подбора горного и бурового инструмента и определяется методами вдавливания специальных штампов с определением усилия на вдавливание.

Истираемость (износ) служит для косвенного суждения об изменениях механической прочности во времени в условиях приложения к породе ударных и истирающих воздействий (например, в случаях, когда порода используется в качестве облицовочного материала, дорожного покрытия и т. п.).

Истираемость характеризуется потерей массы после механической обработки образца на круге истирания или барабане Деваля.

Разрабатываемость горных пород характеризуется их сопротивляемостью разрушению при копании, бурении, отбойке, экскавации, взрывании. Измеряется удельной затратой времени, энергии или расходом рабочего инструмента на единицу объема породы.

Буримость горных пород характеризуется их сопротивляемостью внедрению бурового инструмента. Служит для классификации горных пород по буримости. Измеряется затратой времени на создание единицы длины шпура.

Взрываемость горных пород характеризуется сопротивлением породы отрыву при взрыве и измеряется расходом взрывчатых веществ на 1 м^3 породы.

Морозостойкость имеет особо важное значение в районах с резко континентальным и суровым климатом и определяет поведение твердых пород как облицовочных материалов. Морозостойкость характеризует изменение прочности и сплошности горной породы при неоднократном замораживании и оттаивании. Для проверки на морозостойкость производится определение механической прочности породы на сжатие в воздушно-сухом состоянии и после 15—25 циклов замораживания — оттаивания в морозильной камере. Коэффициент морозостойкости $K_{мс}$ определяют как отношение

$$K_{мс} = \frac{R_z^{вм}}{R_z^{вс}}, \quad (6.6)$$

где $R_z^{вм}$ — предел прочности на сжатие водонасыщенного образца после 15—25 циклов замораживания; $R_z^{вс}$ — то же, в воздушно-сухом состоянии.

При $K_{мс} > 0,75$ порода считается морозостойкой.

ГРУНТЫ ОСОБОГО СОСТАВА, СОСТОЯНИЯ И СВОЙСТВ

Общая характеристика

В общей инженерно-геологической классификации грунтов осадочного происхождения выделяются грунты особого состава, состояния и свойств. Все грунты, входящие в эту особую группу, различны по генезису, составу и свойствам. Некоторые генетические типы особых грунтов пользуются широким территориальным распространением (мерзлые, органогенные, лёссовые) и, следовательно, являются объектом строительства или производственного освоения. Общим для грунтов этой группы является то, что любой генетический и петрографический вид грунта, входящий в группу, отличается специфическими свойствами, часто неблагоприятными со строительной точки зрения и вследствие этого требующими особых методов исследования, индивидуальной оценки или проведения специальных мероприятий при возведении сооружений. Эта специфика отражена и в ряде нормативных документов при проектировании и строительстве (СНиП II—15—74), что свидетельствует о недостаточной изученности свойств «особых» грунтов и их поведения в основании сооружений.

В настоящее время не существует единого мнения по вопросу о том, что следует подразумевать под термином «особые» грунты и какие виды осадочных отложений следует относить к ним. Однако в эту группу входят все грунты, которые отличаются от прочих дисперсных грунтов составом, могут резко изменять свои свойства под влиянием того или иного природного фактора или находиться в состоянии низкой прочности, малой несущей способности, избыточного увлажнения и высокой пористости.

Наиболее часто принято относить к особым грунтам *илы, торфы и заторфованные грунты, многолетнемерзлые осадочные отложения, соли и засоленные отложения, антропогенные, или техногенные, образования, т. е. насыпные, намывные и искусственно улучшенные грунты, почвы*. Ряд исследователей [19, 23, 26] относят к особым грунтам *мел, пльвуны, растворимые породы*. Представляется правомерным ввести в эту группу *лессовидные просадочные грунты*, так как, обладая обычным составом, они резко меняют свои свойства и состояние при взаимодействии с водой. Следует учесть, что СНиП уделяет особое внимание изучению свойств просадочных грунтов среди других глинистых отложений.

Илы

К илам относят супесчано-глинистые отложения в начальной стадии своего формирования, образовавшиеся как структурный осадок в водном бассейне при наличии микробиологических процессов. Их диагностическими признаками являются темная окраска, гнилостный запах, жидко-текучая консистенция, высокая

пористость, наличие органических веществ. Отличительными признаками ила в естественном состоянии являются высокая влажность ($w > w_L$), большой коэффициент пористости ($e \geq 1$) и наличие гумуса — полностью разложившегося органического вещества в количестве до 10 %. По составу илы могут быть супесчаными, суглинистыми, глинистыми.

Илы субаквального происхождения образуются на дне морей, лагун, озер, болот, рек и водоемов, и поэтому различают морские, лагунные, озерные, болотные, речные илы и илы современных водоемов (водохранилищ). Некоторые илы могут содержать водорастворимые соли. В отдельную группу выделяют пресноводные илы — сапропели, обладающие значительно большим содержанием органических веществ и более высокой пористостью.

Показатели физико-технических свойств илов по абсолютному значению очень сильно отличаются от аналогичных показателей песчано-глинистых минеральных грунтов. Так, влажность илов изменяется в пределах 70—80 %; плотность сухого грунта $\rho_d = 0,8—0,9$ г/см³; пористость часто достигает 50—60 %; коэффициент сжимаемости $a = 0,2—0,3$ МПа. Модуль общей деформации E_0 для различных видов илов изменяется от 0,1 до 2,0 МПа. Илы обладают ничтожной несущей способностью и при встряхивании или ударе легко переходят в разжиженное состояние (явление тиксотропии).

Вследствие указанных причин илы относятся к слабым грунтам, строительство на которых возможно лишь с применением методов технической мелиорации (обезвоживание и уплотнение вертикальными дренами, применение песчаных подушек, свайных оснований и др.).

При полевых и лабораторных исследованиях илов нужно иметь в виду, что отбор проб грунта с ненарушенной структурой необходимо производить специальными (вакуумными) грунтоносами, а определение таких показателей, как пределы пластичности и гранулометрический состав, следует производить без предварительного подсушивания образца.

Торфы и заторфованные грунты

Торфы и заторфованные грунты представляют собой грунты органогенного происхождения, образовавшиеся в болотах в результате накопления и разложения в основном растительных остатков и содержащие минеральные примеси (песок, глинистые минералы). В зависимости от степени разложения торфы представляют собой темно-коричневую или черную массу землистой, волокнистой или однородно-вязкой структуры, в которой могут различаться компоненты порообразующего материала: мох, листья, стебли и др. Диагностическими признаками торфа являются темная окраска, способность мазаться, большая влагоемкость, содержание от 10 до 60 % и более растительных остатков, большая сжимаемость и высокая водоотдача.

В зависимости от растительного состава компонентов, из которых состоит торф, различают несколько его разновидностей: моховой, осоковый, тростниковый и кустарниковый. В зависимости от типа болот, в которых происходило торфообразование, торф может быть зольным (низкие болота) или малозольным (верховые болота, где затруднен привнос терригенного материала). *Зольность торфа* — это его негоряемая минеральная часть, состоящая из кварца и глинистых минералов.

Заторфованными грунтами называются такие образования, в которых содержание органических остатков менее 60 %. Заторфованные грунты разделяются по содержанию органических остатков на несколько видов:

Грунт	Содержание растительных остатков φ , %
Слабозаторфованные	10 — 20
Среднезаторфованные	20 — 40
Сильнозаторфованные	40 — 60
Торфы	> 60

Заторфованные грунты и торфы характеризуются также *степенью разложения*, т. е. отношением полностью разложившегося органического вещества к неразложившемуся. Степень разложения определяется лабораторным путем. По степени разложения торфы разделяются на четыре группы:

Группа торфа	Степень разложения, %
I	0—15
II	16—30
III	31—50
IV	Более 50

Абсолютная влажность торфа может достигать 800—1000 %, что указывает на его исключительно высокую влагоемкость. Плотность частиц ρ_s от 1,4 до 1,8 г/см³, плотность грунта ρ от 0,7 до 1,4 г/см³. В сухом состоянии торф может плавать на поверхности воды, так как плотность сухого грунта ρ_d составляет 0,2—0,4 г/см³.

Торф обладает очень большой сжимаемостью (коэффициент сжимаемости a 0,3—0,8 МПа, а модуль сжимаемости составляет десятки и сотни мм/м даже при нагрузках 0,1—0,2 МПа). Поэтому несущая способность у торфа низкая.

Водопроницаемость торфа колеблется в больших пределах и зависит от степени его разложения. Так, неразложившийся торф имеет коэффициент фильтрации, измеряющийся метрами в сутки, а хорошо разложившийся торф практически водонепроницаем и имеет коэффициент фильтрации, близкий к коэффициенту фильтрации глин.

С инженерно-геологической точки зрения торфы относятся к слабым, сильно и неравномерно деформируемым грунтам, обла-

дающим очень изменчивыми свойствами, неблагоприятными для строительства. Исследования торфов требуют специальной методики. Строительство сопряжено с прорезкой, выторфованием или медленным уплотнением торфа.

Засоленные грунты

К засоленным грунтам относятся песчано-глинистые осадочные отложения, в которых накопление солей произошло в процессе их формирования как результат проникновения солей в грунт и отложения их там в различных формах: в виде отдельных кристаллов, их скоплений, друз или в тонкорассеянном состоянии по всему объему породы.

Факторами, способствующими засолению грунтов, являются: 1) бессточный рельеф; 2) недостаточное увлажнение в результате преобладания испарения над осадками; 3) наличие в геологическом разрезе или в поверхностных водах повышенного количества солей; 4) малая водопроницаемость грунтов или наличие водупорных прослоек; 5) наличие капиллярного поднятия грунтовых вод.

Засоление происходит при наличии в источнике привноса (грунтовые или поверхностные воды) легко- и среднерастворимых солей. К легкорастворимым солям относятся хлориды, сульфаты, кислые соли угольной кислоты, к среднерастворимым — гипс и ангидрит. Карбонаты растворяются трудно и медленно и поэтому особого влияния на свойства грунтов не оказывают, однако могут способствовать созданию горизонтов агрессивных вод, которые оказывают разрушающее действие на подземные бетонные и железобетонные сооружения.

Присутствие солей в грунтах приводит к изменению их прочности, сжимаемости, водопроницаемости, размокания, набухания, угла естественного откоса, липкости и др. Содержание солей, оказывающих влияние на изменение свойств, для разных грунтов различно и колеблется от 0,3 до 5 % в зависимости от вида и гранулометрического состава грунта, а также от химического состава солей. Ниже приводятся минимальные содержания водорастворимых солей в грунтах:

Грунт	Минимальное содержание солей, % от массы абсолютно сухого грунта
Крупнообломочный с содержанием песчаного заполнителя менее 40 % или глинистого менее 30 %	2,0
То же, при содержании песчаного заполнителя более 40 %	0,5
То же, при содержании глинистого заполнителя более 30 %	5,0
Песчаный	0,5
Глинистый просадочный (супеси и суглинки лёссовидные)	До 1,0
То же, не обладающий просадочностью	5,0

Опыт строительства показывает, что даже небольшое (более 0,3 %) количество водорастворимых солей существенно сказывается на свойствах засоленных грунтов по сравнению с незасоленными или выщелоченными, причем это влияние ощущается тем сильнее, чем больший процент глинистых фракций содержит грунт. Наоборот, при наличии песчаных и грубых фракций в хорошо дренируемых грунтах изменение свойств наступает при значительно большем содержании солей.

Основными типами засоленных грунтов являются солончаки, солонцы и такыры.

Солончаки формируются в пониженных формах рельефа (дельты рек, соленые озера, лиманы) с близким к поверхности стоянием уровня грунтовых вод. Солончаки содержат сернокислые соли натрия и хлориды кальция и магния. Они широко распространены в Прикаспийской низменности, Казахстане, Закавказье. Соли накапливаются в основном в поверхностных горизонтах.

Солонцы формируются на более высоких отметках местности и располагаются как в поверхностных, так и в более глубоких горизонтах. Характеризуются содержанием карбонатов натрия (сода), а также сульфатов натрия и гипса. Они бывают хлоридными, сульфатными, содовыми и смешанными.

Такыры в отличие от солончаков и солонцов представляют собой значительные площади глинистых грунтов с малой влажностью, твердой консистенцией, с сеткой трещин усадочного происхождения. Содержат в своем составе гипс, карбонаты и небольшое количество легкорастворимых солей. Легко размокают, во влажном состоянии обладают большой липкостью. Такыры широко распространены в Средней Азии на территории Узбекистана, Туркестана и Казахстана.

Вследствие названных свойств засоленные грунты не всегда могут быть использованы при строительстве. Так, например, отсыпка напорных насыпей из грунта с содержанием более 6 % солей недопустима или требует специального обоснования. Устройство земляного дорожного полотна производится из грунтов, содержащих не более 8 % солей по массе. В ряде случаев засоленные грунты при строительстве подлежат улучшению методами технической мелиорации.

Мерзлые грунты

Мерзлые грунты являются четырехкомпонентными системами, в которых кроме твердой, жидкой и газообразной фаз существует лед. Различают сезонномерзлые грунты, к которым относятся периодически замерзающие и оттаивающие верхние слои земли в большинстве районов земного шара*, и многолетне-

* К сезонномерзлым грунтам относятся также грунты деятельного слоя многолетней мерзлоты.

мерзлые грунты, находящиеся в мерзлом состоянии постоянно, т. е. в течение неопределенно долгого времени.

Специфичность свойств этих грунтов заключается в том, что при переходе воды в лед грунты приобретают свойства твердых пород. Их прочность увеличивается, деформируемость уменьшается. В ряде случаев вследствие увеличения объема воды в порах грунта при его замерзании возникает морозное пучение. Наоборот, при оттаивании мерзлого грунта прочность его резко падает, и он переходит в текучую консистенцию (солифлюкция).

Важнейшей особенностью мерзлых пород является содержание в них льда. Количество льда и формы, в которых он содержится в грунтах, существенно влияют на прочность грунта и другие его свойства. Лед может быть в грунте цементом, связывающим отдельные зерна или частицы, а также содержаться в виде включений: зерен, линз, прослоек, пропластков, жил.

В мерзлых породах присутствует также незамерзшая вода, что придает мерзлым грунтам свойства вязкости, пластического течения, длительной сжимаемости.

Важным показателем физических свойств мерзлых грунтов является их *льдистость*, характеризующая цементирующее действие льда. Из механических свойств мерзлых грунтов большое значение имеет величина относительного сжатия при переходе мерзлого грунта в талое состояние (деформация при оттаивании мерзлого грунта) и предел прочности на сжатие.

Величина относительного сжатия δ определяется путем испытания образца грунта в компрессионном приборе и рассчитывается по формуле

$$\delta = \frac{h_m - h_r}{h_m}, \quad (7.1)$$

где h_m — высота образца грунта в природном мерзлом состоянии в условиях невозможности бокового расширения при заданном давлении; h_r — высота того же образца в тех же условиях после перехода в талое состояние.

Предел прочности на сжатие мерзлых грунтов значительно выше такового для обычных грунтов. Так, средние значения предела прочности для мерзлых глин 1—5 МПа. Однако расчетное значение прочности в действительности намного ниже. Это объясняется явлением релаксации*, вследствие чего основным критерием прочности мерзлых грунтов является *величина длительного сцепления* C_d , которую можно определить экспериментально.

Лёссовые грунты

Лёссовые грунты широко распространены на территории СССР. Они занимают предгорные и горные равнины Средней Азии, Кар-

* Релаксация — явление ослабления связей между частицами, которое в данном случае возникает вследствие того, что под действием нагрузки лед, находящийся в грунте, начинает течь. Это снижает прочность мерзлого грунта при длительной нагрузке в 2—10 раз.

пат, Кавказа и Алтая и низменности юга европейской части РСФСР, Западной Сибири, Башкирии, Северного Прикаспия, покрывая около 15 % территории нашей страны. Лёссовидные отложения залегают плащеобразно на сформированных ранее элементах рельефа и имеют различную мощность: от нескольких до десятков метров.

Литологически лёссовые грунты представлены супесями, суглинками и глинами со значительным содержанием пылеватой фракции. В ряде случаев среди лёссовых грунтов выделяют собственно лёсс как первичное образование преимущественно эолового происхождения.

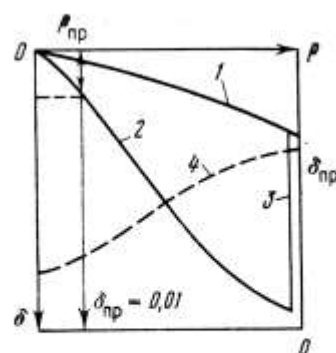
Вне зависимости от условий происхождения и района распространения лёссовым грунтам свойственны характерные признаки, определяющие их внешний облик, которые можно рассматривать как диагностические. К таким признакам следует относить:

- цвет — от желтовато-серого до светло-бурого;
- сложение — рыхлое вследствие природной недоуплотненности;
- отдельность — вертикальная, столбчатая;
- текстура — однородная, изредка со следами слоистости, прерываемая четко выраженными прослойками погребенной почвы;
- влажность — невысокая или средняя;
- распространение — площадное вне зависимости от орографии и гипсометрии местности;
- содержание карбонатов и сульфатов — значительное;
- гранулометрический состав и состав минералов — не связаны с таковыми в подстилающих породах, что говорит о различных условиях происхождения;
- устойчивость в откосах в сухом или слабовлажном состоянии;
- легкая размываемость и размокаемость, следствием которых является потеря связности;
- избыточная увлажненность — ведущая к доуплотнению, что вызывает просадки;
- водопроницаемость — имеет анизотропный характер: в вертикальном направлении коэффициенты фильтрации выше, чем в горизонтальном.

Основной особенностью лёссовых грунтов с точки зрения их инженерно-геологической оценки является *просадочность* — дополнительная осадка лёссового грунта, возникающая в результате его замачивания в природно-напряженном состоянии под действием собственного веса или совместного давления от собственного веса и внешней нагрузки. Среди лёссовых грунтов существуют просадочные и непросадочные разновидности.

Просадочность — явление неблагоприятное, так как в результате естественного (дождевые воды, снеготаяние, подъем уровня грунтовых вод) или искусственного (аварии водопровода, канализации) замачивания лёссовых грунтов в них возникают просадочные явления, или просадки [1]. В результате просадок происходит опускание поверхности земли на величину от нескольких до десятков сантиметров. Это, в свою очередь, приводит к дефор-

Рис. 18. График испытания грунта на просадочность. 1 — кривая сжатия грунта природной влажности; 2 — то же, водонасыщенного грунта; 3 — дополнительная осадка после замачивания; 4 — кривая зависимости относительной просадочности $\delta_{пр}$ от P . $P_{пр}$ — начальное просадочное давление



мациям сооружений, для которых просадочный грунт служит основанием.

Величина просадок может быть охарактеризована двумя параметрами: а) начальным просадочным давлением и б) относительной просадочностью.

В зависимости от структурной прочности дополнительное уплотнение грунтов может происходить при большем или меньшем давлении. *Начальное просадочное давление* ($P_{пр}$) — это минимальное давление, при котором проявляется просадочность в условиях полного водонасыщения грунта. Оно может быть определено при лабораторных или полевых испытаниях. При лабораторных исследованиях за начальное просадочное давление принимают такое давление, при котором относительная просадочность $\delta_{пр} = 0,01$ (рис. 18).

Относительной просадочностью называют отношение дополнительной осадки (просадки) образца или слоя грунта после замачивания к первоначальной высоте образца или мощности слоя того же грунта в его природно-напряженном состоянии.

Относительная просадочность определяется по формуле

$$\delta_{пр} = \frac{h' - h_{пр}}{h_0}, \quad (7.2)$$

где h' — высота образца грунта с природной влажностью при заданном давлении; $h_{пр}$ — высота образца грунта после просадки в результате замачивания; h_0 — высота образца грунта с природной влажностью при природном давлении на глубине отбора образца.

Таким образом, к просадочным грунтам относятся лёссовидные грунты, у которых величина относительной просадочности $\delta_{пр} \geq 0,01$.

Для инженерно-геологической оценки просадочных грунтов следует пользоваться как косвенными признаками просадочности, так и прямыми способами ее определения.

К косвенным признакам относятся: плотность сухого грунта, степень влажности, предел текучести, гранулометрический состав (содержание пылевой фракции), время размокания. В част-

ности, для просадочных разностей лёссовидных грунтов юга Украины [37] можно привести следующие усредненные значения этих показателей:

Показатель физико-технических свойств грунта	Количественные значения показателя, при котором проявляется просадочность
Плотность сухого грунта	Менее 1,5 г/см ³
Степень влажности	Менее 0,6 %
Предел текучести	Менее 30 %
Время размокания	Менее 3 мин
Содержание фракции пыли (0,05—0,005)	Более 70 %

Существуют два критерия для предварительной оценки просадочности: 1) показатель П — эмпирическая зависимость между пористостью грунта в естественном сложении и в состоянии текучести и пластичности; 2) показатель естественной уплотненности K_d по Приклонскому.

Показатель П (СНиП II—15—74) определяется по формуле

$$P = \frac{e_L - e}{1 + e}, \quad (7.3)$$

где e — коэффициент пористости в природном сложении и при естественной влажности; e_L — коэффициент пористости, соответствующий влажности на пределе текучести и определяемый по формуле

$$e_L = w_L \frac{\rho_s}{\rho_w}, \quad (7.4)$$

где w_L — влажность на пределе текучести, %; ρ_s — плотность частиц грунта, г/см³; ρ_w — плотность воды, равная 1 г/см³.

Лёссовидные грунты относятся к просадочным, если значения П, рассчитанные по формуле (7.3) для соответствующего числа пластичности, будут меньше следующих значений:

Число пластичности, I_p	Показатель П
$0,01 \leq I_p < 0,10$	0,10
$0,10 \leq I_p < 0,14$	0,17
$0,14 \leq I_p < 0,22$	0,24

Показатель K_d определяется по формуле

$$K_d = \frac{e_L - e_0}{e_L - e_p}, \quad (7.5)$$

где e_L — коэффициент пористости, соответствующий влажности на пределе текучести; e_0 — коэффициент пористости, соответствующий

щий влажности на границе пластичности; e_0 — коэффициент пористости в природном сложении и влажности. Грунты считаются просадочными при значениях $K_d \leq 0$.

Прямое определение просадочности, результаты которого кладутся в основу установления *типа грунтовых условий по просадочности*, осуществляется в результате лабораторных или полевых экспериментальных испытаний (см. главы 14 и 16). По данным прямых определений величины относительной просадочности устанавливается тип грунтовых условий, т. е. степень опасности просадочных явлений для данного грунта и комплекс мероприятий, применяемых для их устранения или недопущения.

По типу грунтовых условий среди просадочных грунтов выделяют:

грунты I типа просадочности, когда просадка происходит в основном в пределах деформируемой зоны основания от давления фундамента или другого вида внешней нагрузки, а просадка от собственного веса грунта отсутствует или не превышает 5 см;

грунты II типа просадочности, когда просадка возникает от собственного веса грунта просадочной толщи (в основном в нижней ее части) и ее величина превышает 5 см.

Расчет просадки производят исходя из величины относительной просадочности, числа слоев и мощности каждого просадочного слоя (см. гл. 28).

В зависимости от типа грунтовых условий выбирают мероприятия по предупреждению возможных просадочных деформаций или по устранению последствий, вызванных просадкой. Эти мероприятия могут быть трех видов: 1) водозащитные, например различного вида «одежды» гидротехнических сооружений, строящихся на просадочных грунтах; 2) конструктивные; 3) по улучшению физико-технических свойств просадочных грунтов (уплотнение, термическое закрепление, силикатизация и др.— см. гл. 9).

Техногенные грунты

К грунтам особого состава, состояния и свойств относятся также грунты, возникшие как результат строительной и производственной деятельности человека, а также погребенные, так называемые культурные, слои старых городов. Учитывая масштаб современного строительства и то, что оно в основном за пределами старых населенных пунктов (например, новые жилые массивы вокруг больших городов), ясно, что доля культурных слоев при строительстве снижается, а новейших грунтов — отвалов, образовавшихся при рытье котлованов, проходке тоннелей метрополитена, при выполнении планировочных работ, а также свалок строительного мусора, бытовых отходов и отходов строительного производства, — непрерывно растет. Если к этим новейшим образованиям добавить «пустые» вскрышные породы вблизи мест разработки полезных ископаемых в районах металлургических и

топливных баз нашей страны (кавалеры на окраинах Кривого Рога, терриконы Донбасса), обширные площади искусственно намывных или насыпанных песчано-глинистых грунтов строящихся жилых массивов, то, по-видимому, будет правомерно назвать всю группу современных отложений, возникающих в результате производственной деятельности человека, техногенными грунтами.

Характерной особенностью техногенных грунтов является большая разнородность состава и различная степень их уплотненности. Существует ряд классификаций техногенных грунтов. В целом все эти грунты можно объединить в следующие четыре группы.

I. Грунты, состоящие из бытовых отходов (свалки).

II. Грунты, состоящие из отходов промышленного и строительного производства.

III. Грунты, состоящие из отвалов пустой породы (вскрыши) при разработке полезных ископаемых.

IV. Намывные, насыпные и уплотненные грунты (см. гл. 9).

Свалка *бытовых отходов* представляет собой неорганизованные накопления различных материалов и продуктов с содержанием органических веществ более 5%. Они характеризуются большой неоднородностью состава, слоения, малой плотностью, большой сжимаемостью и обычно непригодны в качестве оснований сооружений.

Отходы промышленного и строительного производства содержат шлаки, металлолом, золы, формовочную землю. Содержание органических веществ здесь обычно не превышает 5%. Бывают однородны по составу, в этом случае они пригодны для использования в качестве оснований. Например, корпус одной из рудообогатительных фабрик на Урале возведен на шлаковом отвале мощностью 4—11 м, и это сооружение, несмотря на большое удельное давление (1,2 МПа), нормально эксплуатируется вот уже около 30 лет. Однако в случае наличия крупных обломков бетона, металлолома и других инородных тел такие основания могут давать неоднородную и значительную осадку.

Отвалы вскрышных грунтов, породы из тоннелей метро, котлованов пригодны в качестве оснований для строительства в зависимости от вида породы, времени отсыпки (степени слежалости, т. е. уплотнения под действием собственного веса) или после доуплотнения.

Планомерно возведенные *насыпи, выполненные намывным или насыпным способом* с контролем плотности и гранулометрического состава, являются хорошими основаниями и качественными земляными телами.

В соответствии со СНиП II—15—74 техногенные группы подразделяются по способу укладки, однородности состава и слоения, виду исходного материала, степени естественной уплотненности.

ОТБОР, КОНСЕРВИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ ПРОБ ГРУНТОВ

Отбор и консервирование проб грунтов входит в состав инженерно-геологического опробования и предусматривает получение материала горных пород для определения показателей их физико-технических свойств. Поскольку эти показатели должны характеризовать как состав, так и состояние грунтов в массиве, отбираемые пробы могут быть с нарушенным и ненарушенным сложением. Проба грунта с ненарушенным сложением и естественной влажностью называется *монолитом*.

Достоверность получаемых в процессе лабораторных исследований показателей будет тем большей, чем меньше нарушается структура монолита в процессе отбора, перевозки и хранения до момента проведения исследований.

На показателях состава грунта (гранулометрический и минеральный состав, плотность и др.) нарушение сложения не сказывается, поэтому для определения этих показателей используют пробы с нарушенной структурой, которые легче отбирать в процессе опробования и количество которых может быть практически неограниченным.

Отбираемая проба должна быть представительной, т. е. количество отобранного грунта должно быть таким, чтобы состав и свойства пробы соответствовали составу и свойствам опробуемого слоя. Чем более неоднороден грунт, тем больше должна быть отбираемая проба. Размер пробы или монолита должен соответствовать технологическим требованиям лабораторных исследований, в соответствии с которыми диаметр или площадь грани монолита должны быть больше поперечного сечения пробоотборного кольца стандартных лабораторных приборов, а общая масса отобранного материала должна быть достаточной для всего комплекса лабораторных определений.

Все перечисленные работы по инженерно-геологическому опробованию должны производиться в соответствии с ГОСТ 12071—72 «Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов».

Способы отбора монолитов

Монолиты отбирают из горных выработок и из скважин. Наиболее качественными являются монолиты, отобранные из горных выработок — шурфов, расчисток, траншей, штолен и т. д.

В зависимости от вида и состояния грунта отбор из горных выработок может производиться путем вырезания монолита *без применения жесткой тары*, если грунт сохраняет форму, и *с применением жесткой тары (способ контейнеров)*, если грунт слабосвязанный, крошащийся или легкодеформируемый, например торф.

В первом случае на дне или в стенке шурфа вырезается с помощью лопаты и ножа останец призматической формы, который

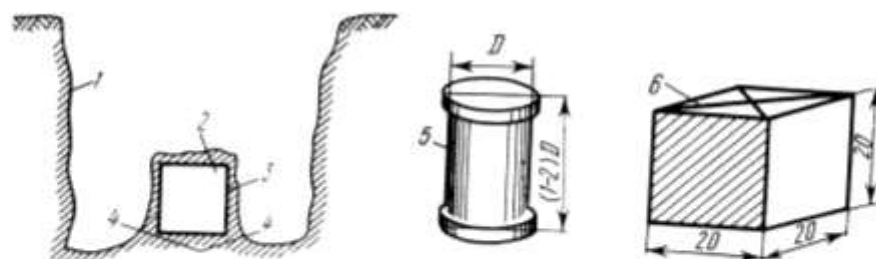


Рис. 19. Отбор монолитов из шурфов. 1 — стенки шурфа; 2 — останец; 3 — контейнер; 4 — место отреза; 5 — контейнер с крышкой; 6 — вырезной монолит

после отделения от массива извлекается на поверхность, доводится до стандартного размера $20 \times 20 \times 20$ см и консервируется. Совершенно обязательным условием отбора монолита является его ориентирование, для чего на верхней грани его, обращенной к поверхности земли, вырезается ножом буква «В» или крест.

В случае наличия в разрезе слабосвязных грунтов, не сохраняющих форму в процессе отбора, распадающихся на куски, легкодеформирующихся или таких, которые после отбора не могут быть запарафинированы вследствие избыточной влажности, применяют жесткую тару, или контейнер. Для этого на вырезанный останец в шурфе осторожно надвигают деревянную или металлическую тару правильной геометрической формы — цилиндр, параллелепипед, куб с тонким режущим краем (рис. 19). Внутренний диаметр контейнера при отборе монолитов из крупнообломочных и лёссовых грунтов должен быть не менее 200 мм, а высота — от одного до двух диаметров. Отбор производится по методу режущего кольца в соответствии с ГОСТ 5182—78. Контейнером может служить либо специально изготовленная металлическая тара из нержавеющей металла, пригодная для неоднократного употребления, либо кольца диаметром 200 мм, изготовленные из тонкостенных обсадных труб. После отбора торцы контейнера должны быть закрыты накладными крышками и запарафинированы.

В случае отбора монолита из мерзлых грунтов горную выработку необходимо проходить без предварительного протаивания и отбор производить при сохранении отрицательной температуры грунта.

Отбор монолитов из скважин производится как в процессе бурения, так и автономно, вне зависимости от способа бурения.

В процессе проходки скважин отбор монолитов возможен только при колонковом способе бурения, где монолиты отбираются из керна при бурении одинарной или двойной колонковой трубой. Монолиты песчано-глинистых грунтов рекомендуется отбирать в этом случае без применения промывочной жидкости, а для рыхлых отложений — с применением тяжелого обволакивающего глинистого раствора.

При всех других способах бурения порода на забое скважины измельчается и теряет структуру, поэтому отбор монолитов возможен только поинтервально, с забоя скважины, с применением различного типа грунтоносов.

Рекомендуется отбирать монолиты плотных и средней плотности песков и глинистых грунтов твердой и полутвердой консистенции обуривающими грунтоносами конструкции ВСЕГИНГЕО и Томгипротранса. Монолиты рыхлых песчаных водонасыщенных отложений, глинистых грунтов мягкопластичной и текучепластичной консистенции и разложившихся водонасыщенных торфо-илистых грунтов рекомендуется отбирать с помощью задавливаемых вакуумных грунтоносов конструкции Гидропроекта, Днепрогипротранса, ВЗОГ-1 и др., способных обеспечить не только минимальное нарушение структуры грунта при отборе, но и удержание взятого монолита во внутреннем пробоотборном цилиндре с помощью создаваемого при подъеме вакуума. Монолиты мерзлых грунтов из скважин необходимо отбирать с сохранением мерзлого состояния грунта.

Особое место при отборе проб ненарушенной структуры занимает массовый отбор проб небольшого объема, применяющийся в случаях дорожного и гидротехнического строительства (контроль плотности земляного тела), при промышленном и гражданском строительстве. Цель такого опробования — получение большого количества частных показателей плотности и влажности в максимально сжатые сроки. Такие методы получили название *экспресс-методов*, а легкие походные лаборатории и комплекты приборов, с помощью которых осуществляется отбор проб, — полевых экспресс-лабораторий.

Консервирование и транспортировка монолитов

Монолиты, отобранные из горных выработок и буровых скважин, как и специальные пробы грунта с ненарушенной структурой и природной влажностью, необходимо немедленно консервировать во избежание потери влаги, растрескивания или разуплотнения. Наиболее распространенным методом консервирования является послойное парафинирование. Для этого подготовленный монолит туго обматывают марлевой салфеткой, пропитанной горячим парафином, после чего весь монолит покрывают толстым слоем расплавленного парафина и к верхней грани прикрепляют этикетку (паспорт монолита).

Затем монолит вторично покрывают марлей, пропитанной парафином. Второй слой марли также обильно обмазывают парафином. К одной из боковых граней парафином приклеивают второй экземпляр этикетки.

При парафинировании необходимо соблюдать следующие правила:

1) температура расплавленного парафина должна быть 60—70 °С;

2) для придания пластичности и увеличения вязкости к парафину следует добавлять воск или гудрон в количестве 30—50 % (по массе);

3) марлевую салфетку, пропитанную расплавленным парафином, необходимо тщательно разглаживать и прижимать пальцами к грунту во избежание образования складок и воздушных мешков;

4) внутреннюю этикетку всегда нужно класть на грань со знаком ориентации монолита;

5) этикетка во избежание обесцвечивания или расплывания надписи заполняется обычным карандашом;

6) на этикетке должно быть указано: а) наименование изыскательской организации или подразделения: экспедиция, партия, отряд; б) наименование объекта изысканий; в) номер монолита; г) наименование выработки и ее номер; д) интервал глубины отбора образца; е) наименование грунта по визуальному осмотру; ж) должность и фамилия лица, отобравшего образец; з) дата отбора.

Монолиты, отобранные в контейнеры, консервируют в этих же контейнерах, для чего торцы закрывают крышками и резиновыми прокладками, а при отсутствии таковых — двумя-четырьмя слоями марли, пропитанной парафином.

Керн из скважин колонкового бурения или грунтоносков перед парафинированием должен быть очищен от глинистого раствора и разрезан на куски длиной 25—30 см. Мелкие пробы, отобранные пробоотборниками в бюксы, необходимо загерметизировать путем покрытия крышки бюкса слоем расплавленного парафина или с помощью изоляционной ленты.

Монолиты, предназначенные для транспортировки в лаборатории на значительное расстояние, должны быть упакованы в ящики. Укладка в ящики производится плотно, с заполнением промежутков между монолитами опилками, стружкой или другими мягкими материалами. В зимний период ящики должны перевозиться в утепленном кузове. Монолиты мерзлых грунтов необходимо перевозить транспортом, оборудованным холодильными камерами.

Условия хранения монолитов

Условия хранения монолитов должны обеспечивать сохранность их влаги и структуры в течение всего времени до окончания лабораторных исследований. Поэтому в полевых экспедициях и партиях монолиты должны храниться в специально приспособленных помещениях типа подвалов или погребов с относительной влажностью 50—60 % и температурой от 2 до 20 °С.

В стационарных экспедициях для этой цели должны использоваться подвальные помещения, оборудованные стеллажами для раскладки монолитов при соблюдении тех же условий хранения.

Сроки хранения консервированных монолитов при указанных выше условиях не должны превышать:

— для монолитов немерзлых, скальных и полускальных, мало-влажных песчаных и глинистых грунтов твердой и полутвердой консистенции — 3 месяцев;

— для грунтов более влажных, мягкой консистенции, торфяных и торфо-илистых — 1½ месяцев.

Монолиты мерзлого грунта необходимо хранить в специальных камерах с относительной влажностью воздуха 80—90 % при отрицательной температуре.

При отсутствии упомянутых выше требований и соответствующих помещений срок хранения монолитов не должен превышать 15 суток.

Глава 9

МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Одной из практических задач грунтоведения является рекомендация методов улучшения свойств грунтов при различных видах строительства. Идея искусственного изменения состава и свойств грунтов возникла в России еще в XVIII в., однако как самостоятельная область грунтоведения, получившая название технической мелиорации грунтов, она сформировалась в период 1920—1935 гг. в связи с развитием дорожного грунтоведения.

В дальнейшем в связи с развитием всех видов строительства инженерная геология стала решать все более и более сложные научные и технические проблемы, например такие, как возможность возведения сооружений на переувлажненных, естественно недоуплотненных или слабых грунтах. С каждым годом все более широко применяется строительство на насыпных и намывных грунтах, гидротехническое и подземное. Все это требовало и требует направленного изменения свойств грунтов (состава, состояния и др.) с целью улучшения их инженерно-геологической характеристики, что в настоящее время и составляет цель технической мелиорации грунтов.

Классификация методов технической мелиорации

Объектом технической мелиорации являются горные породы разного генезиса и петрографического состава, имеющие различные структурно-текстурные особенности и находящиеся в разных состояниях. Поэтому естественно, что при разработке методов изменения пород, направленных в сторону улучшения их строительных свойств, необходимо строго учитывать класс структурных связей, генетический тип и важнейшие свойства исходных пород.

Эти принципы и положены в основу инженерно-геологической классификации методов технической мелиорации [7], согласно которой все грунты целесообразно разделить на три группы по характеру внутренних связей:

I — скальные, полускальные и твердые осадочные грунты с жесткими кристаллизационными связями различного генезиса;

II — рыхлые несвязные грунты: крупнообломочные и песчаные;

III — связные грунты с межчастичными водно-коллоидными связями, куда входят лёссовые, глинистые, органогенные грунты и почвы.

Каждая из названных групп характеризуется типичными для них основными инженерно-геологическими особенностями и свойствами, о которых будет сказано ниже.

Некоторые из этих свойств (трещиноватость, просадочность и т. п.) неблагоприятны и подлежат улучшению с целью получения оптимальных условий при возведении сооружения.

Обеспечение новых качеств или улучшение физико-технических показателей свойств грунтов достигается различными методами, которые можно объединить в три группы: 1) физические и механические (физико-механические); 2) физико-химические; 3) химические.

Как уже отмечалось выше, применение того или иного метода определяется в первую очередь геолого-генетическим типом грунта и характером структурных связей. Поэтому с этой точки зрения целесообразно выделять методы, направленные на улучшение: а) скальных твердых грунтов, б) рыхлых несвязных грунтов, в) связных грунтов.

Кроме того, различают поверхностные и глубинные методы технической мелиорации. Если грунты, подлежащие улучшению, являются неглубоко залегающим основанием сооружения, материалом насыпи, средой поверхностных мелиоративных, сбросных, водопроводящих и других сооружений, дорожными или аэродромными покрытиями, то в этом случае все методы требуют, как правило, нарушения структуры улучшаемых грунтов и относятся к поверхностным. В случае, если требуется укрепление грунтов на глубине, в массиве (строительство подземных сооружений), применяемые методы не связаны с разрыхлением, нарушением или перемещением грунтов, а направлены на закрепление их в ненарушенной структуре и носят название глубинных.

Ниже приводится краткая характеристика методов технической мелиорации грунтов.

К механическим методам улучшения дисперсных грунтов относят их уплотнение статическими и динамическими нагрузками. Различают следующие виды уплотнения: 1) укаткой; 2) трамбованием; 3) грунтонабивными сваями; 4) виброуплотнение; 5) сейсмическое уплотнение энергией взрыва.

Физическая сущность уплотнения при всех методах заключается в уменьшении пористости и изменении структурно-текстурных особенностей грунта в результате приложения к нему тех или иных внешних воздействий. По характеру прилагаемых нагрузок уплотнение бывает статическим и динамическим. Перечисленными методами уплотняют как связные, так и рыхлые несвязные грунты.

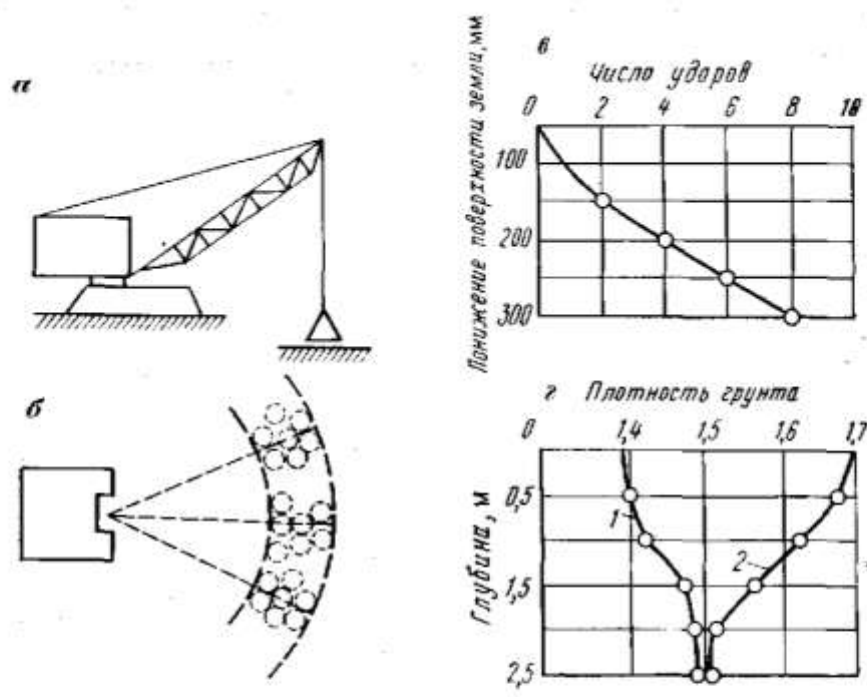


Рис. 20. Уплотнение грунта тяжелой трамбовкой. а — общий вид; б — перекрытие «следов» трамбуемой полосы; в — график зависимости понижения поверхности земли от числа ударов; г — график зависимости плотности грунта от глубины (1 — до трамбования; 2 — после трамбования)

Уплотнение укаткой достигается путем повторных циклических нагрузок, передаваемых катком на грунт. К числу недостатков метода укатки относится невозможность уплотнения слоев большой толщины.

Уплотнение трамбованием осуществляется последовательными падениями трамбовки значительной массы, в результате чего уменьшаются пористость и влажность грунта, увеличивается его плотность, повышается сопротивление сдвигу и несущая способность. Трамбованием уплотняют как связные, так и несвязные грунты на глубину до 1,5–2,0 м (рис. 20).

На рис. 20, а, б показано перекрытие следов ударов трамбовки в плане. Графики (там же, в и г) показывают соответственно понижение поверхности земли в зависимости от числа ударов и изменение плотности грунта с глубиной до и после трамбования.

Уплотнение грунтонабивными сваями преследует цель улучшения рыхлых, торфяно-иличных и лёссовых просадочных грунтов и создания условий повышенной несущей способности на всю глубину активной зоны. Этот метод относится к методам глубинного уплотнения массива грунта.

Виброуплотнение применяется преимущественно для повышения устойчивости и прочности рыхлых несвязных грунтов. Физическая сущность виброуплотнения заключается в перестройке структуры частиц скелета путем более компактной укладки, что,

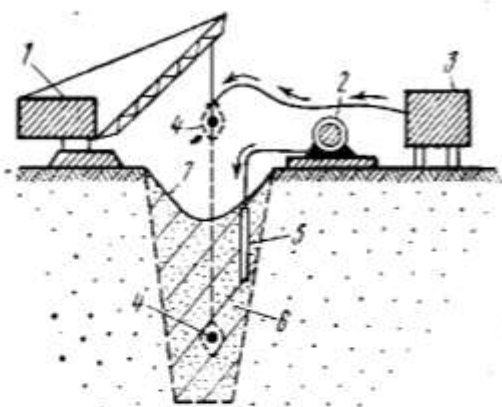


Рис. 21. Схема виброуплотнения песков. 1 — экскаватор; 2 — насос; 3 — генератор; 4 — вибратор; 5 — иньектор для подачи воды в песок; 6 — зона уплотнения; 7 — воронка

в свою очередь, вызывает уменьшение пористости и увеличение внутреннего трения между частицами.

Существует поверхностное и глубинное виброуплотнение. Последнее производится под фундаментами зданий или на отдельных участках насыпей плотин (рис. 21). Для этой цели применяют специальные вибраторы 4, опускаемые со стрелы экскаватора 1 в грунт и приводимые в действие специальным генератором 3. Для более эффективного уплотнения через иньектор 5 от насоса 2 в песок подается вода. Образовавшаяся над местом уплотнения воронка 7 после извлечения вибратора засыпается песком. Такое уплотнение можно производить на глубину нескольких метров.

Метод сейсмического уплотнения грунтов впервые был применен в 50-х годах для глубинного уплотнения песков. В последние годы диапазон применения взрывных методов значительно расширился, и в настоящее время энергию взрывов используют: а) при устройстве в глинистых породах подземных емкостей; б) для уплотнения водонасыщенных песчаных грунтов в массиве (на глубине); в) для уплотнения просадочных грунтов II типа просадочности при значительных мощностях и на больших площадях.

В основе применения сейсмических методов уплотнения связных и несвязных грунтов лежит способность дисперсных грунтов перестраивать свою структуру и уплотняться под действием ударной взрывной волны и давления газов в сфере взрыва.

Физические методы упрочения дисперсных грунтов можно характеризовать как методы воздействия на грунт различных физических полей. Наиболее часто применяется упрочение грунтов с помощью: а) поля постоянного электрического тока (электрохимическое закрепление или осушение), б) поля высоких температур (обжиг), в) поля отрицательных температур (замораживание).

Сущность электрохимического закрепления состоит в том, что через влажный грунт с помощью системы электродов пропускают постоянный электрический ток напряжением 60—200 В. Воздействие тока вызывает в грунте электрокинетические и электрохими-

ческие явления, которые ведут к изменению структуры грунта, повышению его пористости, образованию в нем новых химических соединений, увеличению его водоотдачи.

Электрохимическое закрепление может проводиться по нескольким направлениям: а) электроосмотическое осушение котлованов в водонасыщенных песчано-глинистых грунтах; б) электрохимическое уплотнение грунтов; в) электросиликатизация.

Эффект закрепления может быть усилен при введении в грунт растворов солей или химических веществ, способствующих образованию новых грунтов с прочными структурными связями.

Термическое упрочение (обжиг) основано на воздействии на грунты высокотемпературного поля путем прогрева грунтов в массиве горячими газами или сжиганием горючего непосредственно в скважине, в результате чего глинистый грунт прогревается, обезвоживается, теряет свои пластические свойства, делается водостойким и превращается в искусственный камень (черепок). Метод получил широкое применение при ликвидации аварийных просадок сооружений на лёссовых грунтах.

Замораживание грунтов широко применяется как для упрочения слабых обводненных грунтов типа пльвунов, так и для закрепления песчаных, глинистых, лёссовых пород. Сущность замораживания заключается в создании вокруг котлована или строительной площадки поля низких отрицательных температур, что приводит к образованию по контуру объекта с поверхности на заданную глубину ледогрунтовой монолитной стенки. Образовавшиеся в результате замораживания в порах грунта связи — временные, обратимые и зависят от создаваемого температурного режима.

Ко второй группе методов технической мелиорации грунтов относится целый ряд физико-химических методов, направленных на изменение структуры грунтов или ее защиты от воздействия воды. Эти методы применяются в основном для улучшения глинистых грунтов путем обработки их небольшими дозами различных реагентов, изменяющих обменную способность грунта. К группе физико-химических методов, наиболее часто применяемых для поверхностного улучшения грунтов, относят: диспергацию, агрегацию, гидрофобизацию; кольматацию и глинизацию; улучшение гранулометрическими добавками; солонцевание.

Третья группа методов улучшения свойств грунтов объединяет методы химического воздействия на различные грунты органических и неорганических вяжущих веществ. Большинство из названных методов следует относить к разряду глубинных, предназначенных для закрепления массива грунта.

Среди методов обработки грунтов органическими вяжущими веществами наиболее широко применяются битуминизация и смолизация.

Битуминизация основана на введении в грунт органических веществ — битумов в виде расплавов, эмульсий и паст. Разновидности этого метода — горячая и холодная битуминизация. Горячая

битуминизация применяется для упрочнения и гидроизоляции скальных и твердых осадочных трещиноватых грунтов; холодная битуминизация используется для закрепления и уменьшения водопроницаемости песков и грубообломочных грунтов.

Под *смолизацией* подразумевают упрочнение дисперсных грунтов синтетическими полимерными смолами. Развитие химической промышленности и химические свойства самих полимеров создали возможность широкого применения этих веществ для закрепления грунтов.

Работы эти, начатые в 1954 г., с каждым годом все более широко применяются в строительстве как для глубинного (инъекционного), так и для поверхностного закрепления грунтов.

В практике технической мелиорации для глубинного закрепления рыхлых несвязных грунтов в основании сооружений и при создании гидроизоляционных завес наиболее широко применяются карбамидные, фенолформальдегидные и другие полимеры.

Из методов обработки неорганическими вяжущими веществами наиболее часто применяются силикатизация для песков и лёссовых грунтов и цементация для скальных и твердых осадочных трещиноватых пород.

Силикатизация как метод была разработана В. В. Аскалоновым в 1949 г., а с 1950 г. она стала применяться для борьбы с просадочностью (однорастворная силикатизация). Б. А. Ржаницыным и другими исследователями был предложен также метод двухрастворной силикатизации для закрепления песков с коэффициентами фильтрации от 2 до 80 м/сут. В обоих случаях упрочнение грунтов достигается путем инъецирования в грунт жидкого стекла.

Цементация впервые была применена в России для укрепления подпорных стенок в 1864 г. Поверхностная цементация грунтов при дорожном строительстве широко применяется с 40-х годов

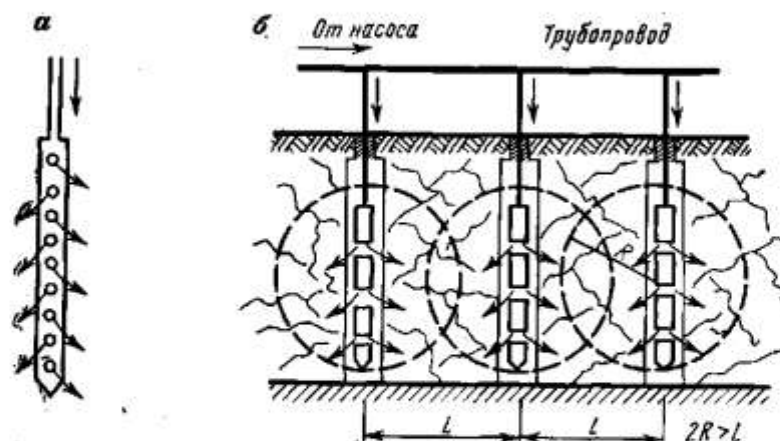


Рис. 22. Схема инъецирования закрепляющего раствора в грунт. а — инъектор; б — схемы нагнетания закрепляющего раствора (L — расстояние между инъекторами, R — радиус закрепленной зоны)

XX в., а начиная с 50-х годов цементация как метод глубинного закрепления скальных трещиноватых пород прочно вошла в практику гидротехнического и других видов строительства.

Цементация массивов грунта осуществляется путем нагнетания под давлением через скважины-инъекторы в грунт раствора цемента, чистого или со специальными добавками (рис. 22). Эти растворы, проникая в трещины и пустоты, заполняют их, схватываются и со временем твердеют, превращая трещиноватые породы в монолитные, прочные, водонепроницаемые.

Как следует из приведенной схемы, для создания непрерывной цементной завесы расстояние между скважинами должно быть меньше двух радиусов инъектирования, т. е. расстояния, на которое распространяется в породах цемент.

Виды искусственных грунтов

Применение методов технической мелиорации ведет к созданию так называемых искусственных грунтов — горных пород и почв, которые сознательно переделаны при решении различных инженерных задач или подверглись переработке в результате производственной или хозяйственной деятельности человека [42].

В настоящее время искусственные грунты принято делить на два класса: I — *скальные улучшенные*; II — *нескальные*. Скальные улучшенные образуют две разновидности: а) упрочненные; б) тампонируемые. Грунты II класса (нескальные) подразделяют на две группы: 1) улучшенные и 2) измененные; каждая из них состоит из нескольких разновидностей. В группе улучшенных грунтов II класса выделяют четыре разновидности: а) уплотненные, б) закрепленные химическим путем, в) закрепленные с применением физических полей, г) искусственные смеси, а в группе измененных — три: а) насыпные, б) намывные, в) культурные слои.

К упрочненным грунтам I класса относятся выветрелые, трещиноватые и кавернозные разности магматических, метаморфических и твердых осадочных горных пород, упрочение которых достигается путем нагнетания в образовавшиеся пустоты цемента, после чего породы приобретают прочность и монолитность. Под тампонируемыми скальными грунтами мы понимаем те же разности горных пород, но которые сделаны водонепроницаемыми. Это достигается тампонируванием (нагнетанием) в массив породы таких компонентов, как глинистые растворы с различными добавками или горячий битум.

Искусственные грунты II класса создаются из дисперсных пород самого различного состава и генезиса, как имеющих водно-коллоидные связи, так и лишенных всяких связей (раздельнозернистые). Сюда входит большая группа крупнообломочных, песчаных, глинистых, лёссовых, илистых и других видов грунтов. Грунты этого класса создаются в результате различных способов физического, химического и механического воздействия на названные выше породы.

Как уже указывалось, в зависимости от характера и степени изменения первоначальных свойств этих грунтов искусственные грунты II класса делятся на улучшенные и измененные. Улучшенные — это вновь созданные грунты, в которых коренным образом изменены структура, внутренние связи, состав и состояние. К таким грунтам относятся кольматированные грунты, искусственные механические смеси, грунты, обработанные органическими коллоидами, синтетическими полимерами, а также подвергнутые действию физических полей. В этих генетически различных осадочных дисперсных связных и несвязных грунтах в процессе улучшения возникают новые водно-коллоидные, ионно-электростатические или жесткие типы кристаллизационных связей, вследствие чего грунт приобретает повышенную прочность, монолитность, водонепроницаемость, водостойкость.

К измененным нескальным грунтам относятся: насыпные, намывные, культурные слои, отвалы пустой породы и некоторые виды техногенных грунтов. Для этих грунтов характерно изменение некоторых свойств — плотности, влажности, гранулометрического состава, водопроницаемости, сжимаемости — в сторону улучшения, не связанное с полной перестройкой структуры и состава грунта.

Культурные слои занимают особое место среди искусственных грунтов. Это рыхлые отложения, исторически возникшие в процессе жизнедеятельности ряда поколений людей, имеющие локальное распространение, невыдержанную мощность и находящиеся в районах городов и других культурных, торговых и производственных центров. Культурные слои состоят из различных строительных и бытовых отходов, перемещенных и нарушенных грунтов (срезки, подсыпки при строительных работах, останки старых захоронений и др.). Культурные слои характеризуются большой неоднородностью состава и сложения, однако, находясь в черте города, часто используются в качестве оснований, а поэтому подлежат изменению в процессе подготовки к строительству.

Раздел II

МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУНТОВ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ

Глава 10

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Как уже отмечалось, горные породы являются одним из главных компонентов, определяющих устойчивость возводимых сооружений. Поэтому необходимо знать и правильно определять те количественные показатели, которые обуславливают прочность и устойчивость грунтов при длительном взаимодействии со строительными объектами.

В табл. 10 приведены основные виды лабораторных определений показателей состава и физико-технических свойств грунтов, а также объемы пробы, необходимой для производства анализа. (Методика определения показателей физико-технических свойств грунтов должна выбираться, исходя из состава и состояния грунта, условий работы в основании сооружений с учетом изменения показателей свойств в процессе эксплуатации сооружения.)

Таблица 10

Основные виды лабораторных определений показателей состава и физико-технических свойств грунтов

Показатель состава и физико-технических свойства грунтов	Объем пробы	Правила определения	Область применения показателя
Гранулометрический состав	Глинистые, супесчаные — от 50 до 250 см ³ , песчаные — от 200 до 500 см ³ , гравелистые — от 600 до 3000 см ³ ; крупноблочные — от 0,05 до 0,2 м ³	ГОСТ 12536—79	Классификация грунтов. Приближенное вычисление коэффициентов фильтрации. Подбор оптимальных смесей грунта и материалов для обратных фильтров. Выбор отверстий фильтров. Определение механической суффозии, однородности грунтов и т. д.
Естественная влажность	30—50 см ³	ГОСТ 5180—75	Определение относительной характеристики грунта. Определение консистенции глинистых грунтов. Вычисление объемной массы скелета грунта

Показатель состава и физико-технических свойств грунтов	Объем пробы	Правила определения	Область применения показателя
Плотность частиц грунта	30—50 см ³	ГОСТ 5181—78	Вычисление пористости, коэффициента пористости, полной влагоемкости, степени водонасыщения
Плотность грунта	Глинистые — до 1000 см ³ ; песчаные — 500 см ³	ГОСТ 5182—78	Определение давления грунта. Вычисление плотности сухого грунта
Пластичность	100 см ³	ГОСТ 5183—77	Классификация грунтов. Определение консистенции грунтов. Определение показателей глинистых грунтов в соответствии с требованиями второй части глав СНиП по проектированию оснований зданий и сооружений
Сопротивление грунтов сдвигающим усилиям	Монолит — 20×20×20 см	ГОСТ 12248—78	Определение устойчивости основания. Расчет устойчивости бортов откосов. Расчет давления на подпорную стенку
Временное сопротивление грунтов сжатию	Монолит — до 1000 см ³	ГОСТ 17245—79	Определение прочности скальных грунтов или нескальных в мерзлом состоянии
Относительная просадочность грунтов	Монолит 20×20×20 см	ГОСТ 23161—78	Определение просадочности грунтов. Расчет величины просадочности. Определение типа грунтовых условий
Относительное набухание	Монолит — 10×10×10 см или проба объемом 1000 см ³	ГОСТ 24143—80	Определение набухаемости грунтов. Расчет величин набухания и давления набухания
Содержание растительных остатков	—	ГОСТ 23740—79	Классификация грунтов
Засоленность грунтов	500 см ³	Ведомственные указания по химическому анализу водной вытяжки	Определение типа и степени засоленности грунтов

Помимо указанных в табл. 10 видов определений при инженерно-геологических исследованиях необходимо изучать минералогический и химический состав грунтов (изыскания в карстованных районах и др.).

Глава 11

МЕТОДЫ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГРУНТОВ

Назначение гранулометрического анализа

Определение гранулометрического состава заключается в разделении грунта на фракции и установлении в пробе их процентного содержания. Методы гранулометрического анализа грунтов могут быть различны в зависимости от крупности частиц, слагающих грунт. Наиболее часто применяемые методы могут быть объединены в две группы: прямые и косвенные.

Прямые методы позволяют выделять фракции, взвешивать их и определять процентное содержание в породе (ситовый, пипеточный, Сабанина и др.). Косвенные методы не предусматривают выделения фракций. При использовании этих методов размер частиц устанавливается по какому-либо косвенному признаку: массе частиц, плотности суспензии, способности к набуханию, способности отражать световые лучи и т. д. (ареометрический, Рутковского и др.).

Подготовка грунтов к анализу

Рыхлые несвязные песчано-гравелистые и связные глинистые грунты состоят из отдельных обломков минералов и горных пород, а также мелких частиц или их агрегатов. Образование этих агрегатов (совокупности частиц) происходило на различных стадиях формирования пород. Наличие агрегатов в глинистых грунтах приводит к искажению представлений о составе грунтов и затруднению их классифицирования.

Агрегаты глинистых частиц могут быть водостойкие, или истинные, и водонестойкие, или ложные.

Для уничтожения водостойких агрегатных связей в грунте применяют механические, физические и химические средства воздействия. В зависимости от того, какие методы воздействия на грунт были применены, различают три следующих способа подготовки проб к анализу (ГОСТ 12536—79).

1. *Дисперсный способ.* При этом способе проба доводится до состояния максимального диспергирования, т. е. все водостойкие и водонестойкие агрегаты разрушаются до минимальных размеров. Для этого проба тщательно растирается, обрабатывается соляной кислотой и промывается. Для грунтов, содержащих более 10 % органических веществ, гранулометрический состав не определяется.

2. *Полудисперсный, или микроагрегатный, способ.* Диспергирование пород при этом способе достигается путем механического и физического воздействия. Проба перед анализом замачивается, затем растирается в присутствии стабилизатора (аммиак, пирофосфорнокислый натрий и др.) и кипятится. При данном способе подготовки химическое воздействие на пробу не оказывается.

3. *Агрегатный способ.* Подготовка пробы к анализу заключается только в физическом воздействии. Проба замачивается в воде для разрушения водонестойких агрегатов.

Имеют место случаи, когда агрегаты глинистых частиц возникают непосредственно в процессе производства лабораторных исследований в результате коагуляции суспензии. Этого можно избежать, применяя определенные приемы в ходе подготовки проб к анализу и при его проведении.

К основным методам определения гранулометрического состава грунтов относятся: ситовый, отмучивания, пипеточный, ареометрический, полевой и комбинированный.

Ситовый метод

Ситовый метод является основным при определении гранулометрического состава несвязных грунтов. Сущность метода заключается в рассеивании пробы грунта на отдельные фракции при помощи набора специальных сит.

В настоящее время для определения гранулометрического состава песчаных и гравелистых грунтов наиболее часто применяется стандартный комплект сит размером 10, 7, 5, 3, 1,0, 0,5, 0,25, 0,1 мм. Сита с размером круглых отверстий 10, 7, 5, 3 и 1 мм обычно штампованные. При использовании сит с круглыми отверстиями производится пересчет на равноценные размеры квадратных отверстий путем деления диаметра отверстия на коэффициент 1,25.

Для определения гранулометрического состава крупнообломочных грунтов используется способ грохочения на ситах. При этом способе фракции крупнее 200 мм выделяются путем замера обломков измерительным калибром, а более мелкие — просиванием через сита 200, 100, 70, 50, 20 и 10 мм.

Сита размером 0,5, 0,25 и 0,1 мм — сетчатые. Сетка латунная, квадратного плетения.

Для испытания берут среднюю пробу воздушно-сухого грунта массой:

для мелкозернистых и среднезернистых песков	100 г
для крупнозернистых песков	500 г
для грунтов, содержащих гравий и гальку до 10 %	1000 г
для грунтов, содержащих гравий и гальку от 10 до 30 %	2000 г
для грунтов, содержащих гравий и гальку более 30 %	3000 г
для крупнообломочных пород	от 5 до 50 кг и более

Таблица 11

**Журнал наблюдений при определении гранулометрического состава
песчано-гравелистых грунтов**

Размер отверстий сит, мм	Размер фракций на ситах, мм	Остатки на ситах	
		г	%
10	Крупнее 10*		
5	5—10		
2	2—5		
1	1—2		
0,5	0,5—1		
0,25	0,25—0,5		
0,1	0,1—0,25		
Поддон	Менее 0,1		

* При анализе крупнообломочных пород размер фракций увеличивается соответственно диаметру отверстий сит.

Различают два вида ситового метода: с промывкой и без промывки водой.

*Определение гранулометрического состава песчано-гравелистых
грунтов с промывкой водой*

Среднюю пробу воздушно-сухого грунта замачивают водой в фарфоровой чашке с добавлением 5 см³ 5 %-ного раствора аммиака. Через 10—15 мин пробу растирают резиновым пестиком и доливают слоем воды 30—40 мм. Суспензию взмучивают и дают отстояться 10—15 с, после чего сливают через сито с отверстием 0,1 мм. Взмучивание и сливание производят до полного просветления воды. Частицы, оставшиеся на сите, помещают (сливают) обратно в чашку, а промытую пробу высушивают в термостате.

Высушенный после промывки грунт просеивают через набор сит, указанный выше. Остатки на каждом сите взвешивают с точностью до 0,1 г. Процентное содержание частиц грунта на данном сите X вычисляют до одного десятичного знака по формуле

$$X = \frac{m_0}{m} 100, \quad (11.1)$$

где m_0 — масса остатка на сите, г; m — первоначальная масса навески, г.

Для контроля выполненного анализа необходимо суммировать массу частиц и сравнить полученную величину с первоначальной массой. Расхождения не должны превышать 1 % от первоначальной массы пробы. Потеря грунта разносится по фракциям пропорционально их массам. Все данные анализа заносятся в журнал наблюдений (табл. 11).

Содержание частиц мельче 0,1 мм определяют по разности между общей массой навески и суммой масс более крупных фракций. В случае, если содержание фракции мельче 0,1 мм превышает 10 %, то деление этой фракции на более мелкие производится одним из седиментометрических методов (пипеточный, Сабанина, ареометрический и др.).

Определение гранулометрического состава песчано-гравелистых грунтов без промывки водой

При определении гранулометрического состава песчаных и гравелистых грунтов с малым содержанием пылеватых и глинистых частиц используют ситовый метод без промывки водой.

В указанных выше количествах берется средняя проба воздушно-сухого грунта, помещается в ступку и растирается резиновым пестиком.

Грунт в сухом состоянии просеивают, взвешивают остатки на ситах и рассчитывают содержание каждой фракции. Оформление результатов и расчет фракций производят как указано выше.

Определение гранулометрического состава крупнообломочных грунтов

Определение гранулометрического состава крупнообломочных грунтов выполняется преимущественно в полевых условиях. При содержании в пробе более 10 % глинистых и мелкопесчаных частиц и отсутствии воды для промывки пробы транспортируются к месту расположения лаборатории. Фракции мельче 20 мм определяются преимущественно в лабораторных условиях, независимо от количества глинистых частиц. При отсутствии в пробе грунта глинистых или агрегированных песчано-пылеватых частиц рассевание выполняют всухую, через указанный набор сит при встряхивании или же на вибростоле.

При большом объеме пробы допускается просеивание ее (грохочение) по частям.

При содержании в породе глинистых или песчано-пылеватых частиц определение гранулометрического состава производят с промывкой водой. Промывку ведут до полного осветления воды. Массу частиц меньше 0,5 мм устанавливают по разности между массой, взятой для анализа пробы, и суммой масс всех фракций крупнее 0,5 мм, оставшихся на ситах.

Определение гранулометрического состава частиц мельче 0,5 мм выполняют по одному из методов, изложенных выше.

Метод двойного отмучивания (метод Сабанина)

Метод двойного отмучивания применяется для определения гранулометрического состава тонкозернистых песчаных и крупнопылеватых грунтов. При наличии в крупнопылеватых грунтах

частиц менее 0,01 мм в количестве более 10% гранулометрический анализ предпочтительнее определять методом пипетки (см. ниже), так как при отмучивании частиц менее 0,01 мм по методу Сабанина они осаждаются с более крупными частицами, что ведет к завышению содержания в грунте фракции менее 0,01 мм.

Использование метода двойного отмучивания (равно как и метода пипетки) основано на различии скоростей свободного падения частиц твердого тела под действием силы тяжести в жидкости. По скорости падения выделяют различные фракции песчаных, пылеватых и глинистых пород.

Исследованиями А. Н. Сабанина выявлена зависимость между диаметром частиц и скоростью их падения в воде:

Диаметр частиц, мм	Скорость падения частиц, см/с
0,5	0,2 (1 см за 5 с)
0,01	0,02 (1 см за 50 с)
0,005	0,0046 (1 см за 36 мин)
0,001	0,00012 (1 см за 2 ч 24 мин)

Скорость падения частиц определяется по формуле Стокса

$$v = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho_s - \rho_n}{\eta}, \quad (11.2)$$

где v — скорость падения частиц в воде, см/с; g — ускорение свободного падения, см/с²; r — радиус частиц, мм; ρ_s — плотность частиц, г/см³; ρ_n — плотность воды, г/см³; η — вязкость жидкости, Па·с.

Приступая к анализу по этому методу, необходимо иметь следующие предметы: прибор Сабанина, технические весы с разновесами, ступку и пестик с резиновым наконечником, фарфоровые тигли и бюксы, сушильный шкаф, песчаную баню, термометр с точностью делений до 0,05 °С, ложку, кисточку для очистки сит и бумаги от частиц грунта, раствор 25 %-ного аммиака, лист бумаги, промывалку, журнал для записей.

Проба породы доводится до воздушно-сухого состояния и осторожно растирается резиновым пестиком. Из растертой воздушно-сухой породы отбирается средняя проба для выполнения ситового анализа и выделения фракции 0,25 мм. Из этой фракции берется навеска 5—6 г для производства анализа и взвешивается на технических весах с точностью 0,1 г. Одновременно берутся две пробы массой 20—25 г для определения гигроскопической влажности, необходимой для пересчета массы пробы, взятой при воздушно-сухом состоянии на абсолютно сухую навеску, по формуле

$$m_0 = \frac{m}{100 + w}, \quad (11.3)$$

где m_0 — масса навески породы в абсолютно сухом состоянии, г; m — масса навески породы в воздушно-сухом состоянии (считая

и гигроскопическую влажность) или при естественной влажности, г; ω — влажность породы, %.

Отобранную навеску помещают в колбу с обратным холодильником и заливают 50 см³ дистиллированной воды с добавлением 1 см³ аммиака и кипятят на песчаной бане в течение получаса. Остывшую суспензию сливают через помещенное в фарфоровую чашку сито с отверстиями 0,1 мм. Нераспавшиеся агрегаты осторожно растирают резиновым пестиком. Колбу промывают из промывалки, следя за тем, чтобы на ее стенках не осталось частиц грунта.

Частицы крупнее 0,1 мм, оставшиеся на сите, промывают и переносят в предварительно взвешенный тигель и выпаривают на песчаной бане. Высушенный в термостате осадок взвешивают на технических весах и вычисляют процентное содержание фракции 0,25—0,1 мм по формуле

$$X = \frac{m}{m_0} 100, \quad (11.4)$$

где m — масса фракции, г; m_0 — масса навески, пересчитанной на воздушно-сухое состояние по формуле (11.3), г.

Суспензия, переведенная в фарфоровую чашку через сито 0,1, отмучивается в градуированном стакане прибора А. Н. Сабанина. В зависимости от температуры взмученной суспензии ее оставляют в покое на определенное время (см. ниже):

Температура суспензии, °С	Время отстаивания суспензии
10	14 мин 34 с
12	13 мин 47 с
15	12 мин 44 с
17	12 мин 06 с
20	11 мин 14 с

После этого жидкость из градуированного стакана сливают через сифон в банку до уровня установки нижнего конца сифона. За время, указанное выше, частицы диаметром более 0,01 мм успевают пройти путь, равный 6 см, и в стакане останутся только частицы диаметром менее 0,01 мм. Суспензия с частицами менее 0,01 мм сливается в банку, и тем самым эти частицы отделяются от более крупных. Повторив несколько раз пробный опыт, добиваются того, что все частицы менее 0,01 мм будут переведены в банку, на что укажет появление прозрачной воды после отмучивания.

После отмучивания частиц менее 0,01 мм в стакане прибора останутся частицы 0,01—0,05 и 0,05—0,1 мм. Разделение этих фракций продолжают отмучиванием суспензии, оставшейся в стакане, для чего под сифон подставляют другую банку, а в стакан

доливают чистую воду до отметки 8 см. Суспензию взбалтывают и оставляют для отстаивания на время, указанное ниже:

Температура суспензии, °С	Время отмучивания суспензии, с
10	35
12	33
15	31
17	29
20	27

Последующее определение аналогично описанному выше. По достижении прозрачности воды в стакане опыт прекращают. На этом заканчивается отмучивание, и грунт оказывается разделенным на фракции менее 0,01; 0,01—0,05 и 0,05—0,1 мм и более 0,1 мм.

Количество частиц более 0,1 мм вычисляют путем взвешивания, от 0,1 до 0,05 и от 0,05 до 0,01 мм — по приведенной выше формуле, а процентное содержание частиц менее 0,01 мм — по разности, для чего от 100 % вычитают сумму процентов фракций, определенных ситовым методом и в приборе Сабанина.

Дальнейшее разделение на фракции частиц менее 0,01 мм ведется методом пипетки.

Пипеточный метод

Методом пипетки пользуются для определения гранулометрического состава глинистых грунтов. При этом методе выделяются частицы крупнее 0,1; 0,1—0,05; 0,05—0,01; 0,01—0,005; 0,005—0,001 и менее 0,001 мм. Этот метод основан на различии скоростей падения в воде частиц с различным диаметром. Гранулометрический состав по методу пипетки определяют в два этапа. Первый этап — определение содержания крупных фракций ситовым методом (см. выше), второй этап — определение содержания частиц менее 0,1 мм непосредственно пипеточным методом.

Для производства анализа необходимо иметь: весы технические и аналитические с разновесами, набор стандартных сит, цилиндр вместимостью не менее 1 л и высотой 45—50 см, пипетку вместимостью 25 мл, плоскодонную колбу вместимостью 500 см³ с обратным холодильником. Для удобства работы применяют конические колбы вместимостью 250 мл, фарфоровую чашку, тигли № 3 или бюксы для определения гигроскопической влажности и тигли № 5 для определения содержания частиц менее 0,005 мм, ступку с пестиком, мешалку, промывалку, термостат, термометр с точностью деления до 0,5 °С, резиновую грушу, секундомер и часы, раствор 25 %-ного аммиака и раствор насыщенного пирофосфорнокислого натрия, совок и лист бумаги.

Из пробы грунта мельче 0,1 мм (оставшегося в поддоне) берут две навески: а) для определения гигроскопической влажности и

расчета абсолютно сухой навески по двум бюксам, б) для определения непосредственно гранулометрического состава. Масса второй навески: для глин — 10 г, для суглинков — 15 г, для супесей — 20 г. Отдельно берется проба для определения естественной влажности (см. гл. 13). Навески взвешиваются на аналитических весах с точностью до 0,01 г.

Взятую для определения гранулометрического состава навеску переносят в колбу вместимостью 250 см³ и заливают 10-кратным количеством дистиллированной воды. Количество воды, затрачиваемой дополнительно на смывание пробы с фильтра в случае, если необходимо сделать отмывку, не должно превышать количества дистиллированной воды, залитой в колбу с пробой грунта.

В колбу с пробой, залитой дистиллированной водой, добавляют 1 см³ 25 %-ного раствора аммиака и кипятят (глины — 1 ч, суглинки — 45 мин, супеси — 30 мин). После кипячения суспензию охлаждают до 15—20 °С и сливают в цилиндр. Остаток в колбе переносят на сито с отверстиями 0,1 мм, поставленное над большой фарфоровой чашкой, и промывают, слегка растирая резиновым пестиком, доводя до полного отмучивания. Промытый остаток на сите 0,1 мм переносят в фарфоровую чашку, смывая с обратной стороны, и высушивают в термостате при температуре 100—105 °С до постоянной массы. Высушенный остаток на сите 0,1 мм просеивают через сито 0,25 мм. Оставшиеся на сите частицы (0,25—0,5 мм) и прошедшие через сито (0,25—0,1 мм) взвешивают на аналитических весах. Суспензию, прошедшую сквозь сито 0,1 мм, взмучивают и после минутного отстоя сливают в цилиндр вместимостью 1 л. Оставшийся осадок осторожно растирают резиновым пестиком и, добавляя дистиллированную воду, также переводят в цилиндр. Во избежание коагуляции в дистиллированную воду добавляют аммиак (0,5 мл на 1 л воды). Остаток растирают до тех пор, пока после 1—2-минутного отстоя вода в чашке не будет чистой, что указывает на наличие только песчаных частиц.

Оставшийся в чашке осадок смывают в цилиндр и доводят объем жидкости до 1 л, добавляя дистиллированную воду с аммиаком.

После замера температуры взбалтывают суспензию до полного исчезновения осадка на дне и оставляют в покое на время, указанное в ГОСТ 12536—79.

Л. И. Кульчицким предложены иные интервалы отбора проб, обеспечивающие при диапазоне температур 10—30 °С и изменении плотности частиц грунта от 2,4 до 2,8 г/см³ достаточную точность результатов анализа гранулометрического состава (табл. 12).

По истечении времени, указанного в табл. 12, пипеткой отбирается первая проба, содержащая частицы менее 0,05 мм. После этого суспензия взмучивается и оставляется в покое на время, указанное для отбора пробы с частицами менее 0,01; 0,005 и 0,001 мм. Время наполнения пипетки для частиц 0,05 мм— 10 с, 0,01 мм— 15 с, 0,005 мм— 20 с, 0,001 мм— 30 с.

Таблица 12

Рекомендуемые глубина и интервалы времени отбора проб при определении гранулометрического состава методом пипетки

Размер частиц, мм	Глубина отбора проб, см	Интервал времени отбора проб
0,05	25	2 мин
0,01	10	20 мин
0,005	10	2 ч 20 мин
0,001	7	22 ч

Суспензия из пипетки переносится в тигель и выпаривается при температуре 100—105 °С до постоянной массы.

Массу пробы грунта, взятой для анализа, с учетом поправки на гигроскопическую влажность определяют по формуле

$$m_0 = \frac{100m_1}{100 + \omega_r}, \quad (11.5)$$

где m_1 — масса воздушно-сухой пробы, г; ω_r — гигроскопическая влажность, %.

Содержание фракций крупнее 0,10 мм рассчитывают по формуле

$$\Phi_{>0,1} = \frac{A(100 - B)}{m_0}, \quad (11.6)$$

где A — масса фракции, высушенной при 100—105 °С, г; B — суммарное содержание фракции крупнее 0,5 мм, %; m_0 — масса анализируемой пробы с поправкой на гигроскопическую влажность, г.

Расчет содержания фракций 0,05; 0,01; 0,005 и 0,001 мм (в %) и пересчете на весь объем суспензии 1000 см³ производится по формуле

$$\Phi_{<0,1} = \frac{100A}{m_0V} (100 - B), \quad (11.7)$$

где V — вместимость пипетки, см³; остальные обозначения прежние.

При наличии в грунте водорастворимых солей вводится поправка на их содержание.

Тогда формула (11.7) примет вид

$$\Phi_{<0,1} = \frac{100A}{(m_0 - m_{\text{прс}})V} (100 - B), \quad (11.8)$$

где $m_{\text{прс}}$ — масса водорастворимых солей, %; остальные обозначения прежние.

Результаты анализа записываются в журнал.

Ареометрический метод

Ареометрическим методом определяют содержание в породе фракций менее 0,25 мм. Этот метод основан на измерении плотности суспензии, которая меняется при выпадении из нее частиц различного диаметра и после того, как она после взмучивания находится в состоянии покоя в течение определенного времени. Помещенный в суспензию ареометр будет погружаться по мере изменения плотности суспензии. Чем выше ее плотность, тем меньше глубина погружения ареометра.

Для производства гранулометрического анализа ареометрическим методом применяют ареометр со шкалой 0,975—1,030 мм и ценой деления 0,001, аналитические и технические весы с разновесами, набор сит с отверстиями 10, 5, 2, 1, 0,5, 0,26 и 0,1 мм (наличие сита 0,1 мм обязательно), стеклянный мерный цилиндр вместимостью 1 л и диаметром 60 ± 2 мм, термометр с точностью делений $0,5^\circ\text{C}$, коническую плоскодонную колбу с обратным холодильником вместимостью 250—500 см³, фарфоровые чашки и фарфоровую ступку с пестиком, воронки, бюксы, песчаную баню, линейку на 30 см с миллиметровыми делениями, промывалку, стеклянную мешалку с резиновым наконечником, секундомер, резиновые пробки, номограмму для вычисления диаметра частиц и журнал соответствующей формы (табл. 13).

Таблица 13

Журнал записи результатов при определении гранулометрического состава ареометрическим методом

Навеска грунта, г	Влажность породы, %	Масса абсолютно сухой породы, г	Плотность породы, г/см ³	Дата	Время суток	Время от начала анализа	Упрощенный отсчет по ареометру	Упрощенный отсчет с поправкой на мениск, (С)	Температура суспензии, °С	Температурная поправка, -	Окончательный отсчет по ареометру	Диаметр частиц, мм	Общее содержание фракции, %	Диаметр частиц каждой фракции, мм	Содержание каждой фракции в породе, %

Полевой метод

В тех случаях, когда необходимо ориентировочно выделить только основные фракции в грунте (песчаную, пылеватую и глинистую), применяют ускоренный полевой метод — метод Рутковского. Метод основан на способности глинистых частиц набухать. Сущность его заключается в определении набухания глинистых частиц.

Зависимость между содержанием глинистых частиц и приростом объема грунта при набухании выражается формулой

$$X = 22,7K_V, \quad (11.9)$$

где X — содержание глинистых фракций, %; K_V — прирост объема на 1 см³ взятого для анализа грунта.

$$K_V = \frac{V_1 - V_0}{V_0}, \quad (11.10)$$

где V_0 — начальный объем грунта; V_1 — объем набухания грунта.

Для анализа берется растертый в порошок воздушно-сухой грунт в количестве около 500 г и пропускается через сито 0,5 мм. Средняя проба грунта насыпается в мензурку вместимостью 100 см³ и постукиванием о резиновую подушку уплотняется до объема 10 см³. Наливают в мензурку 50—60 см³ воды и тщательно размешивают стеклянной палочкой с резиновым наконечником. К полученной суспензии прибавляют 2—3 см³ раствора хлористого кальция (5,5 г CaCl₂ на 100 см³ воды), суспензию перемешивают и отстаивают в течение 24—48 ч. После отстаивания вычисляют объем набухшего грунта и прирост объема на 1 см³ первоначального объема K_V по формуле (11.10).

По табл. 14 определяется зависимость набухания грунта от содержания глинистых частиц в процентах к массе взятой навески.

Таблица 14

Зависимость набухания грунта от содержания глинистых частиц

Прирост объема на 1 см ³ , %	Содержание глинистых частиц, %	Прирост объема на 1 см ³ , %	Содержание глинистых частиц, %	Прирост объема на 1 см ³ , %	Содержание глинистых частиц, %
4,00	90,70	2,70	61,21	1,40	31,74
3,95	89,55	2,65	60,07	1,35	30,61
3,90	88,42	2,60	58,94	1,30	29,48
3,85	87,29	2,55	57,81	1,25	28,34
3,80	86,16	2,50	56,68	1,20	27,70
3,75	85,03	2,45	55,54	1,15	26,07
3,70	83,88	2,40	54,41	1,10	24,93
3,65	82,75	2,35	53,28	1,05	23,80
3,60	81,62	2,30	52,14	1,00	22,67
3,55	80,49	2,25	51,07	0,95	21,52
3,50	79,36	2,20	49,88	0,90	20,41
3,45	78,23	2,15	48,74	0,85	19,26
3,40	77,09	2,10	47,61	0,80	18,13
3,35	75,95	2,05	46,48	0,75	17,00
3,30	74,82	2,00	45,34	0,70	15,86
3,25	73,67	1,95	44,20	0,65	14,73
3,20	72,54	1,90	43,07	0,60	13,60
3,15	71,40	1,85	41,94	0,55	12,46
3,10	70,27	1,80	40,80	0,50	11,32
3,05	69,14	1,75	39,68	0,45	10,19
3,00	68,01	1,70	38,53	0,40	9,06
2,95	66,88	1,65	37,39	0,35	7,93
2,90	65,75	1,60	36,26	0,30	6,79
2,85	64,62	1,55	35,13	0,25	5,66
2,80	63,49	1,50	35,13	0,20	4,53
2,75	62,35	1,50	34,00	0,15	3,40
		1,45	32,87	0,12	2,72

Определение ведется параллельно в двух мензурках. Если расхождение между двумя определениями более 5 %, анализ повторяется.

Для определения содержания песчаной фракции в мензурку помещают 10 см³ грунта и заливают водой до объема 100 см³. После перемешивания через 90 с часть суспензии (70—75 см³) сливается. Отмучивание ведется до прозрачной жидкости. После 2—3-минутного отстаивания замеряют объем оставшегося грунта и рассчитывают содержание песчаной фракции (в %) по формуле

$$X = \frac{V_1}{V_0} 100, \quad (11.11)$$

где V_0 — первоначальный объем грунта; V_1 — объем оставшегося грунта после отмучивания; X — содержание песчаной фракции.

Содержание пылеватой фракции определяется путем вычитания из 100 % сумм глинистой и песчаной фракций.

Комбинированный метод

Данный метод применяется для определения гранулометрического состава тонкопесчаных и пылеватых пород, у которых содержание частиц диаметром менее 0,01 мм не превышает 10 %. Этот метод заключается в последовательном проведении анализа сначала методом двойного отмучивания, а затем методом пипетки. Содержание частиц диаметром менее 0,01 мм рассчитывается по формуле

$$X = \frac{A(100 - B)}{m}, \quad (11.12)$$

где X — процентное содержание частиц в породе; A — масса частиц, г; B — суммарное процентное содержание частиц, взятых на анализ; m — масса навески, пересчитанная на абсолютно сухое состояние породы, г.

Содержание фракции менее 0,001 мм рассчитывается по формуле

$$X = \frac{m_1 V c}{m V_1}, \quad (11.13)$$

где X — процентное содержание в породе частиц < 0,001 мм; m_1 — масса частиц диаметром < 0,001 мм; m — масса навески, взятой для анализа в пересчете на абсолютно сухое состояние породы, г; V — объем суспензии в цилиндре, см³; V_1 — объем суспензии в пипетке, см³; c — суммарное процентное содержание частиц диаметром менее 0,001 мм, полученное при анализе методом двойного отмучивания.

Содержание в породе частиц диаметром 0,01 и 0,001 мм определяют по разности расчетов.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Грунты представляют собой многофазную систему. В этой связи большое значение приобретает определение массы единицы их объема, которая используется при различных инженерных расчетах. Рассмотрим определение в лабораторных условиях плотности частиц грунта и плотности самого грунта.

Определение плотности частиц грунта

Различают определение плотности незасоленных и засоленных грунтов (ГОСТ 5181—78).

Для определения плотности частиц незасоленных грунтов применяют мерные сосуды (пикнометры, колбы) вместимостью не менее 100 мл, весы технические с точностью взвешивания 0,01 г, фарфоровую ступку с пестиком, эксикатор, сушильный шкаф, термометр, песчаную баню и бюксы.

Образец грунта воздушно-сухого состояния растирается в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником. После тщательного перемешивания отбирают пробу в 15 г и высушивают до постоянной массы при температуре $105 \pm 2^\circ\text{C}$. Из этого же образца отбирается проба для определения гигроскопической влажности (см. гл. 13).

В предварительно взвешенный и высушенный пикнометр насыпают взятую навеску и взвешивают. До половины объема пикнометр заполняют дистиллированной водой, взбалтывают несколько раз и кипятят на песчаной бане. При определении плотности сульфидов и глини время кипячения 60 мин, пески кипятятся в течение 30 мин. Остудив пикнометр, доливают его дистиллированной водой до мерной черты и взвешивают. Необходимо следить, чтобы нижний край мениска суспензии находился строго на уровне мерной черты. После взвешивания суспензия выливается, а тщательно промытый пикнометр наполняется дистиллированной водой для повторного взвешивания. Все данные заносятся в журнал (табл. 15).

Применяемая для анализа дистиллированная вода кипятится в течение 1 ч для полного дегазирования и хранится в закупоренном виде.

На основе данных табл. 15 производят вычисление плотности частиц грунта по формуле

$$\rho_s = \frac{m_0}{m_0 + m_3 - m_2} \rho_w \quad (12.1)$$

где m_0 — масса сухого грунта, г; m_2 — масса пикнометра с грунтом и водой, г; m_3 — масса пикнометра с водой, г; ρ_w — плотность воды, г/см³, определяется по табл. 16.

Таблица 15

Журнал записи данных при определении плотности грунтов

№ п/п	Дата	№ выработки	Глубина отбора, см	№ пикнометра	Масса, г			Температура воды t °С	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³
					пикнометра с водой (керосином) и грун- том m_2	пикнометра с водой (керосином) m_3	сухого грунта m_0		

Таблица 16

Зависимость плотности воды от температуры

Температура, °С	Плотность, г/см ³	Температура, °С	Плотность, г/см ³	Температура, °С	Плотность, г/см ³
10	0,999727	18	0,998621	26	0,996808
11	0,999632	19	0,998430	27	0,996538
12	0,999524	20	0,998229	28	0,996258
13	0,999404	21	0,998017	29	0,995969
14	0,999271	22	0,997795	30	0,995672
15	0,999126	23	0,997563	31	0,995366
16	0,998969	24	0,997321	32	0,995051
17	0,998800	25	0,997069	33	0,994728

Расхождение между двумя параллельными определениями не должно быть более 0,02 г/см³.

Для засоленных грунтов, т. е. грунтов, которые содержат в своем составе легко- и среднерастворимые соли, определение плотности частиц производится в неполярных жидкостях (обезвоженный силикагелем керосин, бензол и др.) во избежание ошибок при опыте за счет растворения солей в воде. Обезвоживание керосина производят путем взбалтывания его с силикагелем, предварительно прокаленным в муфельной печи при температуре 500 °С. Количество силикагеля 250—300 г на 1 л керосина.

Все остальные операции аналогичны описанным выше.

Расчет плотности частиц производят по формуле

$$\rho_s = \frac{m_0}{m_0 + m_3 - m_2} \rho_k, \quad (12.2)$$

где m_0 — масса сухого грунта, г; m_2 — масса пикнометра с керосином и грунтом, г; m_3 — масса пикнометра с керосином, г; ρ_k — плотность керосина, г/см³.

В практике лабораторных работ иногда при определении плотности частиц засоленных грунтов поступают следующим образом. После отстаивания и охлаждения прокипяченного с грунтом и

водой пикнометра берут в пипетку 25 мл раствора и взвешивают. Затем эту пипетку наполняют дистиллированной водой и снова взвешивают. Разность между этими взвешиваниями дает суммарное содержание солей в указанном объеме, после чего рассчитывается общее количество растворенных в воде солей (n) на испытуемый объем. Тогда формула (12.2) приобретает вид

$$\rho_s = \frac{m_0 - n}{m_0 + m_3 - m_2} \quad (12.3)$$

(все обозначения прежние).

Определение плотности грунта

Определение плотности связных грунтов

Плотность связных грунтов определяется различными методами в лабораторных условиях. Наиболее распространены метод режущих колец и метод гидростатического взвешивания.

Метод режущих колец основан на непосредственном измерении плотности и применим для связных грунтов, поддающихся обработке ножом без выкрашивания, а также несвязных грунтов, когда объем образца определенной формы может быть сохранен при наличии жесткой тары.

При использовании данного метода применяются режущие кольца из некорродирующегося металла со специальными насадками. Диаметр колец зависит от вида грунта. Для глинистых грунтов диаметр колец должен быть не менее 50 мм, для суглинистых, супесчаных и тонкопесчаных — 70 мм и для крупнозернистых песчаных — 100 мм. Высота кольца должна быть не более одного и не менее половины диаметра, а толщина стенок 0,02 диаметра, но не менее 1,5 мм.

Помимо колец при этом методе необходимы технические весы с разновесами, нож с прямым лезвием длиной не менее трех диаметров кольца, штангенциркуль, две прозрачные плоские пластины для покрытия кольца с грунтом и лопаточка-мастерок.

Штангенциркулем измеряют размеры режущего кольца и вычисляют его объем. Определяют массу кольца с точностью до 0,01 г. На зачищенную поверхность грунта ставят режущее кольцо и ножом вырезают столбик диаметром на 1 мм больше наружного диаметра кольца с одновременным легким нажатием на верхнюю тупую кромку кольца-насадки. Когда кольцо будет заполнено, насадка снимается, избыток грунта срезается вровень с тупой кромкой кольца и покрывается стеклянкой или плексигласовой пластинкой. Столбик грунта подрезается ниже режущей кромки кольца на 8—10 мм и при помощи лопаточки-мастерка подхватывается и переворачивается на пластину. Выступающая часть грунта тщательно зачищается вровень с режущей кромкой кольца и снова покрывается пластинкой.

Грунт с кольцом и пластинами взвешивается на весах с точностью до 0,01 г и затем извлекается из кольца для определения

естественной влажности в соответствии с рекомендациями, изложенными в гл. 13.

Плотность грунта определяется по формуле

$$\rho = \frac{m - (m_1 + m_2)}{V}, \quad (12.4)$$

где m — масса кольца с грунтом и покрывающими пластинами, г; m_1 — масса кольца, г; m_2 — масса покрывающих пластин, г; V — объем грунта в кольце, численно равный внутреннему объему кольца, см³. Все данные заносят в специальный журнал (табл. 17).

Таблица 17

Журнал определения плотности грунта

Высота кольца h , см	Диаметр кольца d , см	Масса кольца m_1 , г	Масса пластин m_2 , г	Масса кольца с грунтом и покрывающими пластинами m , г	Объем кольца V , см ³	Плотность грунта ρ , г/см ³

Метод гидростатического взвешивания (метод парафинирования) применяется при определении плотности грунтов, трудно поддающихся обработке и склонных к выкрашиванию. Из грунта ножом вырезается образец объемом не менее 30 см³ так, чтобы по возможности его поверхность стала округлой, и взвешивается на технических весах с точностью до 0,01 г. Взвешенный образец опускают в расплавленный при температуре 60 °С парафин, чтобы в течение 1—2 с он покрылся парафиновой оболочкой толщиной 0,5—1 мм. Появляющиеся пузырьки воздуха между слоем парафина и образцом удаляют, прокалывая их тонкой иглой и заглаживая поверхность в месте прокола. Парафин

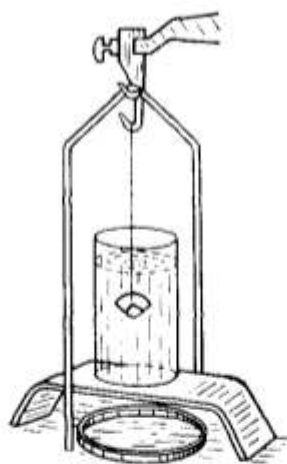


Рис. 23. Приспособление для гидростатического взвешивания

с заранее известной плотностью не должен содержать посторонних примесей. Запарафинированный образец взвешивается, помещается на сетку, подвешенную к коромыслу технических весов, и опускается в стакан с водой (рис. 23), стоящий на подставке под коромыслом, и снова взвешивается в воде. Взвешенный запарафинированный образец извлекается из воды, обсушивается фильтровальной бумагой и еще раз взвешивается для проверки герметичности парафиновой оболочки. Если разность во взвешивании до погружения образца в воду и после его извлечения будет более 0,2 г, то образец считается забракованным. Из очищенного от парафина образца отбирается проба для определения естественной влажности.

Плотность грунта вычисляется по формуле

$$\rho = \frac{m\rho_n\rho_v}{\rho_n(m_1 - m_2) - \rho_v(m_1 - m_2)}, \quad (12.5)$$

где m — масса образца до парафинирования, г; m_1 — масса образца с парафиновой оболочкой, г; m_2 — масса запарафинированного образца в воде, г; ρ_n — плотность парафина (обычно принимается равной $0,9 \text{ г/см}^3$); ρ_v — плотность воды, принимаемая равной единице при температуре 20°C , г/см^3 .

Все данные, необходимые для расчета плотности грунта методом парафинирования, заносят в журнал (табл. 18).

Таблица 18

Журнал определения плотности грунта

№ образца	Масса образца без парафина m , г	Масса образца в парафине m_1 , г	Масса запарафинированного образца в воде m_2 , г	Масса образца в парафине после извлечения из воды, г	Плотность грунта ρ , г/см^3	Влажность образца w , %

Определение плотности несвязных грунтов

Плотность несвязных (песчаных и крупнообломочных) грунтов определяется в лабораторных и полевых условиях. В лабораторных условиях она определяется в рыхлом и плотном их сложении: в этом случае получают ее минимальное и максимальное значение.

При определении плотности песков в рыхлом сложении средняя проба (400—500 г просеянного через сито 5 мм и высушенного до воздушно-сухого состояния грунта) взвешивается на технических весах. В наклонный цилиндр с насадкой через воронку засыпается песок при постепенном выравнивании цилиндра. Медленным вращением рыхлитель извлекается из цилиндра. При этом песок проходит через отверстия рыхлителя. После извлечения рыхлителя цилиндр осторожно устанавливают на подставку из оргстекла или лист чистой бумаги и снимают насадку. Поверхность песка разравнивается металлической линейкой до уровня края цилиндра. Цилиндр с песком взвешивается на технических весах с точностью до 0,01 г. Для мелкозернистых и пылеватых песков производится определение гигроскопической влажности и при расчете от плотности песка вычитают ее величину. Для средне- и крупнозернистых песков этой величиной обычно пренебрегают. Опыт повторяется трижды, и плотность принимается как среднее из двух меньших значений.

Расчет ведется по формуле

$$\rho_{\text{min}} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (12.6)$$

где m — масса цилиндра с грунтом, г; m_1 — масса цилиндра, г; V — объем цилиндра, см^3 .

Данные опыта записывают в журнал (табл. 19).

Таблица 19

Журнал определения плотности песка в рыхлом (плотном) сложении

Лабораторный №	Масса пустого цилиндра m_1 , г	Масса цилиндра с грунтом m_2 , г	Объем цилиндра V , см ³	Плотность в рыхлом (плотном) сложении ρ , г/см ³

При определении плотности песков в плотном сложении проба высушенного грунта засыпается в предварительно взвешенный цилиндр небольшими порциями при постоянном уплотнении деревянной трамбовкой. После того, как песок достигнет края стакана, насадку снимают и избыток песка удаляют металлической линейкой, поставленной на ребро. Заполненный таким образом стакан взвешивается и рассчитывается плотность грунта плотного сложения по формуле (12.6). Опыт повторяется трижды, и расчет ведется по двум наибольшим значениям.

Определение плотности крупнообломочных грунтов в лабораторных условиях [27] производят следующим образом. Определяют гранулометрический состав ситовым или комбинированным методом, плотность обломков различного петрографического состава и мелкозема (заполнителя).

Определив плотность обломков различного петрографического состава методом парафинирования, рассчитывают величину средневзвешенной плотности крупнообломочного материала по формуле

$$\rho_k = \frac{100}{\frac{A_1}{\rho_{k_1}} + \frac{A_2}{\rho_{k_2}} + \dots + \frac{A_n}{\rho_{k_n}}}, \quad (12.7)$$

где A_1, A_2, \dots, A_n — процентное содержание обломков различного петрографического состава; $\rho_{k_1}, \rho_{k_2}, \dots, \rho_{k_n}$ — плотность обломков различного петрографического состава, г/см³.

Для определения плотности мелкозема методом парафинирования в поле отбирается специальная проба. Обычно в этой пробе содержатся обломки крупнее 2 мм, поэтому необходимо, отобрав отдельные обломки различных петрографических типов, высушить их до постоянной массы и рассчитать процентное содержание.

Расчет средневзвешенной плотности обломков в специальной пробе производится по формуле

$$\rho_{k, c} = \frac{100}{\frac{a_1}{\rho_{k, c_1}} + \frac{a_2}{\rho_{k, c_2}} + \dots + \frac{a_n}{\rho_{k, c_n}}}, \quad (12.8)$$

где a_1, a_2, \dots, a_n — процентное содержание частиц крупнее 2 мм различного петрографического состава в специальной пробе; $\rho_{k, c_1},$

$\rho_{к.с_2}, \dots, \rho_{к.с_n}$ — плотность обломков различного петрографического состава в специальной пробе, г/см³.

Определив плотность специальной пробы (ρ_c) и плотность частиц крупнее 2 мм в этой пробе, рассчитывают содержание мелкозема в слое грунта по формуле

$$\rho_m = \frac{(100 - B) \rho_c \rho_{к.с}}{\rho_{к.с} 100 - B \rho_c}, \quad (12.9)$$

где B — содержание частиц крупнее 2 мм в специальной пробе, равное $A_1 + A_2 + \dots + A_n$, %; ρ_c — плотность специальной пробы, г/см³; $\rho_{к.с}$ — средневзвешенное значение плотности крупнообломочного материала в специальной пробе, г/см³.

По содержанию в породе крупных обломков и мелкозема рассчитывается плотность крупнообломочного материала с заполнителем в изучаемом слое грунта по формуле

$$\rho_{к.об} = \frac{100}{\left(\frac{B}{\rho_k}\right) + \left(\frac{100 - B}{\rho_m}\right)}, \quad (12.10)$$

где ρ_k — средневзвешенное значение плотности крупнообломочного материала в массиве (слое) грунта, г/см³; ρ_m — плотность мелкозема в массиве (слое) грунта, г/см³; B — содержание в породе частиц более 2 мм (по данным ситового анализа).

В полевых условиях плотность песчаных, крупнообломочных и вечномёрзлых грунтов устанавливается путем непосредственного определения массы и объема. Для этого используют специальные деревянные или металлические шаблоны объемом не менее 8000 см³, задавливаемые в грунт. Чаще применяют так называемый метод шурфика (лунки). Для этой цели на поверхности земли или в дне шурфа (дудки) выкапывается небольшой шурф (шурфик) объемом не менее вышеуказанного. Весь грунт, извлеченный из шурфика, взвешивается и определяется его влажность. Объем грунта в условиях естественного залегания может определяться различными способами. Применяя мягкую резиновую пленку, наполняют шурфик водой и по количеству воды в этой оболочке определяют объем. Возможно также использование сухого песка, который насыпается мерными цилиндрами до полного заполнения шурфика. Лучшие результаты даст применение калиброванного гравия, так как в случае его применения уменьшается за счет уплотнения при засыпке. Величину плотности получают путем деления массы извлеченной породы на ее объем, замеренный в шурфике каким-либо из указанных способов.

Определение пористости песков

Обычно пористость грунтов рассчитывается по формулам, приведенным в гл. 3 настоящей книги. Однако в некоторых случаях для непосредственного определения пористости песков применяют метод насыщения водой.

Для этого в сухой стакан насыпают предварительно высушенный на воздухе песок. Замерив объем песка в стакане и определив его массу, насыщают песок водой при помощи бюретки. Насыщение ведут до появления на поверхности песка тонкой пленки воды. Количество воды, ушедшей на насыщение песка, определяют по делениям на бюретке.

Пористость песка (в %) рассчитывается по формуле

$$n = \frac{V_n}{V} 100, \quad (12.11)$$

где V_n — объем воды, ушедшей на насыщение песка; V — объем песка в стакане.

Глава 13

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЛАЖНОСТИ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Определение влажности грунтов

Влажность грунтов определяется содержанием в них различного количества свободной и связанной воды, удаляемой при высушивании. Различают весовую и объемную влажность; выражается она в процентах или долях единицы.

Под весовой влажностью понимают отношение массы содержащейся в грунте воды к массе грунта, высушенного до постоянной массы. Определяется она термостатно-весовым способом (ГОСТ 5180—75). В заранее взвешенный стеклянный или алюминиевый стаканчик с открытой крышкой помещают около 15 г грунта, взвешивают и ставят в сушильный шкаф, в котором проводят высушивание до постоянной массы образца при температурах: для глинистых и песчаных грунтов $105 \pm 2^\circ\text{C}$; для гипсованных грунтов $80 \pm 2^\circ\text{C}$.

Продолжительность начального высушивания для глинистых грунтов составляет 5 ч, а для песчаных — 3 ч. Последующую сушку для глинистых грунтов ведут в течение 2 ч, а для песчаных — в течение 1 ч. Гипсованные грунты высушиваются сначала в течение 8 ч, а затем в течение 2 ч. Разность между двумя взвешиваниями не должна превышать 0,02 г.

Стаканчик (бюкс) с высушенным грунтом охлаждают в эксикаторе с хлористым кальцием или прокаленным силикагелем и взвешивают. Для каждого образца производится два параллельных определения, расхождение между которыми не должно превышать 2 %.

Данные анализа заносятся в журнал (табл. 20).

Расчет весовой влажности (в %) производится по формуле

$$w = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} 100, \quad (13.1)$$

где m — масса бюксы, г; m_0 — масса высушенного образца, г; m_1 — масса влажного грунта, г.

Журнал определения влажности грунта

Лабораторный №	№ бюксы	Масса бюксы m , г	Масса влажного грунта m_1 , г	Масса сухого грунта m_2 , г	Естественная влажность ω , %

Расчет выполняется с точностью до 0,1 %. В случае расхождения результатов параллельных определений более чем на 10 % от массы определенной влажности число определений увеличивается до трех.

Вычисление абсолютной ее величины (в %) производится по формуле

$$\omega_r = \frac{m_2 - m_0}{m_0 - m} 100, \quad (13.2)$$

где m_2 — масса грунта в воздушно-сухом состоянии с бюксой, г. Остальные обозначения аналогичны приведенным в формуле (13.1).

Разность в параллельных определениях не должна быть более 0,1 %. Точность расчета по формуле (13.2) — 0,01 %.

Определение границ пластичности глинистых грунтов

Существует несколько методов определения границ пластичности глинистых грунтов — А. М. Васильева [6], В. Ф. Разоренова [35], А. Казагранде и др. В данной работе приводится определение границ пластичности по методу А. М. Васильева.

Определение границы текучести (верхнего предела пластичности) выполняется при помощи балансирного конуса массой 76 г, стаканчика и подставки (рис. 24). Образец объемом около 100 см³ растирают в фарфоровой чашке при естественной влажности, пропускают через сито с отверстиями 1 мм, предварительно отобрав растительные остатки, и увлажняют до состояния мягкопластичной грунтовой массы. Фарфоровую чашку с грунтовой массой помещают в закрытый стеклянный сосуд и выдерживают не менее 2 ч. После этого грунтовую массу перемешивают и наполняют ею стаканчик прибора. Поверхность тщательно сглаживают шпателем ровень с краями стаканчика. Стаканчик помещают на подставку и к поверхности грунта подносят острие балансирного конуса. Медленно разжимая пальцы, позволяют конусу свободно погружаться в грунтовую массу под действием собственного веса. Погружение конуса в грунтовую массу на глубину 10 мм (до метки) в течение 5 с указывает на достижение искомой границы текучести. В том случае, когда глубина погружения конуса не достигла 10 мм, необходимо доувлажнить грунтовое тесто. С этой целью грунтовую массу вынимают из стаканчика, добавляют воду, перемешивают и повторяют испытание. Погружение конуса на глу-

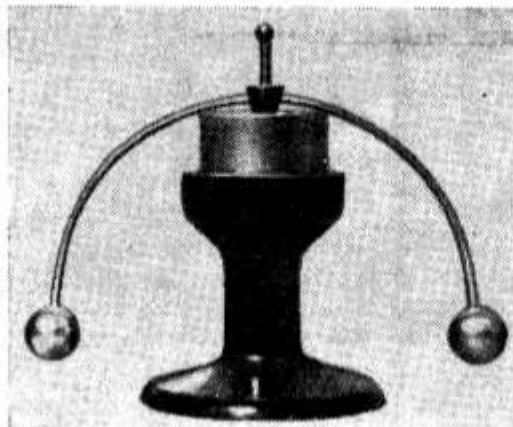


Рис. 24. Балансирный конус
Васильева (прибор КОИ-01)

бшну более 10 мм показывает, что влажность грунта превышает искомую и грунт следует подсушить. Для каждого образца производится по два параллельных определения. По достижении требуемых условий погружения конуса из стаканчика отбирают пробу для определения влажности по способу, изложенному выше.

Для определения границы пластичности (раскатывания) приготовленная грунтовая масса подсушивается путем частого перемешивания шпателем, после чего небольшая ее часть раскатывается в тонкий шнур длиной около 10 см и толщиной около 3 мм. Раскатывание производится до тех пор, пока жгут не начнет распадаться на кусочки длиной 3—10 мм по поперечным трещинам. Если грунт невозможно раскатать в шнур заданной длины и толщины, то он считается непластичным. Кусочки жгута помещают в алюминиевый стаканчик и кладут в сушильный шкаф для определения влажности. Расхождения в параллельных определениях не должны быть более 10 % определяемой величины влажности.

Определение максимальной молекулярной влагоемкости

Существует несколько методов определения максимальной молекулярной влагоемкости, наиболее распространенными являются метод влагоемких сред для глинистых грунтов и метод высоких колонн для песков.

Сущность метода влагоемких сред заключается в том, что избыток воды из грунта переходит в прижатые к грунту листы бумаги, впитывающие эту излишнюю влагу. Из просеянной через сито 0,5 мм воздушно-сухой пробы берут навеску грунта для подготовки грунтовой пасты аналогично изложенному выше при определении границы текучести грунтов.

На кусочек марли кладут металлический шаблон толщиной 2 мм с круглым отверстием диаметром 5 см. В полость шаблона помещают грунтовую пасту и заполняют вровень с его краями. После этого шаблон удаляют, и приготовленный столбик грунта

сверху прикрывают вторым кусочком марли и помещают между пакетами фильтровальной бумаги по 15 листов с каждой стороны. Несколько таких пакетов перекалывают металлическими пластинками, помещают под гидравлический пресс и обжимают при давлении 6,55 МПа в течение 15 мин. Давление обжатия сохраняется постоянным на всем отрезке указанного времени. По окончании прессования каждый образец быстро отделяют от фильтровальной бумаги, размывают и помещают в бюкс для определения влажности термостатно-весовым методом. Полученная таким образом влажность является величиной максимальной молекулярной влагоемкости.

Определение максимальной молекулярной влагоемкости песков методом высоких колонн выполняется с помощью специального прибора, состоящего из металлического или стеклянного цилиндра диаметром 3—4 см и высотой 90—100 см, в дно которого впаивают трубку с сеткой. Сбоку цилиндр имеет отверстия диаметром 1,5—2,0 см, расположенные на расстоянии 10 см друг от друга. Нижнее боковое отверстие находится на расстоянии 5 см от дна. Трубка наполняется испытуемым песком с легким трамбованием. Закрыв отверстия резиновыми пробками, грунт насыщают водой, подаваемой через нижнее отверстие по резиновому шлангу из напорного бака. Насыщение заканчивают после появления на поверхности песка небольшого слоя воды. После этого резиновая трубка снимается с нижнего отверстия, чтобы дать воде свободно вытечь из прибора.

Когда прекратится сток воды из каждого бокового отверстия, отбирается проба для определения влажности (см. выше). Постоянная влажность в верхней части прибора и будет равна максимальной молекулярной влагоемкости.

Определение размокания грунтов

Для определения размокания грунтов используется прибор ПРГ-1 (рис. 25). Перед началом опыта корпус прибора заполняется дистиллированной водой на 10 см ниже его верхних краев.

Стрелка прибора в это время должна занимать центральное нулевое положение. Из монолита вырезают кубик размером 30×30×30 мм или цилиндр диаметром 30 мм и высотой 30 мм. Одновременно отбирают пробу для определения естественной влажности. Отобранные два образца кладут на се-

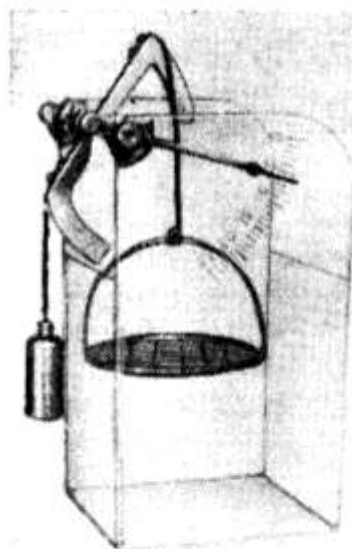


Рис. 25. Прибор ПРГ-1 для определения скорости размокания грунта

тку, которую плавно погружают в воду, и записывают первоначальный отсчет.

Наблюдение за скоростью размокания ведут через 1, 5, 10, 30, 60 мин и далее через 6, 24 и 48 ч.

Опыт прекращают после указанного промежутка времени или когда грунт полностью пройдет через сетку. Величина распада (в %) определяется по формуле

$$P = \frac{A - B}{A} 100, \quad (13.3)$$

где А — начальная числовая отметка шкалы; В — числовая отметка в процессе размокания за определенный отрезок времени.

Характер размокания грунтов оценивается следующим образом:

Время размокания образца	Характеристика размокания
Полностью за 1 мин	Мгновенное
Более 80—90 % объема за 30 мин	Очень быстрое
Более 50 % объема за 1 ч	Быстрое
Менее 50 % объема за 6 ч	Медленное
Менее 25 % объема за 24 ч	Очень медленное
Менее 10 % объема за 48 ч	Практически неразмокающий грунт

Определение набухания грунтов

Показателями набухания являются: величина свободного набухания, выражаемая в процентах от первоначального объема, влажность набухания, соответствующая прекращению поглощения воды грунтом, и давление набухания.

Величина свободного набухания и влажность набухания определяются в компрессионных приборах или в специальных приборах конструкций А. М. Васильева, Д. И. Знаменского, типа ПНГ и др. Давление набухания возможно определять в стандартных компрессионных приборах или в специально изготовленных целевых приборах. Определение набухания грунтов проводится на образцах естественного сложения и нарушенной структуры.

Рассмотрим определение набухания в приборе типа ПНГ. На предварительно очищенную поверхность монолита устанавливается предварительно взвешенное с точностью до 0,1 г кольцо с насадкой и плавно вдавливается в грунт до полного заполнения. После отделения кольца от монолита излишки грунта по торцам срезаются и кольцо с грунтом снова взвешивается. Покрыв кольцо с двух сторон фильтровальной бумагой, помещают его в прибор (рис. 26) и устанавливают индикатор в нулевое положение. Наполнив ванну прибора водой, снимают показания индикатора через 5, 30, 60 мин после подачи воды и далее через каждый час в течение

6 ч, на следующие сутки через 12 ч и далее через каждые 24 ч до окончания опыта. Опыт считается законченным, если показание индикатора в течение суток изменилось не более чем на 0,05 мм.

При определении набухания в компрессионных приборах опыт считается законченным, если показание индикатора изменится за 24 ч не более чем на 0,1 мм.

Влажность максимального набухания определяется обычным весовым способом.

Расчет величины свободного набухания производится по формуле

$$\delta_n = \frac{h_1 - h}{h}, \quad (13.4)$$

где h — первоначальная высота образца; h_1 — высота образца в конце опыта; определяется по показаниям индикатора.

Согласно ГОСТ 24143—80 свободное набухание определяется не менее чем на 6 образцах, отобранных из одного инженерно-геологического элемента.

Между величиной свободного набухания, определенной в приборах конструкции А. М. Васильева, Д. И. Знаменского или типа ПНГ и в компрессионных приборах, существует соотношение

$$\delta_{n, \text{компр}} \cong 0,6\delta_{n, \text{пнг}}. \quad (13.5)$$

Для определения набухания грунтов с нарушенной структурой поступают следующим образом. Грунт воздушно-сухого состояния измельчают и пропускают через сито с отверстиями 1 мм. Определив влажность воздушно-сухого грунта, доводят ее до проектируемой и оставляют грунт в гидраторе на одни сутки. Приготовленное таким образом грунтовое тесто помещают в кольцо прибора и проводят опыт способом, описанным выше. В некоторых случаях по данным испытания образцов с нарушенной структурой возможно рассчитать свободное набухание образцов естественного сложения по формуле

$$\delta_{n, \text{ненаруш}} \cong 0,4\delta_{n, \text{наруш}}. \quad (13.6)$$

По величине свободного набухания грунты подразделяются на несколько видов (табл. 21).

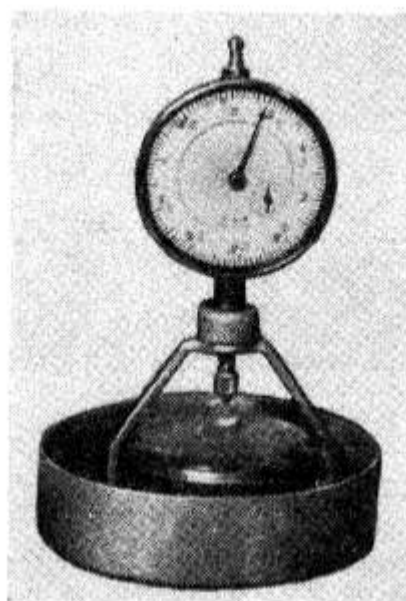


Рис. 26. Прибор ПНГ для определения свободного набухания грунта

Виды набухающих грунтов

Вид грунтов	Величина свободного относительного набухания	
	в компрессионных приборах	в приборах ПНГ
Ненабухающие	Менее 0,04	Менее 0,07
Слабонабухающие	0,04—0,08	0,07—0,13
Средненабухающие	0,08—0,12	0,13—0,20
Сильнонабухающие	0,12 и более	0,20 и более

Определение усадки грунтов

Усадкой грунта называется процесс уменьшения его объема в результате высыхания. При усадке грунта происходят удаление влаги, уплотнение частиц и перераспределение химических компонентов, что приводит к формированию определенных структурных связей.

Усадку можно характеризовать уменьшением линейных размеров или объема образца. В этом случае различают: линейную и объемную усадку:

$$L_y = \frac{(l_1 - l_2)}{l_1} 100, \quad (13.7)$$

$$V_y = \frac{(V_1 - V_2)}{V_1} 100, \quad (13.8)$$

где L_y — линейная усадка, %; V_y — объемная усадка, %; l_1 — длина образца до усадки, см; l_2 — длина образца после усадки, см; V_1 — объем образца до усадки, см³; V_2 — объем образца после усадки, см³.

Кроме указанных величин усадка характеризуется пределом, или влажностью, усадки, при которой не происходит дальнейшего уменьшения размеров и объема образца. Влажность усадки определяется по формуле

$$\omega_y = \frac{\omega_0 (V_1 - V_2)}{g} 100, \quad (13.9)$$

где ω_0 — начальная влажность образца; g — масса образца после усадки, г; остальные обозначения прежние.

Линейная усадка определяется на параллелепипеде $8 \times 4 \times 3$ см, а объемная — на кубике $3 \times 3 \times 3$ см. Обмер образцов до и после сушки производят штангенциркулем с точностью до 0,01 мм.

Для испытания образцов нарушенной структуры подготовка грунта осуществляется аналогично определению границы текучести. Грунтовая масса помещается в металлическую прямоугольную форму размером $5 \times 3 \times 2$ см и сушится на воздухе до отвердения. После этого образец извлекается из формочки и высушивается в сушильном шкафу до постоянной массы. Методом гидростатического взвешивания определяют объем высушенного образца и по формуле (12.5) вычисляют необходимые параметры (ГОСТ 24143—80).

Определение усадки глинистых грунтов при заданном давлении выполняют в компрессионных приборах. Для этого после определения набухания под заданным давлением грунт высушивается в течение 1—2 сут при комнатной температуре. Затем при помощи рефлекторов создается равномерная температура порядка $30—50^\circ\text{C}$. При этой температуре образец высушивается до постоянного объема. Все вычисления аналогичны приведенным выше.

Определение угла естественного откоса песков

Углом естественного откоса называется предельный угол свободного отсыпанного песка, при котором грунтовая масса находится в устойчивом состоянии. Как в сухом состоянии, так и под водой определяется он на приборах УО и УВТ.

Воздушно-сухой песок насыпается в стеклянный или пластмассовый вкладыш размером $60 \times 40 \times 30$ см (рис. 27). Засыпку песка производят небольшими порциями через воронку вровень с краями вкладыша. При помощи металлической линейки песок разравнивается и вкладыш ставится в ванну. Затем плавно, без толчков, вкладыш поворачивается на 45° . Песок из вкладыша высыпается в ванну, а оставшаяся часть будет находиться в состоянии устойчивого равновесия и образует с гранью вкладыша угол, равный углу естественного откоса.

При определении угла естественного откоса под водой после заполнения вкладыша и помещения его в ванну последняя наполняется водой до уровня, превышающего на 2—3 см уровень песка во вкладыше. Осторожно поворачивают вкладыш до упора в ограничитель и снимают отсчет по делениям на задней стенке вкладыша. Указанные операции проводят три раза. Учитывая, что прибор состоит из двух секций, для расчета берут среднее из шести определений.

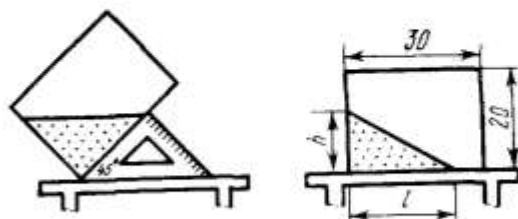


Рис. 27. Прибор УВТ для определения угла откоса песка

Определение коэффициента фильтрации песков

Коэффициент фильтрации представляет собой скорость фильтрации при напорном градиенте, равном единице.

Определение коэффициента фильтрации в лабораторных условиях производится с помощью различных приборов: Каменского, Маслова, Тима, Капецкого, Знаменского—Хаустова и др. Наиболее простыми являются трубка Г. Н. Каменского и трубка Спецгео конструкции Е. В. Симонова.

При определении коэффициента фильтрации песков в трубке Г. Н. Каменского последняя на подставке устанавливается в банке высотой 20—25 см и осторожно, небольшими порциями, заполняется песком до высоты 10 см. Песок слегка уплотняют деревянной трамбовкой и по мере наполнения трубки песком доливают воду небольшими порциями. После полного насыщения песка в банку доливают такое количество воды, чтобы она покрыла песок слоем 1—2 см.

После окончания загрузки трубку наполняют водой на 3—5 см выше отметки «0» и вынимают ее из банки. С этого момента начинается фильтрация воды через грунт и уровень воды в трубке будет постепенно снижаться. По секундомеру засекают время понижения уровня от 0 до 5 см.

После трехкратного производства опыта коэффициент фильтрации (в см/с) вычисляют по формуле

$$K_{\phi} = \frac{l}{t} f\left(\frac{s}{h_0}\right), \quad (13.10)$$

где l — длина пути фильтрации, см; t — время, в течение которого уровень опустился от черты «0» до 5 см, с; s — величина понижения уровня в трубке, равная 5 см; h_0 — расстояние от черты «0» до нижнего конца трубки.

Функция $f\left(\frac{s}{h_0}\right)$ имеет сложный характер. Для вычисления коэффициента фильтрации удобно пользоваться таблицей, составленной специально для расчета K_{ϕ} в трубке Каменского [47].

Так называемая трубка Спецгео состоит из полого стержня, загружаемого грунтом, и резервуара, заполняемого водой (рис. 28). Заполнение трубки грунтом производится так же, как и в приборе Каменского, лишь только сверху и снизу испытываемого грунта кладут бронзовую сетку. В специальный градуирован-

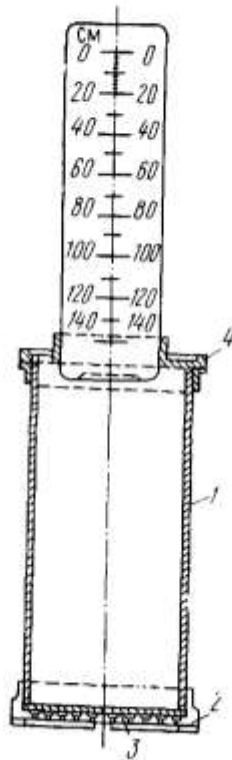


Рис. 28. Трубка Спецгео для определения коэффициента фильтрации песков. 1 — трубка; 2 — нижняя крышка с сеткой; 3 — сетка; 4 — верхняя крышка

ный цилиндр наливается вода. Зажав отверстие в цилиндре, его опрокидывают и укрепляют в верхней части прибора так, чтобы он соприкасался с породой.

В собранном таким образом приборе вода будет вытекать и поддерживаться на уровне 1—2 мм над верхней сеткой трубки. Этим достигается постоянство напорного градиента, который в течение всего опыта будет близким к единице. Профильтровавшуюся через трубку воду отводят. Коэффициент фильтрации (в см/с) рассчитывается по формуле

$$K_{\phi} = \frac{Q}{tF}, \quad (13.11)$$

где Q — количество профильтровавшейся воды, см³; F — площадь фильтрации, см²; t — время фильтрации, с.

Глава 14

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

В настоящей главе будут рассмотрены методы определения некоторых показателей деформируемости и сопротивляемости грунтов сдвигу в лабораторных условиях.

Методы определения реологических свойств изложены в специальной литературе [9].

Определение деформационных свойств грунтов

Существующие методы определения деформационных свойств грунтов можно разделить на динамические и статические.

Динамические методы применяются при испытании скальных и полускальных грунтов. При этом измеряются скорости распространения возбужденных в породе волновых колебаний и по ним вычисляются упругие характеристики грунтов. Наиболее полно вопрос применения динамических методов для изучения характеристик упругости освещен в книге Н. Д. Красникова [22].

Статические методы применимы для испытания деформационных свойств скальных, полускальных и нескальных (крупнообломочных, песчаных и глинистых) грунтов. К статическим относятся методы одноосного, трехосного и компрессионного сжатия, а также определение относительной просадочности грунтов.

Метод одноосного сжатия

Этот метод применяется при определении модуля общей деформации, модуля упругости и коэффициента поперечной деформации. Для этих целей используются обычные рычажные прессы, позволяющие испытывать породы с временным сопротивлением сжатию до 2 МПа, а также специальные испытательные машины,

такие, как универсальная испытательная машина УММ-5, развивающая вертикальные давления до 500 МПа. Методы испытаний и применяемое оборудование охарактеризованы в работе А. В. Щеглова [49].

Метод трехосного сжатия

Испытания в условиях трехосного напряженного состояния дают возможность определять модули общей деформации и упругости, коэффициенты компрессии, бокового распора, бокового расширения и фильтрации. Для проведения испытания применяют специальные приборы стабилометры, конструктивные особенности которых изложены в работе В. П. Сипидина и Н. Н. Сидорова [43].

Метод компрессионного сжатия

Под компрессионным сжатием (компрессией) понимают одноосное сжатие грунта в условиях невозможного бокового расширения (ГОСТ 23908—79). Компрессионные испытания грунтов в лабораторных условиях выполняются в компрессионных приборах различных моделей.

Это приборы МГРИ, МосГИДЭП (конструкции Лурье), Всесоюзного гидрологического треста (конструкции Знаменского), приборы Абелева, Гольдштейна, Медкова, Маслова, Цитовича, Лалтетина, приборы Гидропроекта в настольном и настенном исполнении и др.

В настоящее время наиболее широко применяется серийно изготавливаемый компрессионный прибор типа К-1М, принципиальная схема которого приведена на рис. 29.

Компрессионные исследования крупнообломочных грунтов выполняются на специальных приборах, наиболее распространенными из которых являются большие компрессионные приборы БО-660 и БО-1560 с диаметрами колец (одометров) соответственно 660 и 1560 мм. Высота кольца в приборе БО-660 может быть 200, 660 и 1320 мм, а в приборе БО-1560 она составляет 470 мм.

Давление на штамп передается ступенями по 0,5 или 1,0 МПа. За условную стабилизацию принимается деформация образца со скоростью менее 0,001 мм/мин.

До проведения испытания в компрессионном приборе необходимо знать основные характеристики грунта: плотность частиц грунта, плотность грунта при естественной влажности и ненарушенной структуре и естественную влажность. Доставленный в лабораторию монолит очищается от парафина и осторожно удаляется оказавшийся нарушенным подсохший верхний слой. На горизонтальную зачищенную поверхность монолита устанавливается режущая кромка кольца. По наружному периметру кольца производится обрезка грунта, и одновременно с обрезкой кольцо постепенно, легким движением вдавливаются в грунт. Кольцо вре-

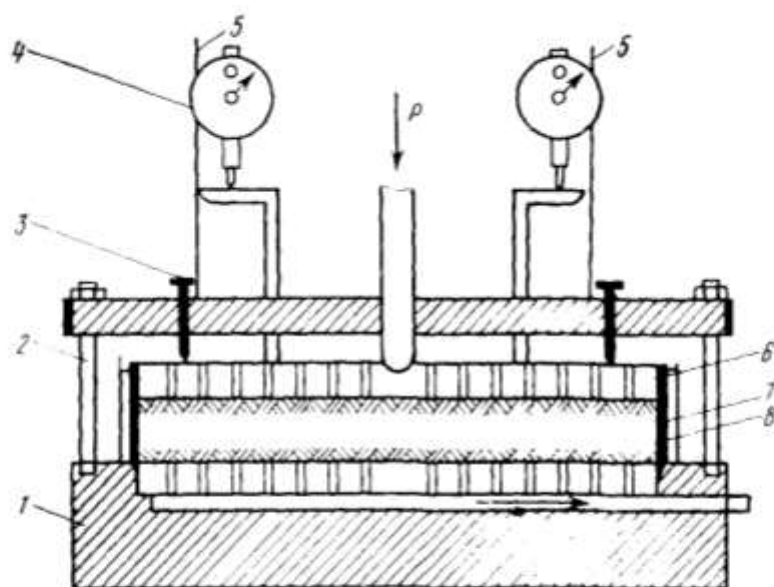


Рис. 29. Схема компрессионного прибора К-1М. 1 — корпус; 2 — стяжные болты; 3 — фиксаторы; 4 — мессуры; 5 — мессуродержатели; 6 — пористые фильтры; 7 — грунт; 8 — обойма

зается без перекосов строго вертикально во избежание нарушения структуры образца. Необходимо следить за тем, чтобы грунт в кольце не выкрашивался, не имел трещин и чтобы не было пустот между внутренней стенкой кольца и грунтом.

Кольцо врезается в грунт до тех пор, пока над верхним краем кольца не окажется 1—2 мм грунта. После этого кольцо с грунтом отделяется от монолита.

Широким ножом с прямым лезвием проводится срезка излишка грунта по плоскости вровень с краями кольца. После тщательной обработки обеих поверхностей приступают к загрузке прибора.

Каждая торцевая поверхность пробы покрывается листом фильтровальной бумаги, которая увлажняется для лучшего прилипания к образцу в случае, если грунт сухой. Кольцо с грунтом помещается в прибор для проведения испытания. Для лучшего прилегания металлического штампа к грунту прикладывается кратковременная нагрузка, величина которой подбирается соответственно состоянию грунта. Ориентировочно эта величина может быть принята следующей: а) для текучих грунтов — 0,01 МПа; б) для пластичных грунтов — 0,025 МПа; в) для твердых (плотных) грунтов — 0,05 МПа.

Длительность действия кратковременной нагрузки должна быть не более 1—1,5 мин. Отсчет по индикатору, установившийся сразу после приложения кратковременной нагрузки, является начальным отсчетом опыта.

Дальнейшая нагрузка на образец передается ступенями в такой последовательности:

- 1) для песчаных и глинистых грунтов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,3 и т. д. через 0,1 МПа до конца опыта;
- 2) для суглинистых грунтов: 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,30 МПа;
- 3) для торфо-иличных грунтов: 0,01; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1; 0,15 МПа.

Величину веса Q (в Н), который необходимо приложить на подвеску, рассчитывают по формуле

$$Q = \frac{PF}{n}, \quad (14.1)$$

где P — заданное давление, МПа; F — площадь кольца, см²; n — передаточное число системы рычагов.

После приложения первой ступени нагрузки производится наблюдение за деформацией грунта путем снятия показаний индикатора через следующие промежутки времени: 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 120; 180 мин, считая с момента начального отсчета. Дальнейшие замеры производятся 2 раза в сутки: в начале рабочего дня и в конце его.

Каждая ступень нагрузки выдерживается до наступления полной стабилизации осадки. Она определяется моментом установления постоянства показаний индикатора. Практически стабилизация считается достигнутой, если разность между отсчетами через 3 ч не превышает 0,01 мм. По достижении стабилизации к образцу прикладывается следующая ступень нагрузки.

Значения коэффициента пористости, соответствующие принятым ступеням нагрузки, определяют по формуле

$$e = \frac{\Delta h - d}{h_0}, \quad (14.2)$$

где Δh — деформация образца при данной ступени нагрузки, мм; d — поправочный коэффициент на тарировку прибора; h_0 — приведенная высота образца, рассчитываемая по формуле

$$h_0 = \frac{h}{1 + e_0}, \quad (14.3)$$

где e_0 — коэффициент пористости грунта в естественном состоянии; h — высота кольца прибора.

Окончательная формула для расчета коэффициента пористости будет иметь вид

$$e_i = \frac{\Delta h - d}{h} (1 + e_0) \quad (14.4)$$

(все обозначения прежние).

Определение поправочного коэффициента производится при тарировке прибора. Тарирование проводят аналогично компрессионным испытаниям с той разницей, что вместо грунта в прибор помещают стальную болванку. Наличие двух фильтров при тарировании обязательно. Загрузка прибора проводится ступенями до максимально возможной, обусловленной конструктивными осо-

бенностями прибора. На основании полученных данных строят тарировочную кривую, которая используется для введения поправочного коэффициента при компрессионных испытаниях. Рассчитав для каждой ступени нагрузки величину пористости с учетом поправочного коэффициента, строят кривую зависимости пористости от нагрузки, которая используется для расчета сжимаемости грунта и вычисления модуля общей деформации.

$$E_0 = \beta \frac{1 + e_1}{a}, \quad (14.5)$$

где E_0 — модуль общей деформации, МПа; e_1 — коэффициент пористости при нагрузке P_1 ; a — коэффициент сжимаемости в интервале нагрузки $P_2 - P_1$, Па⁻¹; β — переходный коэффициент, учитывающий отличие условий производства опыта без возможности бокового расширения от действительной работы грунта в естественных условиях, величина которого рассчитывается по коэффициенту поперечной деформации (коэффициент Пуассона)

$$\beta = 1 - \frac{2\mu^2}{1 + \mu}.$$

Значения μ принимаются равными: для крупнообломочных грунтов — 0,27; для песков и супесей — 0,30; для суглинков — 0,35 и для глин — 0,42.

Определение относительной просадочности грунтов

Просадочность лёссовых грунтов возникает в результате нарушения межагрегатных связей при взаимодействии с водой под действием вертикальной нагрузки. В зависимости от поставленных задач определение просадочности может проводиться по одному из следующих методов: одной кривой, двух кривых, упрощенному (ГОСТ 23161—78).

Определение просадочности по любому из указанных методов проводится только на монолитах, отобранных из шурфов с природным сложением и влажностью и сохранением пространственной ориентировки.

Метод одной кривой

Испытания просадочных грунтов данным методом проводятся в случае, когда известна нагрузка от сооружения, при определении просадки от собственного веса грунтовой толщи, при изучении послепросадочных деформаций в случае постоянного и длительного увлажнения грунта за счет ползучести его скелета и развития химической и механической суффозии.

Определение просадочности проводят в приборах с площадью кольца не менее 40 см² и высотой не менее 2 см. Прибор должен обеспечивать подачу воды к образцу снизу вверх и ее отвод, возможность приложения нагрузки ступенями по 0,025 МПа и измерение осадки с точностью до 0,01 мм. Загрузка прибора, осо-

бенности приложения ступеней вертикального давления и ход работы аналогичны испытанию непросадочного глинистого грунта в состоянии естественной влажности.

При достижении стабилизации осадки при заданном давлении в прибор подают воду снизу вверх и следят за показаниями индикатора. Отсчеты по индикатору снимаются через 5 мин в течение первого получаса, затем через 10 мин в течение второго получаса.

Во второй час наблюдений отсчеты снимаются через 30 мин и далее до конца рабочего дня через каждый час. Последующие отсчеты берутся через 3 ч до конца стабилизации осадки. За условную стабилизацию принимают приращение осадки не более 0,1 мм за 3 ч. В случае, когда изучаются послепросадочные деформации, наблюдения за осадкой ведутся в течение не менее 15 сут. За условную стабилизацию принимается приращение деформации не более 0,1 мм за 5 сут. При данных исследованиях отсчеты по индикатору снимаются в начале и в конце рабочего дня.

Величина относительной просадочности при заданном давлении рассчитывается по формуле

$$\delta_{\text{пр}i} = \frac{\Delta h_{\text{пр}} - d}{h_0}, \quad (14.6)$$

где $\Delta h_{\text{пр}}$ — дополнительная (от замачивания) деформация образца, равная $h - h_i$; h_0 — высота образца природной влажности при природном давлении; h — высота образца природной влажности после обжатия заданным давлением P_i ; h_i — высота образца природной влажности после обжатия заданным давлением P_i при замачивании; d — поправочный коэффициент на деформацию прибора при тарировании.

Вычисление относительной просадочности (рис. 30) можно проводить по формуле

$$\delta_{\text{пр}i} = \frac{e_p - e'_p}{1 + e_0}, \quad (14.7)$$

где e_p — коэффициент пористости при естественной влажности и заданном давлении P_i ; e'_p — коэффициент пористости после полного водонасыщения при давлении P_i ; e_0 — начальный коэффициент пористости.

Расчет коэффициента сжимаемости, модулей осадки и деформации производится по приведенным выше формулам.

Метод двух кривых

Сущность метода состоит в испытании двух идентичных образцов, отобранных из одного монолита. Расхождение в величине естественной влажности не должно быть более 2% и плотности сухого грунта 0,03 г/см³.

Один образец испытывается при естественной влажности, а второй в состоянии полного водонасыщения. Насыщение второго об-

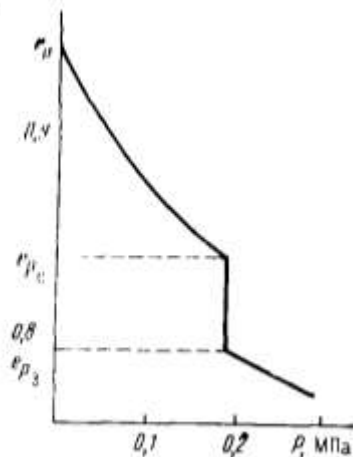


Рис. 30. Компрессионная кривая просадочного грунта, испытанного по методу одной кривой с замачиванием при $P = 0,2$ МПа

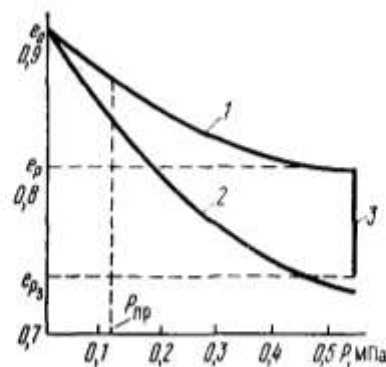


Рис. 31. Компрессионные кривые просадочного грунта, испытанного по методу «двух кривых». 1 — компрессионная кривая сухого грунта; 2 — компрессионная кривая мокрого грунта; 3 — осадка грунта при замачивании

разца проводится при давлении $0,025$ МПа в течение 12 ч, после этого проводятся испытания по описанной выше схеме.

По результатам испытаний строят компрессионные кривые $e = f(P)$ для образца с естественной влажностью и образца, насыщенного водой (рис. 31), на основании которых можно рассчитать величину относительной просадочности при любом давлении по формуле (14.7).

В практике лабораторных исследований для сопоставления величин относительной просадочности, полученной методами одной кривой и двух кривых, поступают следующим образом. После достижения стабилизации осадки образца, испытываемого при естественной влажности на конечной ступени нагрузки, проводят его замачивание и ведут наблюдения, как и по методу одной кривой.

Метод двух кривых помимо определения относительной просадочности позволяет рассчитать величину начального просадочного давления $P_{пр}$. Оно соответствует величине относительной просадочности (см. рис. 31).

Упрощенный метод

Данный метод является разновидностью метода двух кривых и позволяет определять просадочность грунтов при различных давлениях по результатам испытаний одного образца.

Образец грунта с природной влажностью помещается в прибор и испытывается аналогично «сухой» ветви метода двух кривых до определенного давления P_i с наблюдением за стабилизацией осадки. При достижении давления P_i образец замачивается и испытания ведутся аналогично «замоченной» кривой.

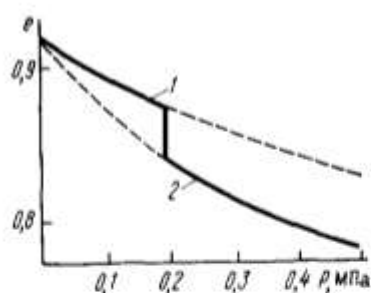


Рис. 32. Компрессионные кривые просадочного грунта, испытанного по упрощенному методу. 1 — «сухая» кривая; 2 — «мокрая» кривая

Деформация грунтов определяется экстраполяцией, для чего «сухая» кривая продолжается в сторону увеличения давления, а «мокрая» — в сторону его уменьшения (рис. 32). Просадочность грунта рассчитывается по разности ординат «сухой» и «мокрой» кривых.

Определение прочности грунтов

Сопротивление сдвигу, обусловленное внутренним трением и силами сцепления, является одним из показателей, определяющих прочность грунтов в основании сооружений, устойчивость различных природных склонов и искусственных выемок, а также устойчивость специальных сооружений, для которых грунты являются строительным материалом (плотины, насыпи, дамбы и др.).

Наиболее распространенными способами определения сопротивления грунта сдвигу в лабораторных условиях являются: 1) определение сопротивления сдвигу по фиксированной поверхности; 2) определение сопротивления сдвигу в условиях трехосного сжатия.

В данном пособии мы ограничимся рассмотрением определения сопротивления сдвигу по фиксированной поверхности. Определение сопротивления сдвигу в условиях трехосного сжатия детально рассмотрено в работе Е. Г. Чаповского [47].

Метод определения сопротивления сдвигу по фиксированной поверхности

Параметры сопротивления сдвигу φ и C , определенные по идентичным образцам, отобраным из одного монолита, могут быть различными в зависимости от методики лабораторных исследований. В этой связи выбирать схему проведения опыта необходимо, исходя из условий работы грунта в основании сооружений.

Существует много схем проведения опытных исследований по определению сопротивления сдвигу, которые условно можно объединить в четыре группы.

1. *Исследование нормально уплотненных образцов в условиях завершённой консолидации.* Отобранный грунт предварительно уплотняется в специальных приборах-уплотнителях при различных вертикальных нагрузках. При этих же уплотняющих нагруз-

ках определяется касательное напряжение путем приложения сдвигающих усилий. По данной схеме испытываются образцы ненарушенного и нарушенного сложения в состоянии естественной влажности или при полном водонасыщении.

2. *Исследование переуплотненных образцов в условиях завершённой консолидации.* В приборе предварительного уплотнения образцы уплотняются максимальной нагрузкой. Определение касательных напряжений для одного образца производят при максимальном давлении, а для последующих — при давлениях меньше максимального.

Данная схема испытаний, предложенная А. А. Нечипоровичем, применяется при исследовании грунтов нарушенного и ненарушенного сложения в гидротехническом и других видах строительства.

3. *Исследование недоуплотненных образцов.* Грунт предварительно не уплотняется в приборах. Определение сдвигающих усилий производится при различных нагрузках. Величины этих нагрузок могут быть ориентировочно приняты по рекомендациям П. А. Окольского, исходя из плотности грунта (табл. 22).

Таблица 22

Зависимость вертикальных нагрузок при срезе от плотности грунта

Давление при срезе P , МПа	Плотность грунта, г/см ³							
	1,31—1,40	1,41—1,50	1,51—1,60	1,61—1,70	1,71—1,80	1,81—1,90	1,91—2,0	2,01—2,10
P_1	0,010	0,015	0,025	0,050	0,050	0,050	0,100	0,100
P_2	0,015	0,025	0,050	0,075	0,075	0,100	0,150	0,200
P_3	0,025	0,050	0,075	0,100	0,100	0,150	0,200	0,300
P_4	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,200	0,250	0,400

Данная схема испытаний пользуется преимуществом при испытаниях слабых водонасыщенных грунтов.

4. *Исследование оптимально уплотненных образцов.* В приборах грунт предварительно уплотняется нагрузкой, равной сумме природной нагрузки и давления от сооружения. Определение сопротивления сдвигу производится при нагрузках, принимаемых по табл. 23.

Отличительной особенностью данной схемы, используемой при исследовании грунтов для мелиоративного, промышленного, гражданского и других видов строительства, является возможность моделировать работу системы «сооружение—грунт».

В зависимости от условий работы системы «сооружение—грунт» испытания по 3-й и 4-й схемам могут для полностью водонасыщенных образцов проводиться как с оттоком воды при опыте (дренированный сдвиг), так и без ее оттока (недренированный сдвиг).

Таблица 23

Зависимость вертикальных нагрузок при срезе от уплотняющих нагрузок

Давление при срезе P , МПа	Величина уплотняющего давления, МПа					
	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,500
P_1	0,050	0,150	0,100	0,150	0,100	0,100
P_2	0,075	0,100	0,150	0,200	0,200	0,300
P_3	0,100	0,250	0,200	0,250	0,300	0,500
P_4	0,125	0,200	0,250	0,300	0,400	0,700

По производительности опыта различают быстрый, ускоренный и медленный сдвиги (табл. 24).

Таблица 24

Зависимость продолжительности и скорости сдвига от вида грунта

Наименование грунта	Сдвиги		
	быстрый	ускоренный	медленный
Ил супесчаный	1—2	5—10	40 и более
	4—2	0,8—0,4	0,1 и медленнее
Ил суглинистый	1—3	7—15	60 и более
	4—1,3	0,57—0,27	0,07 и медленнее
Ил глинистый	1—4	10—15	80 и более
	4—1	0,4—0,27	0,05 и медленнее
Песок	1—2	5—10	80 и более
	4—2	0,8—0,4	0,13 и медленнее
Супесь	1—3	5—10	40 и более
	4—1,3	0,8—0,4	0,1 и медленнее
Суглинок	2—4	7—15	80 и более
	2—1,0	0,57—0,27	0,07 и медленнее
Глина	3—5	10—15	80 и более
	1,3—0,8	0,4—0,27	0,05 и медленнее

Примечание. В числителе указана продолжительность сдвига, мин; в знаменателе — скорость сдвига, мм/мин; меньшие значения характеризуют структурно слабые грунты.

1. *Быстрый сдвиг.* При быстром сдвиге приложение сдвигающих усилий производится непрерывно, не ожидая условной стабилизации горизонтальной деформации. Время от приложения первой ступени сдвигающего усилия до момента сдвига различно. По данным Гидропроекта оно не превышает 20—40 с, а по опыту работы Укринпроектхоза — 30—60 с.

Испытания по методу быстрого сдвига в производственных лабораториях выполняются преимущественно на приборах ВСВ-25.

2. *Ускоренный сдвиг.* При данной схеме испытаний сдвигающее усилие к образцу прилагается ступенями, до условной стабилизации деформации от каждой ступени. Время приложения сдвигающих усилий должно быть таким, чтобы сдвиг образца произошел за 5—15 мин.

3. *Медленный сдвиг.* Сдвигающее усилие прикладывается ступенями после прекращения деформации, вызванной предыдущей ступенью данного усилия.

Согласно ГОСТ 12248—78 определение сопротивления сдвигу производят консолидированным и неконсолидированным методами, т. е. в условиях завершенной и незавершенной консолидации. Рассмотрим случай проведения этих испытаний в условиях завершенной консолидации. Для этого из очищенного от парафина монолита отбираются четыре образца путем вреза в специальные кольца. С торцов каждого кольца отбираются пробы для определения влажности. Грунт в кольце зачищается вровень с торцами и взвешивается на технических весах с точностью до 0,01 г.

Кольца с грунтом переносятся в обойму уплотнителя, которая вместе с перфорированным штампом помещается в ванну уплотнителя для водонасыщения и последующего уплотнения. Насыщение образца водой производится для песчаных грунтов в течение не менее чем 10 мин, для супесей — в течение 3 ч, для суглинков с числом пластичности менее 12 — в течение 6 ч, для суглинков с числом пластичности более 12 и глин с числом пластичности менее 22 — в течение 12 ч. Время насыщения образцов глин с числом пластичности более 22 составляет 36 ч.

Величина уплотняющей нагрузки на подвеске прибора рассчитывается по формуле (14.1).

Ступени вертикальных давлений при уплотнении грунта указаны в табл. 25.

Каждая ступень давления выдерживается не менее чем по 5 мин для песчаных и по 30 мин для глинистых грунтов. Конечная ступень выдерживается до стабилизации деформации сжатия образца. За условную стабилизацию сжатия принимается ее приращение, не превышающее 0,01 мм для песчаных грунтов 20 мин, для непросадочных супесей — 2 ч, для суглинков с числом пластичности менее 12 — 6 ч, для суглинков с числом пластичности более 12 и для глин — 12 ч, а для осадочных грунтов — 3 ч.

После переноса грунта из уплотнителя в срезной прибор на грунт передается давление, при котором происходило уплотнение образца в один прием, оно выдерживается для песчаных грунтов не менее 5 мин, для супесей — 15 мин и для суглинков и глин — 30 мин.

По истечении указанного времени начинают передавать сдвигающее усилие ступенями, величина которых принимается равной 5 % уплотняющей нагрузки. При непрерывно возрастающей на-

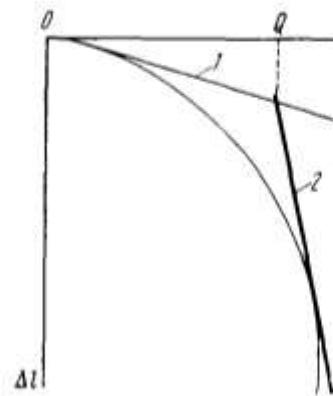


Рис. 33. График деформации грунта под влиянием сдвигающего усилия. 1 — начальная деформация; 2 — максимальная деформация. Δl — деформация; Q — вес на рычаге

грузке скорость сдвига должна быть равной 0,01 мм/мин.

Испытание считается законченным, когда верхняя каретка

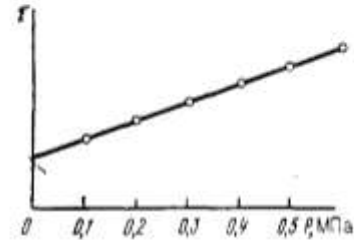


Рис. 34. График зависимости сдвигающего усилия τ от вертикального давления P

Таблица 25

Ступени вертикальных давлений при уплотнении грунта

Вид и состояние грунта	Нормальные давления P при предварительном уплотнении, МПа	Ступени давления P , МПа
Пески средней крупности, плотные Глины с показателем консистенции $I_L \leq 0$	0,1; 0,3; 0,5	0,1
Пески средней крупности и средней плотности; Пески мелкие, плотные и средней плотности Супеси и суглинки с $I_L \leq 0,5$;	0,1; 0,2; 0,3	0,5
Глины с $0 \leq I_L \leq 0,5$ Пески средней крупности и мелкие, рыхлые; Пески пылеватые, независимо от плотности Супеси, суглинки и глины с $I_L > 0,5$	0,1; 0,15; 0,2	0,025 (до $P = 0,1$, далее 0,05)

прибора переместится относительно нижней на 5 мм или когда приложение очередной ступени нагрузки вызывает незатухающую деформацию. В конце каждого испытания в кольце определяются плотность грунта и его влажность.

Сдвигающее напряжение вычисляется по формуле

$$\tau = \frac{Q}{F}, \quad (14.8)$$

где τ — сдвигающее напряжение, МПа; Q — вес на рычаге, Н; F — площадь среза, см².

На основании экспериментальных данных строится график зависимости горизонтальных деформаций от сдвигающего усилия (рис. 33), который служит основой для выбора момента сдвига. Момент сдвига определяется в месте пересечения касательных, проведенных в точках, соответствующих начальной деформации и максимального ее значения, после которого развиваются незагружающие деформации. Сдвигающее усилие, соответствующее данному моменту сдвига, принимается за исходное при построении графика зависимости горизонтальных напряжений от вертикальной нагрузки (рис. 34).

Параметры сопротивления сдвигу — угол внутреннего трения и удельное сцепление — рассчитываются по формулам (5.8) и (5.10).

Глава 15

МЕТОДЫ ПОЛЕВЫХ ОПЫТНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые опытные инженерно-геологические исследования выполняются для решения производственных и научных вопросов, возникающих на завершающих стадиях инженерно-геологических изысканий.

При оценке строительных свойств грунтов в течение значительного времени используются данные, полученные при лабораторных испытаниях. Однако достоверность показателей их физико-механических свойств, определенных в лабораторных условиях, зависит от способов проходки разведочных выработок, отбора, хранения и транспортировки проб, подготовки их к анализу и т. д. Кроме того, лабораторные испытания, выполняемые на образцах малого объема, не позволяют с достаточной степенью достоверности оценить величину сопротивления сдвигу и сжимаемости толщ неоднородных слоистых грунтов, а также грунтов, содержащих включения обломочного материала. В таких же грунтах, как пески, илы или глинистые грунты текучей или текучепластичной консистенции, вообще практически невозможно отобрать пробы ненарушенной структуры. Поэтому выполняемые в общем комплексе инженерно-геологических изысканий полевые методы исследований грунтов обладают определенными преимуществами, т. е. позволяют определить значения показателей физико-технических свойств грунтов в условиях их естественного залегания. При полевых исследованиях в большей степени, чем при лабораторных, моделируется работа грунта в основании сооружений, так как в исследование вовлекается объем грунтовой толщи, значительно превышающий объем грунта, испытываемого в лабораториях.

Согласно СНиП II—9—78, полевые исследования грунтов, выполняемые в сочетании с проходкой горных выработок и производством лабораторных исследований, следует проводить в соответствии с рекомендациями, изложенными в табл. 26.

Виды полевых исследований грунтов при инженерно-геологических исследованиях

Вид исследования	Глубина исследования, м	Получаемая характеристика	Условия применения, документация	
Статическое зондирование	До 20	Неоднородность состава и состояния грунтов	Песчаные и глинистые грунты. ГОСТ 20069—74 и СН 448—72	
Динамическое зондирование	До 20		Песчаные и глинистые грунты. ГОСТ 19912—74 и СН 448—72	
Ударно-вибрационное зондирование	До 20		Песчаные и глинистые грунты с крупнообломочным материалом до 40 %	
Пенетрационно-каротажные исследования	До 30		Песчаные и глинистые грунты с крупнообломочным материалом до 25 %	
Искиметрия	Обнаженная поверхность		Песчаные и глинистые грунты	
Микропенетрация	То же		То же	
Испытания статическими нагрузками	До 20		Деформационные свойства грунтов	Крупнообломочные, песчаные и глинистые грунты. ГОСТ 12374—77
Испытания прессиометрами	До 20			Песчаные и глинистые грунты. ГОСТ 20276—74
Статическое зондирование	До 20			Песчаные и глинистые грунты. ГОСТ 20069—74
Динамическое зондирование	До 20			Песчаные и глинистые грунты. ГОСТ 19912—74
Опытное замачивание грунтов в котлованах	В соответствии с программой	Набухающие и просадочные грунты		
Сдвиги цилиндров грунта	То же	Прочностные свойства грунтов		Грунты всех видов, кроме водонасыщенных песчаных и глинистых текучей консистенции
Выпирание призм грунта	„			Крупнообломочные, песчаные и глинистые грунты твердой и полутвердой консистенции
Обрушение призм грунта	„			То же
Вращательный срез	„			Глинистые, заторфованные грунты, торф, илы. ГОСТ 21718—76
Статическое зондирование	До 20			Песчаные и глинистые грунты. ГОСТ 20069—74, СН 448—72
Динамическое зондирование	До 20		Песчаные и глинистые грунты. ГОСТ 19912—74, СН 448—72	

При проведении полевых исследований в зонах развития многолетнемерзлых грунтов необходимо следить за сохранением естественного температурного режима, влажности и льдистости.

Следует иметь в виду, что полевые методы исследования, давая возможность определять свойства грунтов в условиях естественного залегания, все же не позволяют прогнозировать их поведение при эксплуатации сооружения в случае неизбежных изменений естественной среды. Поэтому необходимо комплексное сочетание полевых и лабораторных исследований.

Глава 16

МЕТОДЫ ПОЛЕВОГО ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ СТАТИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ

Полевые определения деформационных свойств грунтов в условиях их естественного залегания выполняются при инженерно-геологических изысканиях в местах размещения наиболее ответственных сооружений. Каждое сооружение, оказывая уплотняющее воздействие на грунт, приводит к изменению его напряженного состояния.

Различают три стадии поведения грунта под нагрузкой (см. рис. 4). На первой стадии происходят уплотнение грунта и уменьшение его пористости за счет сближения частиц. На графике $S = f(P)$ первую стадию характеризует участок 1. Здесь наблюдается прямолинейная (или близкая к ней) зависимость осадки сооружения (или штампа) от нагрузки.

На второй стадии происходят дальнейшее уплотнение грунта и перемещение (сдвиг) частиц. Этот участок показывает, что характер зависимости $S = f(P)$ меняется. Меньшему росту нагрузок соответствует большее приращение деформации.

На третьей стадии грунт в основании сооружения (штампа) разрушается. Деформация растет при небольших приращениях уплотняющих нагрузок.

При расчете осадки сооружений в большинстве случаев используется прямолинейная зависимость $S = f(P)$, на основе которой определяют модуль деформации грунтов.

В зависимости от геологического строения, гидрогеологических условий, а также состава и состояния грунтов испытания ведутся в шурфах или скважинах с использованием специальных штампов.

Ниже приводится несколько измененная таблица ГОСТ 12374—77 для выбора площади штампа в зависимости от наименования, вида и состояния грунта (табл. 27).

В практике изысканий применяются различные виды установок для испытания грунтов статическими нагрузками. Некоторые данные об их конструктивных особенностях помещены в работе М. А. Солодухина [49].

Таблица 27

Выбор площади штампа в зависимости от вида и состояния грунта

Вид и состояние грунтов	Глубина испытания, м	Площадь штампа, см ²	Место проведения испытания
Песчаные — пески плотные и средней плотности	До 6	2 500	В котлованах, шурфах и дудках **
Глинистые — глины и суглинки с показателем консистенции $I_L \leq 0,25$	.	1 000 *	То же
Супеси при $I_L < 0$	.	1 000	..
Крупнообломочные	.	5 000	..
Песчаные — пески рыхлые	.	5 000	..
Глинистые — глины и суглинки с показателем консистенции $0,25 < I_L < 1$	.	1 000 *	..
Супеси при показателе консистенции $0 < I_L \leq 1$	.	1 000	..
Песчаные и глинистые с примесью органических веществ	.	5 000	..
Глинистые с показателем консистенции $I_L > 1$	.	10 000	..
Просадочные (при испытаниях с замачиванием)	До 15	5 000	..
Песчаные; глинистые — глины и суглинки с показателем консистенции $I_L \leq 0,25$, супеси при $I_L < 0$	До 6	5 000	.
Глинистые — глины и суглинки с показателем консистенции $I_L > 0,25$, супеси при $I_L > 0$; песчаные и глинистые с примесью органических веществ	До 20	600	В скважинах **

* Штамп площадью 1000 см² следует применять с кольцевой пригрузкой грунта по площади, дополняющей площадь штампа до 5000 см². Пригрузка должна быть равна природному давлению на грунт на отметке подошвы штампа.

** Минимальные размеры шурфа в плане 1,5×1,5 м, дудки — 0,9 м, скважины — 325 мм.

Испытания грунтов пробной нагрузкой в шурфах

Испытания грунтов пробной нагрузкой в шурфах выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ 12374—77 «Грунты. Метод полевого испытания статическими нагрузками на глубинах до 15 м на уровне или выше уровня грунтовых вод».

Нагружение штампов осуществляется гидравлическими или механическими домкратами, системой натяжных блоков и режеспециально подготовленными грузами, размещаемыми на платформах. Осадка штампа замеряется струнными прогибомерами или иными приборами, позволяющими измерять осадку с точностью до 0,1 мм. Принципиальная схема установки для проведения испытания грунтов в шурфах изображена на рис. 35 [48]. Методика производства опытных работ детально изложена в Ин-

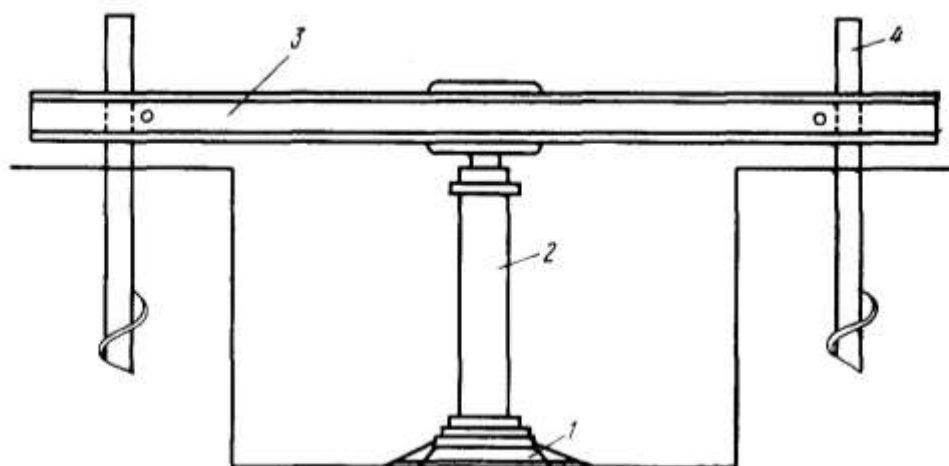


Рис. 35. Схема установки для испытания грунтов пробной нагрузкой в шурфах. 1 — штамп; 2 — домкрат; 3 — упорная балка; 4 — винтовые анкеры

струкции по испытанию грунтов статическими нагрузками (РСН 34—70).

При испытаниях грунтов в шурфах и дудках выработка не доводится до отметки установки штампа на 0,3 м. Из стенок ее берутся пробы для определения состава и состояния грунта, а на отметке испытуемого слоя отбирается монолит вне контура штампа для определения деформируемости грунтов в лабораторных условиях. Оставленный в месте установки штампа слой грунта снимается. На тщательно подготовленную поверхность устанавливают штамп и путем нескольких поворотов «притирают» его к грунту. В случае затруднения качественной планировки поверхности устраивается подушка из мелко- или среднезернистого песка толщиной 1—5 см.

При испытании просадочных грунтов толщина песчаной подушки для обеспечения дренирования воды в грунт составляет 2—3 см.

Опыт начинают путем плавного приложения вертикального давления на штамп, доводя его до природного. Каждая ступень нагрузки, величина которой изменяется в зависимости от вида грунта и его состояния, выдерживается определенное время. В табл. 28 и 29 приведены время условной стабилизации после приложения ступеней нагрузки, абсолютная их величина, а также периодичность наблюдения после приложения каждой ступени нагрузки.

При коэффициенте пористости, большем 1,1, время условной стабилизации необходимо увеличивать на 1 ч.

Для просадочных грунтов в условиях естественной влажности величина ступени давления принимается не более 0,05 МПа и время условной стабилизации не менее 1 ч.

Замачивание просадочных грунтов производится после достижения заданного давления и продолжается далее до стабилиза-

Таблица 28

Выбор времени условной стабилизации в зависимости от вида и состояния несвязных грунтов

Вид грунтов	Степень влажности G	Величина степени давления в грунтах, МПа			Время условной стабилизации, ч
		плотных	средней плотности	рыхлых	
Крупнообломочные	≤ 1	—	0,10	—	0,5
Песчаные (пески)					
крупные	$\leq 1,0$	0,100	0,050	0,025	0,05
средней крупности	$\leq 0,5$	0,100	0,050	0,025	0,5
мелкие	0,5—1,0	0,100	0,050	0,025	1,0
пылеватые	$\leq 0,5$	0,050	0,250	0,010	1,0
"	0,5—1,0	0,050	0,025	0,010	2,0

Таблица 29

Выбор времени условной стабилизации в зависимости от состояния глинистых грунтов

Показатель консистенции глинистых грунтов, I_L	Величина степени давления P (в МПа) при коэффициенте пористости				Время условной стабилизации, ч
	0,5	0,5—0,8	0,8—1,10	>1,10	
$\leq 0,25$	0,100	0,100	0,050	0,050	1
0,25—0,75	0,100	0,050	0,050	0,025	2
0,75—1,0	0,050	0,025	0,025	0,010	2
> 1,0	0,050	0,025	0,010	0,010	3

ции осадки при поступлении количества воды, рассчитываемого по формуле

$$Q = \frac{\rho_d}{\rho_w} (\omega_{п.в} - \omega) V_a, \quad (16.1)$$

где ρ_d — плотность сухого грунта, г/см³; ρ_w — плотность воды, г/см³; $\omega_{п.в}$ — влажность грунта при практически полном водонасыщении (степень влажности не менее 0,8) в доли единицы; V_a — объем замачиваемого грунта, равный произведению площади шурфа (или замачиваемого участка котлована) на глубину замачивания (не менее двух диаметров штампа) и на коэффициент 1,2, учитывающий растекание воды в сторону, м³; ω — естественная влажность грунта, доли единицы.

После приложения очередной степени давления снятие отсчетов по регистрирующему устройству производится: для крупнообломочных и песчаных в первый и второй часы наблюдения через

каждые 10 мин и далее через 1 ч до достижения условной стабилизации; для глинистых (в том числе просадочных) — через каждые 15 мин в течение первого часа, в течение второго часа через 30 мин и далее через каждый час до условной стабилизации. Общее количество ступеней давления должно быть не менее четырех, обычно оно изменяется от 4 до 7.

Разгружают штамп также ступенями, но вдвое быстрее по сравнению с нагрузкой. Каждая ступень после разгрузки выдерживается по 30 мин для глинистых грунтов и 15 мин — для песчаных. Окончательный отсчет после разгрузки берется через 2 ч для глинистых грунтов и через 1 ч — для песчаных.

По данным опыта для каждой ступени давления строится график зависимости осадки штампа от давления.

Значение модуля деформации определяется по формуле

$$E = \frac{(1 - \mu^2) \omega d \Delta P}{\Delta S}, \quad (16.2)$$

где ΔP — приращение давления на штамп $P_1 - P_0$, МПа; ΔS — приращение осадки штампа, соответствующее приращению давления, см; μ — коэффициент Пуассона, принимаемый равным 0,27 для крупнообломочных грунтов, 0,30 — для песков и супесей, 0,35 — для суглинков, 0,42 — для глин; ω — коэффициент, принимаемый равным 0,79; d — диаметр круглого штампа, см.

Как видно из обозначений, для каждого вида грунта при использовании штампа данного размера величина $(1 - \mu^2) \omega d$ является постоянной, поэтому для упрощения расчетов в формулу целесообразно ввести коэффициент $K = (1 - \mu^2) \omega d$, значения которого можно брать из табл. 30.

Таблица 30

Значения коэффициента K в зависимости от вида грунта и площади штампа

Вид грунта	μ	Коэффициент K при площади штампа			
		600 см ²	1000 см ²	2500 см ²	5000 см ²
Крупнообломочный	0,27	20,5	26,4	41,6	59,2
Пески и супеси	0,30	20,2	25,9	40,9	58,1
Суглинки	0,35	19,4	25,0	39,5	56,0
Глины	0,42	18,3	23,5	37,0	52,6

Испытания грунтов пробной нагрузкой в скважинах

При испытании грунтов статическими нагрузками в скважинах применяются специальные установки, созданные в подразделениях Центрального треста по инженерно-строительным изысканиям (ЦТИСИЗ), а также ряда других организаций (ПНИИИС, НИИОСП), позволяющие производить опыты на глубинах до 20 м.

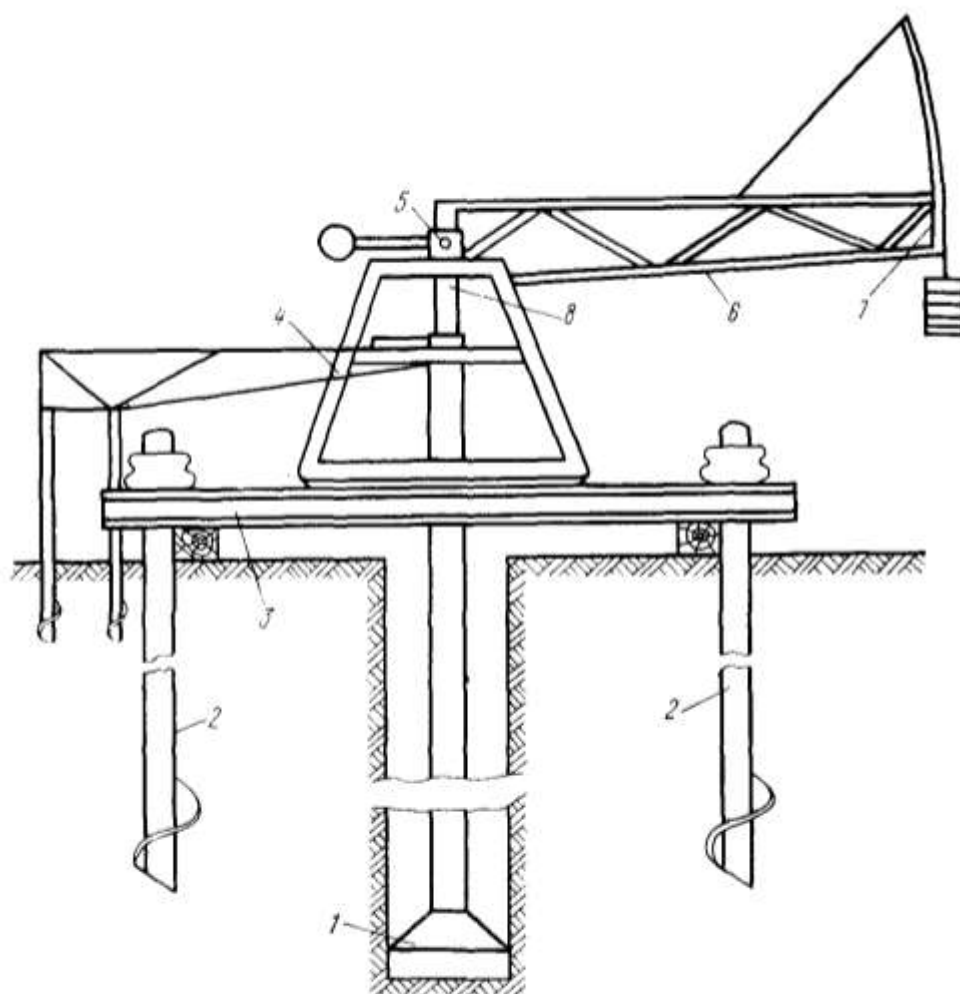


Рис. 36. Канатно-рычажная установка КРУ-600. 1 — штамп; 2 — анкерные сваи; 3 — опорные балки; 4 — рама; 5 — ось рычага; 6 — загрузочный рычаг; 7 — грузовой сегмент; 8 — штанга

Наиболее проста в работе установка КРУ-600 конструкции УралТИСИЗа (рис. 36). Усилие на штамп 1 передается через штангу 8 при помощи загрузочного рычага 6 с грузовым сегментом 7. Рычаг свободно вращается на оси 5, закрепленной на раме 4. Рама крепится на опорных балках 3, связанных с анкерными сваями 2.

Для производства опытов бурится скважина диаметром 325 мм, верхняя часть которой обсаживается трубами, а оголовок цементируется. Скважина не доводится до испытываемого слоя на 10—20 см и подготавливается к опыту. Подготовка заключается в тщательной очистке забоя специальным накопечником — зачистителем. На очищенный и выровненный забой опускается круглый штамп площадью 600 см². Закрепленная анкерными сваями установка монтируется над штампом. На рычаг подвешивается

груз для создания требуемого давления. Регистрация осадки осуществляется специальным самописцем с часовым механизмом.

Техническая характеристика КРУ-600

Максимальная нагрузка на штамп, Н	5000
Соотношение плеч рычажной установки	1 : 30
Площадь штампа, см ²	600
Масса груза, кг	170
Габаритные размеры, м:	
высота	1,2
ширина	1,4
длина	3,0—4,0
Масса установки без груза и анкеров, кг	90
Общая масса, кг	474

Расчет модуля деформации ведется по вышеприведенной формуле с вводом поправки на обжатие штанги

$$\Delta = \frac{lP \cdot 30}{FE}, \quad (16.3)$$

где l — длина штанги, передающей усилие на штамп, см; P — нагрузка на рычаге, Н; F — площадь поперечного сечения штанги, см²; E — модуль упругости материала штанги, МПа.

Испытания прессиометрами в скважинах (прессиометрия)

Этот вид испытания на сжатие применяется для определения модуля общей деформации грунтов в скважинах на глубине до 20 м от поверхности земли. Испытания не распространяются на скальные, крупнообломочные, а также просадочные и набухающие грунты в случае их замачивания при производстве опыта (ГОСТ 20276—74). Сравнительно с пробными нагружениями грунтов в шурфах этот метод более прост, так как не требует выполнения больших объемов земляных работ.

Сущность метода заключается в обжатии грунта в скважине с измерением давления обжатия и соответствующих этому давлению деформаций.

В настоящее время используется несколько конструкций прессиометров, которые можно объединить в два типа — гидравлические и пневматические.

Действие прессиометра основано на радикальном расширении эластичного баллона, помещенного в скважину и оказывающего давление на ее стенки с помощью жидкости или газа, подаваемых извне. Замеряя величину радиального перемещения породы

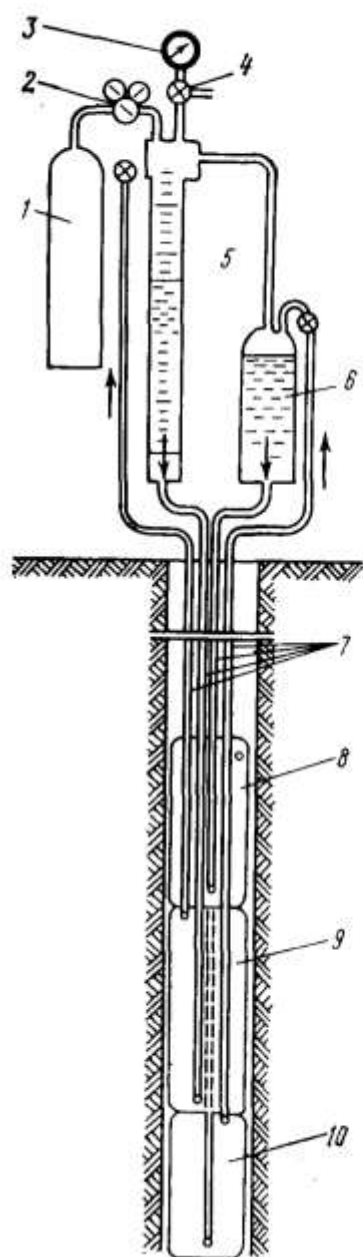


Рис. 37. Схема прессиометра. 1 — газовый баллон; 2 — редуктор; 3 — манометр; 4 — кран-тройник; 5 — измерительный цилиндр; 6 — бак; 7 — штанга; 8, 10 — вспомогательные камеры; 9 — рабочая камера

в стенках скважины и величину давления, определяют модуль деформации грунта. На рис. 37 помещена принципиальная схема прессиометра.

Прессиометр состоит из зонда, опускаемого в скважину, устройства для создания и измерения давления в камерах зонда, а также устройства для радиальных перемещений оболочки камеры зонда. Длина каждой камеры зонда должна быть не менее четырех ее внешних диаметров. Диаметр зонда может изменяться от 76 до 127 мм. При бурении скважин обеспечивается максимальное сохранение природного сложения грунтов. Поэтому запрещается применение ударно-канатного и шнекового способов бурения за 1 м до испытываемого интервала.

В скважину на необходимую глубину опускается зонд, состоящий из трех камер с эластичными стенками. Верхняя 8 и нижняя 10 — вспомогательные камеры. Средняя 9 камера — рабочая. Сообщающиеся между собой бакоч и измерительный цилиндр соединены через редуктор 2 с газовым баллоном 1 для создания давления.

Измерение радиальных перемещений осуществляется путем измерения объема жидкости или непосредственного замера радиуса камеры зонда дистанционными датчиками. Поэтому конструкции прессиометров могут быть различными. Наибольшее распространение в настоящее время получили прессиометры конструкции Фундаментпроекта и разработанные Уральским политехническим институтом совместно с Уральским трестом инженерно-строительных изысканий прессиометры П-89 и П-89-Э.

Измерение радиальных перемещений стенок скважины производится с точностью до 0,1 мм, а передаваемого на стенки давления — с точностью до 0,01 МПа. Давление передается ступенями согласно табл. 31.

Каждая ступень давления выдерживается до условной стабилизации. За условную стабилизацию деформации принимают при-

Таблица 31

Зависимость давлений от вида и состояния грунта

Вид грунта	Состояние грунта	Степень давления, МПа
Песчаный	Плотный	0,1
"	Средней плотности	0,05
"	Рыхлый	0,025
Глинистые	С консистенцией $I_L \leq 0,5$	0,05
"	С консистенцией $I_L > 0,5$	0,025

ращение радиуса скважины, не превышающее 0,1 мм, за время, указанное в табл. 32.

Таблица 32

Зависимость времени условной стабилизации и режима испытаний от вида и состояния грунтов

Вид грунтов	Состояние грунтов	Режим испытаний	Время условной стабилизации деформации, мин
Песчаные	Неводонасыщенные	Медленный	15
"	Водонасыщенные	"	30
Глинистые	С консистенцией $I_L \leq 0,25$	"	30
"	С консистенцией $I_L > 0,25$	"	60
Песчаные	При любой водонасыщенности	Быстрый	3
Глинистые	То же	"	6

Испытания грунтов по быстрому режиму производят только в случае ранее выполненных сопоставительных параллельных испытаний при быстром и медленном режимах.

Отчеты по измерению перемещений для каждой степени давления выполняются, как указано в табл. 33.

Число ступеней приложения давления должно быть не менее 6. Последняя ступень должна быть на 25 % меньше предыдущей, при которой был получен резкий скачок в приросте деформаций.

Величину модуля деформации для линейного участка графика, помещенного на рис. 38, вычисляют по формуле

$$E = Kr_0 \frac{\Delta P}{\Delta r}, \quad (16.4)$$

где r_0 — начальный радиус скважины, соответствующий значениям P_n и Δr_n на графике испытания, мм (см. рис. 38); ΔP — приращение величины давления на стенку скважины между двумя точками, взятыми на усредненной прямой, МПа; Δr — приращение перемещения стенки скважины по радиусу, соответствующее ΔP , мм; K — корректирующий коэффициент.

Периодичность измерений радиальных перемещений в грунтах при различных режимах испытаний

Вид грунтов	Режим испытания	
	медленный	быстрый
Песчаные	Через каждые 5 мин в течение первых 15 мин, далее через 15 мин до условной стабилизации деформации (см. табл. 32)	Через каждую минуту в течение первых 3 мин, далее через 3 мин до условной стабилизации деформации (см. табл. 32)
Глинистые	Через каждые 10 мин в течение первых 30 мин, далее через 30 мин до условной стабилизации деформации (см. табл. 32)	Через каждые 2 мин в течение первых 6 мин, далее через каждые 6 мин до условной стабилизации деформации (см. табл. 32)

Абсолютная величина корректирующего коэффициента определяется по результатам сопоставленных параллельных испытаний грунта штампом согласно ГОСТ 12374—77 и прессиомером.

Для глинистых элювиальных грунтов допускается уменьшение коэффициентов K на 20 % для всех глубин испытаний.

При вычислении модуля деформации E необходимо учитывать систематические погрешности в определении ΔP и Δr , вызванные деформациями гидросистемы и эластичной оболочки камеры зонда. Эти погрешности определяются по результатам тарировочных испытаний. Начальные значения P_{II} и Δr_{II} соответствуют моменту полного обжатия неровностей стенок скважины. За конечные значения P и Δr (предел пропорциональности) принимают значения P и Δr , соответствующие последней точке на линейном участке графика.

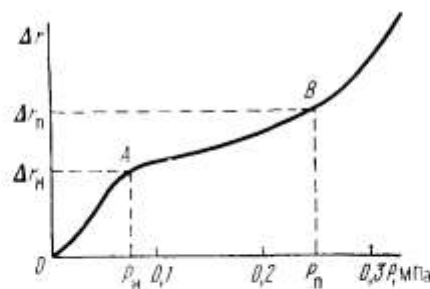


Рис. 38. График испытания грунта прессиомером

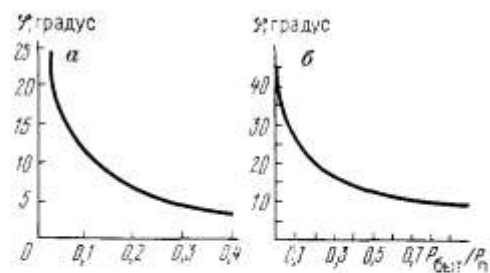


Рис. 39. Номограмма для определения угла внутреннего трения методом прессиометрии при глубине испытания более 5 м (а) и менее 5 м (б)

По результатам прессиометрических испытаний возможно определить параметры прочности грунтов по формулам, предложенным С. Л. Кореневой [5],

$$C = \left(\frac{P_t}{P_n} - 1 \right) P_{\text{быт}} \operatorname{tg} \varphi, \quad (16.5)$$

$$\varphi + \operatorname{ctg} \varphi = \pi \left(\frac{P_{\text{быт}}}{P_n} + 0,5 \right) \quad (16.6)$$

— при глубине испытаний более 5 м,

$$\frac{\operatorname{ctg} \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}}{\operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \pi} = \frac{P_{\text{быт}}}{P_n} \quad (16.7)$$

— при глубине испытаний менее 5 м,

где φ — угол внутреннего трения, градус; C — удельное сцепление, МПа; $P_{\text{быт}}$ — природное давление, МПа; P_n — предел пропорциональности, МПа; P_t — предел прочности, МПа.

Угол внутреннего трения определяется по номограммам (рис. 39).

Глава 17

МЕТОДЫ ПОЛЕВОГО ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ НА СДВИГ

Определение сопротивления грунтов сдвигу в полевых условиях выполняется в целях получения данных о прочности грунтов, из которых практически невозможно отобрать пробы ненарушенной структуры для лабораторных исследований (слабоилюстые и другие слабосвязные образования) или невозможно провести сами лабораторные определения (гравийно-галечниковые, песчано-щебенчатые и др.) в силу конструктивных особенностей лабораторных сдвиговых приборов.

При испытаниях для определения прочности грунтов в полевых условиях применяют следующие методы: а) сдвиг по заданной плоскости; б) сдвиг по произвольной плоскости; в) сдвиг по заданным поверхностям в буровых скважинах (вращательный срез).

Сдвиг по заданной плоскости

Испытания грунтов на сдвиг по заданной плоскости выполняются путем заключения целика грунта в специальную обойму и последующего сдвига приложением горизонтального сдвигающего усилия при постоянной уплотняющей нагрузке.

Для определения внутреннего трения и удельного сцепления необходимо выполнить опыт не менее чем на трех столбчатых монолитах-целиках при строгом сохранении стабильности условий при опытах.

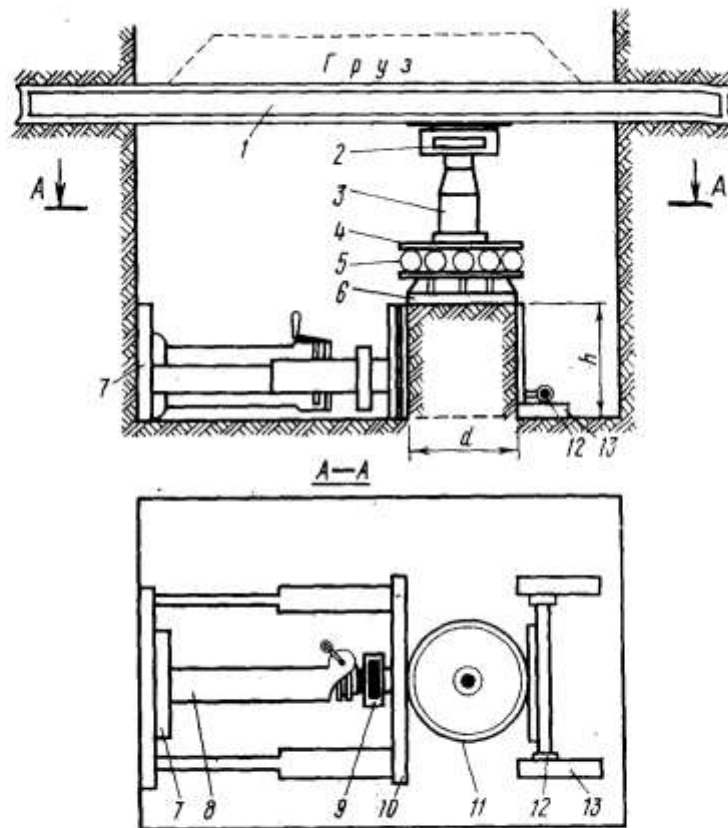


Рис. 40. Схема универсальной полевой установки для испытания грунтов на сдвиг. 1 — рама; 2 — динамометр; 3 — домкрат; 4 — жесткая плита; 5 — роликовая опора; 6 — штамп; 7 — упорная стенка; 8 — домкрат; 9 — динамометр; 10 — подвижная стенка; 11 — обойма с грунтом; 12 — катки; 13 — направляющие

В настоящее время при полевых исследованиях прочности грунтов применяются установки конструкции Фундаментпроекта, Днепропетровского института инженеров транспорта, Уральского политехнического института и др.

На рис. 40 изображена принципиальная схема универсальной установки конструкции Уральского политехнического института [48]. На штамп 6 передается уплотняющая нагрузка при помощи домкрата 3, который через динамометр 2 упирается в раму 1, заведенную в стенки шурфа. Сдвигающее усилие передается системой — неподвижная упорная стенка 7 + домкрат 8 + динамометр 9 + подвижная стенка 10 — на обойму с грунтом 11 или призму грунта. По плоской роликовой опоре 5 обойма с грунтом может перемещаться с горизонтальной плоскости на 3–4 см относительно жесткой плиты 4. Во избежание перекоса обоймы установка имеет катки 12, перемещающиеся по направляющим 13.

В установке конструкции Фундаментпроекта имеются три секции. Каждая секция состоит из обоймы, круглого штампа, уст-

ройства для нагружения штампа, системы передач сдвигающих усилий и горизонтальных перемещений с комплексом измерительной аппаратуры.

Перед приложением сдвигающих усилий производят обжатие грунта принятым давлением ступенями по 0,02—0,05 МПа. Каждая ступень давления (нагрузки) выдерживается не менее 30 мин для связных грунтов и 15 мин для песков. Вертикальная нагрузка, принятая для данного кольца, должна быть постоянной до окончания опыта. Сдвигающее усилие прикладывают ступенями с интервалом времени, необходимым для снятия показаний с приборов. Опыт считается оконченным, когда смещение кольца составляет 3—4 см.

После проведения испытаний при различных уплотняющих нагрузках строят диаграмму сдвига

$$\tau_i = f(P_i), \quad (17.1)$$

где τ_i — сдвигающее усилие; P_i — уплотняющая нагрузка.

Угол внутреннего трения и удельное сцепление определяются из уравнения

$$\tau = P \operatorname{tg} \varphi + C. \quad (17.2)$$

Сдвиг по произвольной плоскости

При испытаниях по произвольной плоскости поверхность сдвига не задается, а образуется в процессе сдвига и может иметь различное очертание в зависимости от состава и свойств грунтов. К этому виду испытаний относятся обрушение целиков породы, выпирание призмы грунта, срез призмы нагрузкой, расположенной под углом к плоскости сдвига, раздавливание целиков и др.

Рассмотрим обрушение целиков породы и выпирание призмы грунта.

Обрушение целиков (рис. 41) осуществляется направленным вертикально вниз усилием P , которое передается домкратом 4 через штамп 3 на целик породы 2 размером 40×40×80 см. После обрушения очертание и площадь криволинейной поверхности 1 тщательно изучаются и строится кривая обрушения (рис. 42), которая служит основой для составления уравнения равновесия (17.3). Аналогично проводится обрушение второго целика и составление второго уравнения равновесия (17.4):

$$\sum_1^n \tau_1 = \sum_1^n N \operatorname{tg} \varphi + CA_1, \quad (17.3)$$

$$\sum_1^n \tau_2 = \sum_1^n N \operatorname{tg} \varphi + CA_2, \quad (17.4)$$

где N — нормальное давление в плоскости обрушения, МПа; τ — сдвигающее напряжение, МПа; A_1 и A_2 — площади поверхности

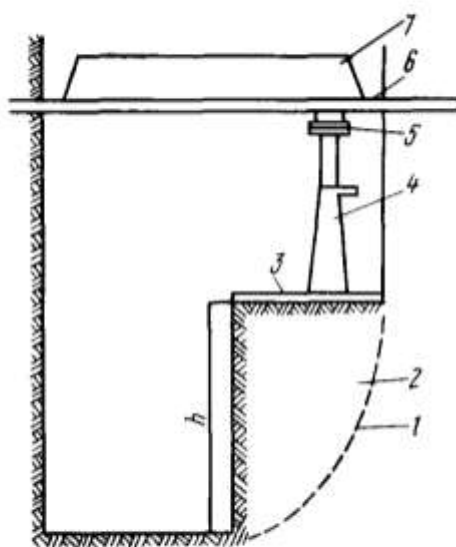


Рис. 41. Схема установки для проведения испытаний на сдвиг обрушением. 1 — поверхность обрушения; 2 — целик (призма) грунта; 3 — штамп; 4 — домкрат; 5 — динамометр; 6 — упорная балка; 7 — нагрузка

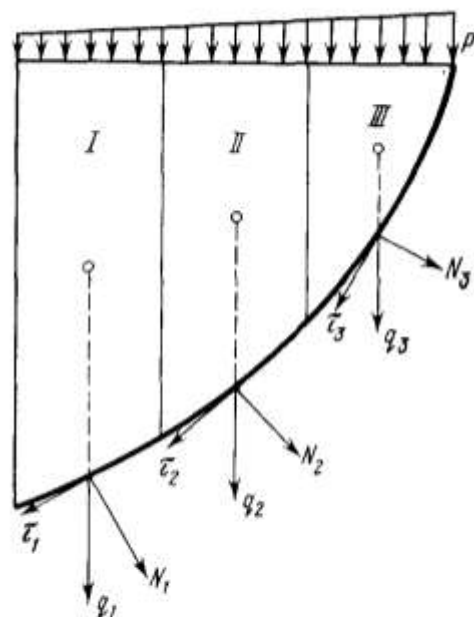


Рис. 42. Схема действующих усилий приложенной призмы грунта и кривая обрушения. I, II, III — отсеки призмы обрушения; τ_1, τ_2, τ_3 — сдвигающие усилия; N_1, N_2, N_3 — нормальное давление в плоскости обрушения; q_1, q_2, q_3 — равнодействующая параллелограмма сил (масса отсеков)

скольжения соответственно первого и второго целиков; $\operatorname{tg}\varphi$ — коэффициент внутреннего трения; C — сцепление.

Решая систему этих уравнений, определяют значение угла внутреннего трения и удельного сцепления грунта.

Выпираание призм грунта (рис. 43) заключается в смещении породы под действием горизонтального усилия, приложенного к массиву породы шириной b и высотой h , отделенному от остальной части грунта в выработке прорезями и вертикальной подвижной стенкой. Сдвиг выполняется установкой с одним или двумя домкратами, упираемыми в стенку шурфа и передающими усилие на упорную плиту.

На рис. 43 помещена схема установки для испытания грунта на сдвиг выпиранием конструкции Уральского политехнического института. Установка состоит из неподвижной упорной 1 и подвижной вертикальной 2 стенок, домкрата 3 с червячной передачей и динамометра 4. При работе домкрата происходит перемещение подвижной вертикальной стенки, которая связана с неподвижной опорой цилиндрическими трубчатыми направляющими. Направляющие жестко скреплены с опорой 1 и при помощи шарниров — с вертикальной подвижной стенкой 2. Высота упорной плиты 0,35—0,5 м, ширина — 1,0—1,5 м. Обычно высота вертикальной стенки должна быть в 5 раз больше размера включений в грунте.

Рис. 43. Схема установки для проведения испытания грунта на сдвиг выпиранием. 1 — неподвижная вертикальная упорная стенка; 2 — то же, подвижная; 3 — домкрат; 4 — динамометр; b — ширина клина; h — высота клина

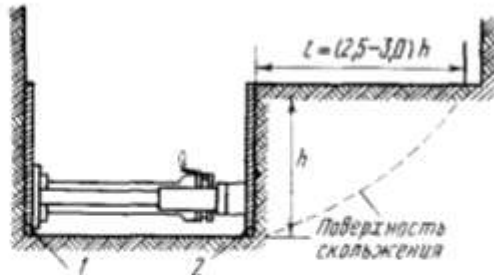
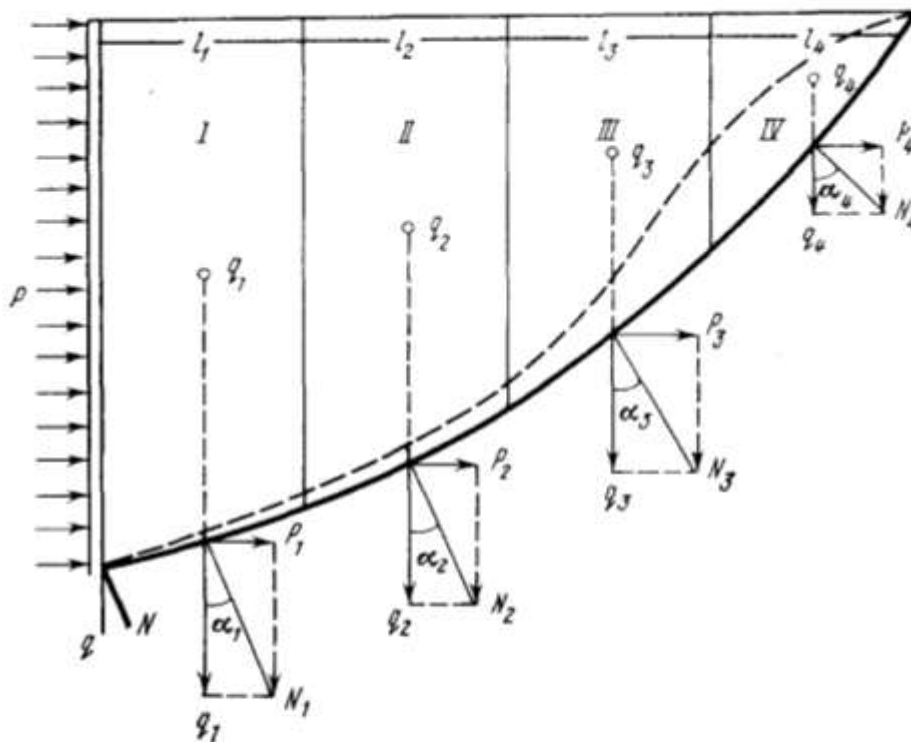
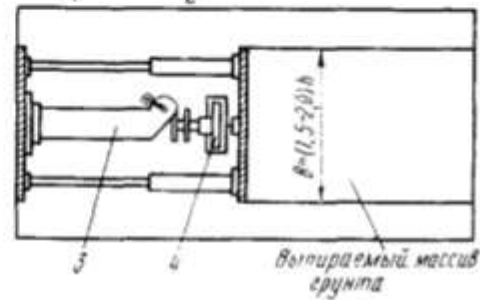


Рис. 44. Схема усилий, действующих при выпирании. I, II, III, IV — отсеки сдвигаемой призмы (клина); l_1, l_2, l_3, l_4 — длины дуг поверхности скольжения каждого отсека; q_1, q_2, q_3, q_4 — массы отсеков; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ — угол между нормальным давлением в плоскости выпирания и равнодействующей массы отсека



Сдвиг выполняется ступенями по 0,5 МПа. Каждая ступень выдерживается 15—30 мин. В процессе испытаний замеряются максимальное усилие Q_{\max} в момент сдвига и минимальное усилие Q_{\min} , когда блок уже сдвинут и происходит горизонтальное перемещение грунта. Испытание считается законченным, когда блок грунта сдвинут примерно на 10—15 см.

После сдвига грунт осторожно снимают для обнажения поверхности скольжения и строят два-три, реже четыре сечения сдвинутой призмы с поверхностью скольжения. В результате получают призму, разбитую на n отсеков (I, II, III, IV) (рис. 44). Сдвигающее усилие, приходящееся на каждый отсек призмы (клина) шириной b , рассчитывается по формуле

$$P_i = \frac{Q_{\max}}{bG} q_i, \quad (17.5)$$

где G — общая масса клина выпирания, равная сумме масс всех отсеков q и подвижной вертикальной стенки прибора 2 (см. рис. 43); b и h — ширина и высота клина выпирания.

Условие предельного равновесия для сдвинутой призмы будет иметь вид

$$m_i A_n - B_n = \operatorname{tg} \varphi (m B_n - A_n) + C \sum_1^n l_i, \quad (17.6)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ — коэффициент внутреннего трения; C — удельное сцепление; l_i — длина дуги поверхности скольжения в каждом отсеке;

$$A_n = \sum_1^n q_n \cos \alpha_n, \quad (17.7)$$

$$B_n = \sum_1^n q_n \sin \alpha_n; \quad (17.8)$$

здесь α_n — угол наклона спрямленных отрезков кривой скольжения к горизонтальной плоскости.

Удельное сцепление определяют по разности усилий в момент сдвига и при перемещении блока

$$C = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{\sum_1^n l_i}. \quad (17.9)$$

Коэффициент внутреннего трения определится из выражения

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\frac{Q_{\max}}{bG} \sum_1^n q_n \cos \alpha_n - \sum_1^n q_n \sin \alpha_n}{\left(\frac{Q_{\max}}{bG} \sum_1^n q_n \sin \alpha_n + \sum_1^n q_n \cos \alpha_n \right) (Q_{\max} - Q_{\min})}. \quad (17.10)$$

Если испытания проводятся в грунтах с небольшим сцеплением, когда величина разности усилий Q мала, необходимо составлять два уравнения равновесия по результатам испытания двух рядом расположенных горизонтальных призм.

Сдвиг по заданной поверхности в буровых скважинах (вращательный срез)

Сдвиг по заданной поверхности в буровых скважинах применяется для определения сопротивления сдвигу грунтов с ненарушенной и нарушенной структурой, показателя структурной прочности и однородности свойств грунтов по площади и глубине, а также для сравнительной оценки состояния и свойств грунтов (ГОСТ 21719—80).

Существо метода вращательного среза состоит в измерении крутящих моментов при вращении в грунте крестообразного наконечника-крыльчатки.

Согласно ГОСТу в зависимости от вида и состояния грунта используются следующие виды крыльчатки:

большая — при испытаниях илов, торфов, заторфованных и глинистых грунтов текучей и текучепластичной консистенции;

средняя — при испытаниях глинистых грунтов мягкопластичной консистенции и уплотненных торфов;

малая — при испытаниях глинистых грунтов тугопластичной консистенции и заторфованных грунтов.

Приборы и оборудование должны отвечать основным требованиям, изложенным в табл. 34.

Для создания крутящего момента используются различные установки конструкции Фундаментпроекта, Министерства транспортного строительства, Уральского политехнического института, Калининского политехнического института и др.

В 1971 г. Московский завод строительных машин (Главстроймаш Министерства строительного, дорожного и коммунального машиностроения) начал серийное производство установки СП-52 конструкции Фундаментпроекта (рис. 45).

Установка состоит из крестообразной лопасти (крыльчатки) 1, колонны штанг с муфтами 2, центрирующего устройства 3, станины 4, измерительного устройства 5 и штурвала 6.

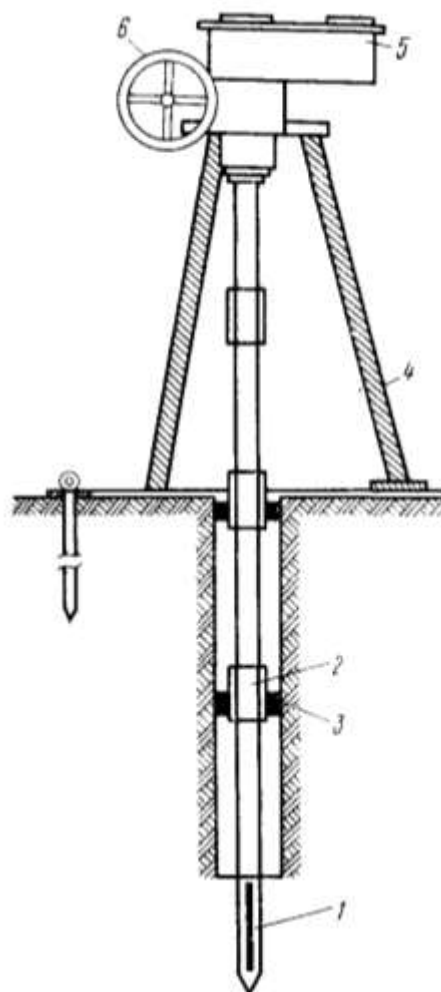


Рис. 45. Схема установки вращательного среза СП-52. 1 — крыльчатка; 2 — штанга с муфтами; 3 — центрирующее устройство; 4 — станина; 5 — измерительное устройство; 6 — штурвал

Характеристика трех типов крыльчатки

Основные параметры	Тип крыльчатки		
	малая	средняя	большая
Крыльчатка, мм:			
высота	120	150	200
ширина (диаметр)	60	75	100
толщина лопастей, не более	2,0	2,5	3,0
Длина несущего стержня крыльчатки выше лопастей	Не менее высоты крыльчатки		
Постоянная крыльчатки, см ³	790	1545	3660
Штанга, мм:			
наружный диаметр, не более	—	33,5	—
длина	500	1500	3000
Силовое устройство с максимальным крутящим моментом, кН·см, не менее	—	18	—
Точность определения измерительным устройством, МПа	0,2	0,1	0,1

Перед проведением опыта на заданную глубину проходится буровая скважина диаметром до 100 мм (в зависимости от диаметра применяемой крыльчатки). Затем над скважиной монтируется установка. Крыльчатка путем передачи давлений через колонну штанг задавливается в грунт на глубину не менее $5d$ от забоя скважины. Глубина погружения крыльчатки для грунтов, у которых сопротивление сдвигу при максимальном крутящем моменте более 0,03 МПа, определяется по формуле

$$S = 0,3 + h, \quad (17.11)$$

а для грунтов, у которых это сопротивление сдвигу меньше 0,03 МПа, по формуле

$$S = 0,5 + h, \quad (17.12)$$

где S — погружение крыльчатки от забоя; h — высота крыльчатки.

После задавливания, или забивки, крыльчатки ее проворачивают с угловой скоростью 0,1—0,2 градус/с и фиксируют величину максимального крутящего момента M_{\max} .

Сопротивление сдвигу рассчитывают по формуле

$$\tau = \frac{M_{\max}}{B}, \quad (17.13)$$

где τ — сопротивление грунта сдвигу; M_{\max} — максимальный крутящий момент; B — постоянная крыльчатки, вычисляемая по формуле

$$B = \frac{\pi D^2 h}{2} \left(1 + \frac{D}{3h} \right), \quad (17.14)$$

где D — диаметр крыльчатки.

При высоте лопасти, равной двум диаметрам цилиндра вращения, сопротивление сдвигу вычисляют по формуле

$$\tau = \frac{M_{\max}}{3,66D^2}. \quad (17.15)$$

По окончании опыта производят несколько полных оборотов (5—6) крыльчатки для определения минимального крутящего момента, который соответствует прочности породы в нарушенном состоянии. Отношение величины сопротивления сдвигу при максимальном крутящем моменте к сопротивлению сдвига с минимальным крутящим моментом называется показателем структурной прочности грунта

$$P_c = \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}}. \quad (17.16)$$

По показателю структурной прочности грунта определяют и прочность структурных связей глинистых грунтов в массиве:

Показатель структурной прочности P_c	Прочность структурных связей
< 1	Отсутствует
1—2	Низкая
2—5	Средняя
> 5	Высокая

Следует иметь в виду, что испытания лопастными приборами не позволяют отдельно определить непосредственно внутреннее трение и удельное сцепление грунтов. Лишь в случае испытания грунтов текучей и мягкопластичной консистенции принимается, что общее сопротивление сдвигу равно удельному сцеплению, считая, что значение угла внутреннего трения мало. Сведения о результатах испытаний заносят в специальный журнал.

Глава 18

МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ

Зондирование относится к так называемым экспресс-методам исследования грунтов, применяемым с целью ускоренного получения инженерно-геологической информации и сокращения сроков изыскательских работ. Зондирование грунтов позволяет в полевых условиях в сжатые сроки с небольшими производственными затратами получить достоверные данные об инженерно-геологических условиях участка строительства. Основано оно на измерении сопротивления грунта проникновению в него наконечников (зондов) различных форм и диаметров. Этот метод исследования грунтов появился в 20-х годах нашего столетия в Швеции и Дании. В Швеции впервые был применен статический зонд для ис-

следования глинистых грунтов, уложенных в насыпи. Динамическое зондирование было проведено в 1927 г. в США.

В нашей стране зондирование начало применяться еще в начале 30-х годов П. А. Осиповым [4], а в последующие годы им пользовались В. А. Дуранте, Г. К. Бондарик, В. Ф. Разоренов, Е. М. Мосьяков, В. Д. Шитов и др.

В последнее время методы зондирования широко используются при изучении песчаных, глинистых и органогенных грунтов для оценки однородности грунтовой толщи, выявления границ между инженерно-геологическими элементами. Они также позволяют приблизительно оценить ряд показателей физико-технических свойств, используемых при расчете устойчивости сооружений. В зависимости от способа погружения зонда в грунт различают статическое и динамическое зондирование.

Статическое зондирование

Сущность этого метода заключается в плановом погружении (вдавливании) в грунт конического наконечника (зонда) под действием вертикального давления. Глубина зондирования отмечается мерной рейкой или же самописцем, а усилие вдавливания фиксируется специальными динамометрами.

В качестве объективного критерия оценки результатов статического зондирования принимается удельное сопротивление зондированию (Q), равное отношению усилия зондирования к квадрату высоты конического наконечника (h), считая, что в однородных связных грунтах удельное сопротивление зондированию не зависит от глубины погружения зонда (ГОСТ 19912—74).

Статическое зондирование позволяет:

- расчленить разрез на отдельные слои и выделить прослой мощностью 1—3 см;
- установить наличие и пространственное распространение однородного слоя;
- определить глубину залегания кровли скальных и крупнообломочных пород;
- дать приближенную количественную оценку таких показателей, как плотность песчаных и консистенция глинистых грунтов; модуль деформации, внутреннее трение и т. д.;
- оценить качество уплотнения грунтов в насыпных и намывных сооружениях и т. д.;
- определить мощность органогенных грунтов на болотах и др.

Статическое зондирование является одним из основных методов исследования основания сооружений при проектировании свайных фундаментов.

В процессе статического зондирования определяют: удельное сопротивление грунта зонду P_q , МПа; сопротивление трения грунта по боковой поверхности зонда P_f (в кН) или удельное сопротивление трения грунта на участке боковой поверхности зонда (муфта трения) P_f (в МПа).

Статическое зондирование позволяет находить корреляционные взаимосвязи между удельным сопротивлением грунта зондированию и такими характеристиками, как модуль деформации грунтов, удельное сцепление, угол внутреннего трения, консистенция и др.

С другой стороны, выполненные исследования позволяют классифицировать некоторые грунты по плотности их сложения в зависимости от удельного сопротивления зондированию (табл. 35).

При проведении инженерно-геологических изысканий зондировочные скважины задаются по контуру сооружения или же на расстояниях не далее 5 м от контуров. Перед началом работ на площадке производится тарирование зонда путем сопоставления результатов зондирования и лабораторных исследований проб, отобранных из выработок, у которых выполнено зондирование.

Таблица 35

Классификация песчаных грунтов по величине удельного сопротивления статическому зондированию

Виды песков	Удельное сопротивление статическому зондированию, МПа	Плотность	Граничные значения коэффициента пористости n
Крупные и средней крупности То же	Менее 5,0	Рыхлые	Более 0,70
	5,0—15,0	Средней плотности	0,7—0,55
" Мелкие То же	Более 15,0	Плотные	Менее 0,55
	Менее 3,0 3,0—10,0	Рыхлые Средней плотности	Более 0,75 0,75—0,60
" Пылеватые неводонасыщенные То же	Более 10,0	Плотные	Менее 0,60
	Менее 3,0 3,0—10,0	Рыхлые Средней плотности	Более 0,80 0,80—0,60
" Пылеватые водонасыщенные То же	Более 10,0	Плотные	Менее 0,60
	Менее 1,5 1,5—6,0	Рыхлые Средней плотности	Более 0,80 0,8—0,60
"	Более 6,0	Плотные	Менее 0,60

Динамическое зондирование

Метод основан на измерении сопротивления, оказываемого грунтом, внедрению забивного зонда. Г. К. Бондарик [4] динамическим сопротивлением называет сопротивление грунта прониканию наконечника при забивке зонда. Это сопротивление складывается из сопротивления грунта забивке зонда и трения по боковой поверхности штанг. Динамическое зондирование применяется при

инженерно-геологических исследованиях песчаных и глинистых грунтов с содержанием обломочного материала до 40 %. Возможность применения данного метода для исследования мерзлых, просадочных, набухающих и засоленных грунтов требует специального обоснования.

В сочетании с другими методами инженерно-геологических исследований метод динамического зондирования применяется для определения:

- мощности толщи покровных отложений и их однородности;
- мощности и границ распространения инженерно-геологических элементов;
- степени уплотнения насыпных и намывных грунтов;
- корреляционных взаимосвязей удельного динамического сопротивления грунтов с показателями плотности их сложения, прочности и деформируемости.

Результаты динамического зондирования выражают в виде условной величины, которая представляет собой число стандартных ударов молота (залога) для погружения зонда на единицу длины (N),

$$N = \frac{10n}{\Delta S}, \quad (18.1)$$

где N — число ударов на 10 см погружения зонда; n — число ударов молота в залоге; ΔS — погружение зонда от одного залога, см.

Учитывая влияние увеличения веса зонда с глубиной и трение по боковой поверхности, в формулу вводят соответствующие поправки.

Согласно ГОСТ 19912—74 при производстве полевых работ удельное динамическое сопротивление грунтов P_d (в МПа) вычисляют по формуле

$$P_d = \frac{K\Pi_0\Phi n}{h}, \quad (18.2)$$

где K — коэффициент учета потерь энергии при ударе; Π_0 — показатель удельной кинетической энергии, Н/см; n — количество ударов в залоге; h — глубина погружения зонда за залог, см; Φ — коэффициент учета трения штанг о грунт.

Существует ряд других формул, на основе которых вычисляется удельное динамическое сопротивление. А. Я. Рубинштейн [40] приводит данные о формулах, применяемых для расчета удельных динамических сопротивлений через удельную работу.

Оборудование установок для динамического зондирования по ГОСТ 19912—74 должно отвечать следующим требованиям:

- 1) Конус (зонд) с диаметром основания 74 мм и углом при вершине 60°.
- 2) Штанги диаметром 42 мм и длиной 1,5 м.
- 3) Масса молота 30, 60 и 120 кг соответственно для легкого, основного и тяжелого оборудования.

4) Высота падения молота для тех же типов оборудования соответственно 40, 80 и 100 см.

Монтаж оборудования производится на горизонтально выровненной площадке размерами, достаточными для размещения установки и дальнейшего производства работ.

Точки для зондирования выносятся инструментально и закрепляются временными знаками. Обязательной является проверка вертикальности мачты перед началом зондировочных работ. Забивка зонда выполняется свободно падающим молотом с определенной высоты, при этом фиксируется глубина его погружения от определенного числа ударов, называемых залогом. Можно также принимать определенный интервал погружения зонда, равный, например, 10 см, и фиксировать число ударов молота. Результаты наблюдений заносят в специальный журнал при визуальной оценке процесса или на специальные ленты при автоматической регистрации. Точность измерения погружения зонда $1 \pm 0,1$ см. При зондировании не рекомендуется делать перерывы в работе, исключая время, необходимое для наращивания штанг. После окончания зондирования скважина тампонируется. Для интерпретации результатов строят график динамического зондирования, на котором показывают изменение по глубине условного динамического сопротивления P . При последующей обработке этот график усредняется, и для каждого инженерно-геологического элемента вычисляют средневзвешенное значение показателей зондирования.

На начальной стадии работ на площадке график динамического зондирования следует совмещать с инженерно-геологической колонкой горной выработки, у которой проводится зондирование для выделения инженерно-геологических элементов.

Зондировочно-каротажные работы

Эти работы являются одним из методов исследований физико-механических грунтов в условиях их природного залегания.

Применение зондировочно-каротажных исследований позволяет ускорить определение плотности и влажности грунтов, получая непрерывную информацию по всему разрезу, а не в виде дискретных данных, что имеет место при точечном опробовании. Очень важное значение имеет получение указанных характеристик при изучении полностью водонасыщенных слабых торфо-илистых грунтов, а также водонасыщенных песчаных и пылеватых грунтов.

Преимущество метода заключается в том, что для его применения не требуется специальных выработок. Получение данных осуществляется с помощью пенетрационно-каротажной станции СПК. Эта установка имеет специальное гидравлическое устройство, позволяющее развивать осевое усилие 10—15 кН, а также датчики тензометрического каротажа с регистрацией лобового сопротивления и бокового трения пород по поверхности зонда.

Подобное сочетание методов позволяет определять кроме плотности и влажности пород их естественную гамма-активность

и модуль деформации пород. Комплекс каротажных диаграмм позволяет также выделять литологические типы пород и однозначно устанавливать положение уровня грунтовых вод. Все это в конечном счете дает возможность предварительного построения инженерно-геологических разрезов с последующей корреляцией с данными, полученными при проведении буровых и горнопроходческих работ.

Глава 19

ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Цель и способы статистической обработки экспериментальных данных

Одной из основных задач при инженерно-геологической оценке грунтов является получение показателей, отражающих их состав, состояние и свойства, которые можно использовать для расчета устойчивости сооружений или же для классификационных целей при сравнении массивов горных пород.

В практике инженерно-геологических изысканий исследование массивов горных пород выполняется на основе изучения частных значений показателей, определяемых по образцам, отобраным из различных горных выработок. Однако эти определения единичны и каждое значение в отдельности характеризует состав или свойство породы в данной точке. Поэтому экспериментальные данные, полученные в процессе инженерно-геологических исследований, требуют предварительной обработки с целью установления их достоверности и надежности применения в расчетах.

Поскольку грунты не однородны и анизотропны и частные значения могут существенно отличаться друг от друга, то некоторый объем грунта со сходным составом, состоянием и структурно-текстурными особенностями удобно характеризовать некоторым обобщенным показателем. В общем случае наиболее достоверное значение обобщенного показателя было бы получено при изучении бесконечно большого числа частных показателей, отличающихся друг от друга.

В математической статистике такое бесконечно большое число частных определений называется *генеральной совокупностью*.

Однако при инженерно-геологических исследованиях не представляется возможным проводить большое число лабораторных или полевых определений для изучения показателей физико-технических свойств грунтов. Обычно отбирается ограниченное число проб, по которым определяются значения показателей. Такое ограниченное число определений называется *выборочной совокупностью*, или выборкой.

Выборки могут быть малые — до 30 определений и большие — более 30 определений [20]. В каждой выборке значение показателя

теля изменяется по абсолютной величине, т. е. варьируется. Поэтому часто совокупность определений называют вариационным рядом (состоящим из совокупности вариантов). При большом числе определений варианты (частные определения) группируются по интервалам.

Построение графиков рассеяния. Основные статистические характеристики

Графики рассеяния позволяют судить о диапазоне изменений данного показателя, а также о наиболее часто встречающихся его значениях. График рассеяния имеет одну вертикальную ось, на которую в произвольно выбранном масштабе наносятся границы классовых интервалов или их средние значения. Точками показываються частные значения показателя, попадающие в определенный интервал или соответствующие его среднему значению.

На рис. 46 помещен график рассеяния значений границы текучести суглинков (w_L). Установлено [20], что кривые распределения физико-механических свойств грунтов близки к нормальному, которое описывается соответствующей функцией. Кривая нормально распределенной величины симметрична относительно оси ординат и имеет форму колокола (рис. 47). Нормальное распределение определяется двумя параметрами: математическим ожиданием μ и дисперсией σ . В выборочной совокупности (выборке) математическому ожиданию соответствует среднее арифметическое значение показателя (x), т. е. центральное его значение, вокруг которого группируются все остальные (частные).

Центральное значение показателя может определяться медианой, т. е. таким значением, которое делит вариационный ряд на две равные части. На рисунке медиане соответствует величина границы текучести, равная 28.

Иногда при статических расчетах пользуются еще одной характеристикой — модой, которая соответствует интервалу с наибольшим числом определений. В нашем случае мода равна 28. В этом случае при оценке выборочной совокупности границы текучести легких суглинков значения медианы и моды совпадают, что указывает на симметричность распределения.

Как видно из графика рассеяния, частные значения показателя, группируясь вокруг среднего значения, количественно разнятся на большую или меньшую величину. Если отклонение от среднего значения (математического ожидания) возвести в какую-либо степень, то получим центральный момент такого порядка, в какую степень возведен показатель.

Мерой рассеяния частных значений является дисперсия или центральный момент второго порядка, корень квадратный из которого носит название среднеквадратического отклонения, или стандарта, σ . Часто среднеквадратическое отклонение выражается в долях или процентах от среднего значения показателя. Эта безразмерная величина носит название коэффициента изменчивости, или вариации, (v).

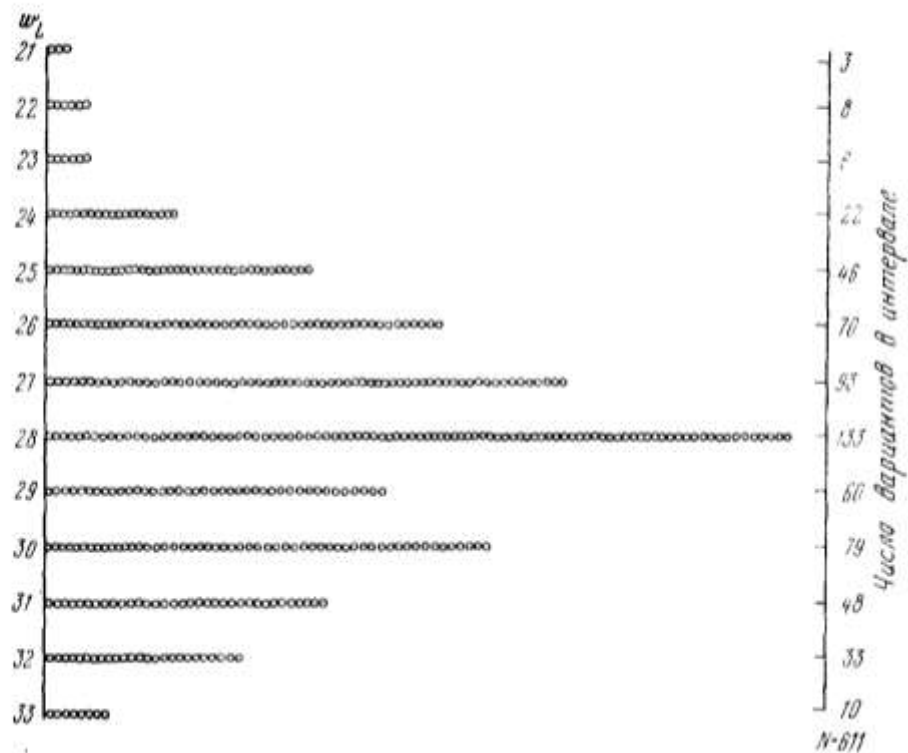


Рис. 46. График рассеяния значений границы текучести суглинков

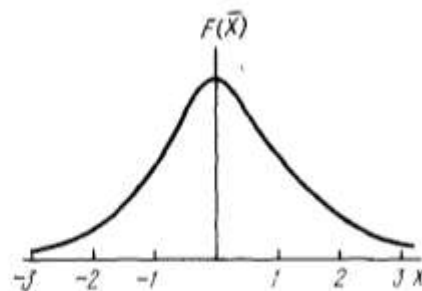


Рис. 47. Кривая нормального распределения

Формулы для количественной оценки статистических параметров приведены ниже.

Установление нормальности распределения

Проверка гипотезы о нормальном распределении эмпирических данных выполняется графически и статистически. Наиболее простым является графический способ. На вероятностной бумаге (трафарете) по оси ординат откладываются накопленные относительные частоты, а по оси абсцисс — значения показателя (рис. 48).

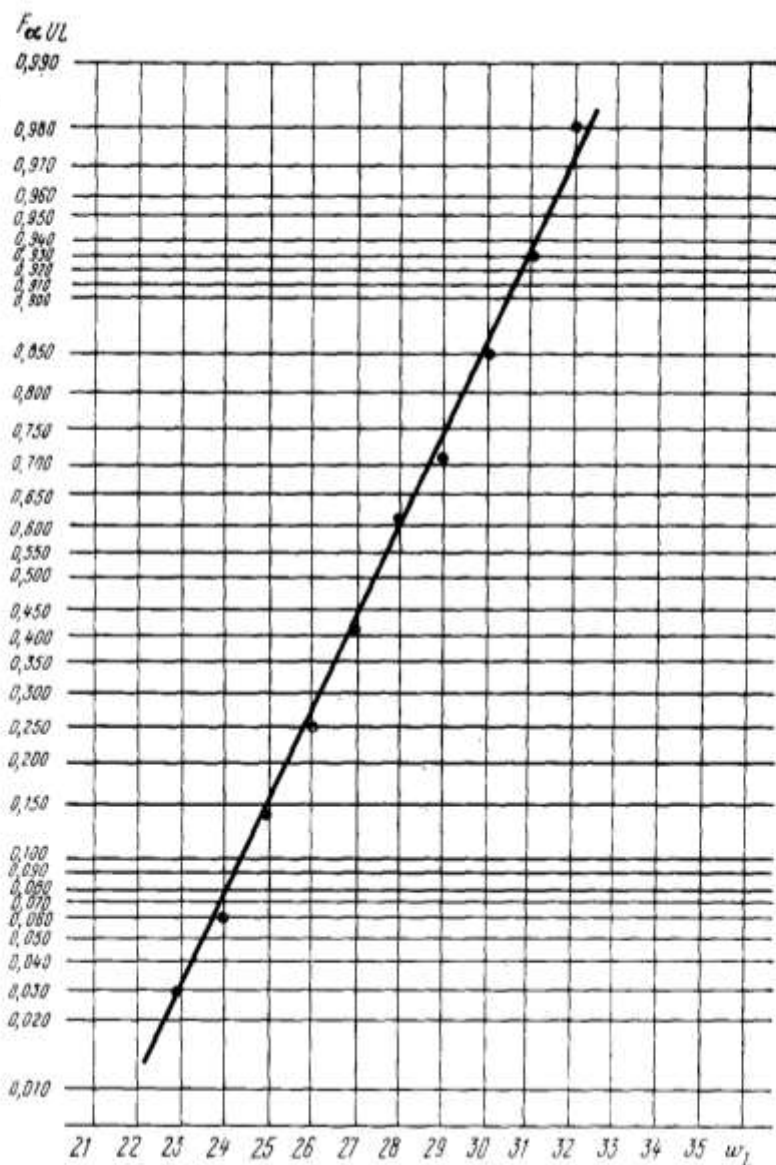


Рис. 48. Проверка нормальности распределения с использованием вероятностной бумаги

Если эмпирические данные нормально распределены, то через их совокупность в интервале 0,150—0,850 можно провести прямую линию. На рисунке видно, что практически все точки лежат на одной прямой. Таким образом, опытные данные нормально распределены.

Пользуясь этим методом, можно получить такие статистические характеристики, как среднее значение показателя (\bar{X}) и его среднеквадратическое отклонение (σ). На графике среднее значение отвечает точке с ординатой 0,5 и равно 27,5, а среднеквадратическое отклонение определяется как разность абсцисс с ор-

динатами 0,5—0,850 и 0,5—0,150 и равно $\pm 2,5$. Следует иметь в виду, что данные параметры, полученные графическим способом, хотя и мало отличаются от получаемых расчетным способом, все же являются приближенными.

Проверка гипотезы о согласованности эмпирического распределения теоретическому может проводиться с использованием метода центральных моментов.

Вычисление обобщенных статистических характеристик

При инженерно-геологической оценке горных пород основными параметрами выборочной совокупности (выборки), используемыми при расчетах, являются: среднее арифметическое значение показателя \bar{X} , среднее квадратическое отклонение σ и коэффициент изменчивости (вариации) v .

Среднее арифметическое значение показателя является наиболее вероятным из всех значений, представленных в выборке. В случае нормального распределения величина \bar{X} является одновременно медианой и модой и рассчитывается по формуле

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum x_i, \quad (19.1)$$

где x_i — частные значения показателя; n — число определений.

Подставив в формулу значения границы текучести легких суглинков, по выделенным интервалам получим величину \bar{X} , равную 28. Аналогичные значения получены для медианы и моды [см. формулу (19.2)].

Являющееся мерой рассеяния показателя, *среднеквадратическое отклонение* вычисляется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n}}. \quad (19.2)$$

Расчет *коэффициента изменчивости* ведется по формуле

$$v = \frac{\sigma}{\bar{X}} 100. \quad (19.3)$$

В силу того, что среднее арифметическое значение показателя часто вычисляется по ограниченному числу частных значений, неизбежна ошибка в его определении. Поэтому возникает необходимость в установлении этой ошибки, которая определяется по формуле

$$m(\bar{X}) = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (19.4)$$

Она может быть выражена в процентах от среднего арифметического. В этом случае ошибка называется показателем точности и вычисляется по формуле

$$\rho_{\bar{X}} = \frac{m(\bar{X})}{\bar{X}} 100. \quad (19.5)$$

Определение нормативных и расчетных значений показателей свойств грунтов

Определение нормативных значений. За нормативное значение показателя для всех характеристик грунтов (исключая внутреннее трение и удельное сцепление) принимается их среднее арифметическое значение \bar{X} , вычисляемое по формуле (19.1).

Нормативное значение углов внутреннего трения и удельного сцепления вычисляются по методу наименьших квадратов для всей совокупности сдвигающих усилий τ , рассчитанных по формуле

$$\tau = P \operatorname{tg} \varphi_n + C_n, \quad (19.6)$$

где τ — сопротивление грунта сдвигающим усилиям; P — нормальное давление при сдвиге; $\operatorname{tg} \varphi_n$ — тангенс угла внутреннего трения грунта; C_n — удельное сцепление.

Расчет нормативного значения внутреннего трения и удельного сцепления производят по формулам

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \frac{n \sum_1^n \tau_i P_i - \sum_1^n \tau_i \sum_1^n P_i}{n \sum_1^n P_i^2 - \left(\sum_1^n P_i \right)^2} \quad (19.7)$$

и

$$C_n = \frac{\sum_1^n \tau_i \sum_1^n P_i^2 - \sum_1^n P_i \sum_1^n \tau_i P_i}{n \sum_1^n P_i^2 - \left(\sum_1^n P_i \right)^2}, \quad (19.8)$$

где τ_i — частные значения сопротивления сдвигу; P_i — частные значения нормального давления; n — число определений величин.

Нормативные значения показателей характеристик грунтов обычно рассчитываются по ограниченному количеству опытных данных, и поэтому при инженерных расчетах возникает необходимость введения специальных поправок, которые позволяют повысить надежность принимаемых в расчете значений.

Определение расчетных значений. Согласно СНиП II—15—74 и ГОСТ 20522—75 расчетные значения характеристик грунтов вычисляются по формуле

$$A_p = \frac{A_n}{K_r}, \quad (19.9)$$

где A_n — нормативное значение показателя, вычисляемое по формуле (19.1); K_r — коэффициент безопасности по грунту.

Значения коэффициента безопасности по грунту устанавливаются в зависимости от неоднородности грунта, характеризующейся

коэффициентом его изменчивости, числом определений и доверительной вероятностью α ,

$$K_r = \frac{1}{1 \pm \rho}, \quad (19.10)$$

где ρ — показатель точности среднего арифметического. Величина ρ принимается с таким знаком, чтобы надежность расчета была наибольшей.

При расчете коэффициента неоднородности показатель точности вычисляют, используя метод доверительных пределов, по формулам

$$\rho = \tau_\alpha v \quad (19.11)$$

для внутреннего трения φ и удельного сцепления C (МПа)

$$\text{и} \quad \rho = \frac{\tau_\alpha v}{\sqrt{n}}, \quad (19.12)$$

для прочих грунтовых характеристик, где τ_α — коэффициент, принимаемый в зависимости от доверительной вероятности α и числа степеней свободы K [20]; v — коэффициент изменчивости; n — число определений.

При расчете коэффициента изменчивости, входящего в формулу (19.12), величина среднеквадратического отклонения вычисляется по формуле (19.2). Однако при определении расчетных значений внутреннего трения и удельного сцепления она рассчитывается по формулам:

$$\sigma_c = \sigma_\tau \sqrt{\frac{\sum_1^n p_i^2}{n \sum_1^n p_i^2 - \left(\sum_1^n p_i\right)^2}}, \quad (19.13)$$

$$\sigma_\tau = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_1^n (P_i \operatorname{tg} \varphi_n + C_n - \tau_i)^2}, \quad (19.14)$$

$$\sigma_{\operatorname{tg} \varphi} = \sigma_\tau \sqrt{\frac{n}{n \sum_1^n p_i^2 - \left(\sum_1^n p_i\right)^2}}; \quad (19.15)$$

все обозначения прежние.

Помимо изложенного метода получения расчетного значения показателя применяются и другие, несколько упрощенные.

Наиболее распространенным из них, применяемым при числе опытов менее 25, является метод гарантированной накопленной частоты [25], являющийся одним из вариантов метода доверительных пределов [20].

Сущность метода заключается в вычислении такого значения показателя, который для данного числа определений будет наи-

более надежным. Доверительная вероятность для данного метода принимается равной 0,99, или 99 %. Это значит, что в 99 случаях из 100 гарантированное значение будет меньше истинного (теоретического) значения показателя. Установление расчетного значения показателя выполняется, исходя из числа определений и рекомендуемой накопленной частоты:

Число опытов	Рекомендуемая накопленная частота, %	Число опытов	Рекомендуемая накопленная частота, %
Менее 10	0	25—30	25
10—15	10	35—50	30
15—20	15	50—75	35
20—25	20	Более 75	40

Обычно этот метод используется при обработке данных сопротивления грунта сдвигу, однако применение его возможно и при вычислении расчетных значений любых показателей при доверительной вероятности 0,99.

Более простым методом получения расчетного значения показателя для предварительных расчетов является метод среднего минимального (максимального). При использовании данного метода расчетное значение принимается как среднее арифметическое из минимального (максимального) и среднего значений.

Раздел III

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДИНАМИКИ

Глава 20

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДИНАМИКА И ЕЕ ЗАДАЧИ

На нашей планете непрестанно идут процессы, носящие медленный или быстротечный характер, постепенно или внезапно изменяющие внешний вид местности. К ним относятся абразия на побережьях морей, выветривание, землетрясения и т. д. Как известно, эти процессы разделяются на экзогенные, возникшие в результате воздействия на природную обстановку внешних факторов, и эндогенные, связанные с проявлением внутренней энергии Земли. И те и другие объективно существуют и могут оказывать неблагоприятное и даже пагубное влияние на сооружения, пути сообщения и другие объекты народного хозяйства.

Процессы или явления, возникающие в земной коре под действием естественных природных факторов и изменяющие природную обстановку и окружающую среду, называются геологическими процессами и явлениями.

Инженерная геология рассматривает все эти явления с точки зрения угрозы их сооружениям, определения степени опасности этой угрозы, способов ее изучения и мероприятий для ее устранения.

Строительство инженерного сооружения всегда приводит к возникновению обратной связи между этим сооружением и внешней средой. Иными словами, сооружение после постройки всегда оказывает влияние на окружающую его геологическую обстановку.

Процессы, обусловленные производственной и, в частности, строительной деятельностью человека и порождающие геологические явления, называются инженерно-геологическими процессами.

Инженерная геодинамика изучает геологические и инженерно-геологические процессы и явления с целью их количественного прогноза, установления интенсивности их развития, степени угрозы окружающим территориям или возводимым сооружениям. Инженерная геодинамика призвана решать вопросы строительства в особых геологических условиях и, наконец, разрабатывать теоретические основы и методы управления геологическими процессами.

Инженерная геодинамика также занимается вопросами охраны и использования геологической среды как неотъемлемой части внешней среды, по охране и рациональному использованию которой в нашей стране принят ряд важных постановлений.

Основоположник инженерной геологии Ф. П. Саваренский, рассматривая геологические процессы и явления, установил определяющие факторы, которые имеют решающее значение при возникновении и дальнейшем развитии данного явления. Несмотря на то что со времени создания классификации Ф. П. Саваренского прошло более 40 лет, она не потеряла своего значения и в настоящее время.

В табл. 36 приведены категории геологических процессов и явлений с небольшими изменениями и дополнениями, сделанными в последующие годы И. В. Поповым [31]. Процессы и явления неразрывно связаны, причем процесс следует понимать как развитие или смену состояния какого-либо природного явления. Что же касается определяющего каждый процесс фактора, то он служит главной, но не единственной причиной, обуславливающей развитие явления.

Таблица 36

Категории геологических процессов и явлений

Процессы и явления	Определяющие их факторы
<p>Выветривание, криогенные и посткриогенные явления Развевание и павевание Струйчатая эрозия и плоскостной смыв, оврагообразование, геологическая деятельность рек, абразия, сели Суффозия, плывуны Карст, просадки, заболачивание</p> <p>Оползни, обвалы, осыпи, курумы, лавины Сейсмические явления, эпейрогенные движения, вулканизм Инженерно-геологические: деформация оснований сооружений, сдвижение горных пород при подземных работах, оседание земной поверхности при эксплуатации жидких и газообразных полезных ископаемых, усиление сейсмической активности в связи с устройством водохранилищ</p>	<p>Климатический фактор Деятельность ветра Деятельность поверхностных вод</p> <p>Деятельность поверхностных и подземных вод Действие силы тяжести на склонах</p> <p>Внутренняя энергия</p> <p>Производственная и строительная деятельность человека</p>

Глава 21

ПРОЦЕССЫ, СВЯЗАННЫЕ С ДЕЙСТВИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Выветривание

Выветриванием называется процесс непрерывного изменения и разрушения горных пород под действием ряда внешних факторов; колебания температуры воздуха, механического и химического воздействия воды, жизнедеятельности растений и организ-

мов. В природе эти факторы действуют в совокупности, однако определяющим следует считать климатический фактор.

Процесс выветривания начинается с поверхности и распространяется в глубину, постепенно изменяя материнскую породу. Так образуется кора выветривания, или элювий, горных пород.

Элювием называются продукты выветривания горных пород, оставшиеся на месте своего образования. В их составе наряду с совершенно измененными отложениями встречаются и обломки коренной породы, что свидетельствует о связи элювия с материнской породой.

Процессы выветривания характеризуются интенсивностью выветривания, под которой подразумеваются скорость выветривания, характер преобразования коренной породы в элювий и мощность образовавшегося элювия. Чем глубже проникают агенты выветривания с поверхности земли и чем скорее происходят разрушение и ослабление коренной породы, тем интенсивнее выветривание. Интенсивность зависит от целого ряда причин и в первую очередь от интенсивности действия самих факторов выветривания, а также от вида и состава горных пород, геологического строения, степени трещиноватости.

Различают три вида выветривания — физическое, химическое и биологическое.

Физическое выветривание в основном проявляется в механическом разрушении пород, которое приводит к изменению их гранулометрического состава и образованию обломочных грунтов. Основным фактором этого вида выветривания являются резкие температурные колебания в окружающей среде как по сезонам года, так и в течение суток.

Горная порода представляет собой агрегат минералов, из которых каждый имеет свой собственный коэффициент теплового расширения. Нагревание и охлаждение и, как следствие этого, неравномерное расширение и сжатие массы породы, зависящие от тепловых свойств минералов, окраски, экспозиции склона,— все это ведет к расшатыванию структуры, образованию и расширению трещин, раскалыванию массивов на глыбы, щебень, выделению отдельных минералов. Большое значение в этом процессе имеет вода, замерзающая в трещинах, расширяющаяся в объеме и разрывающая монолитную породу на куски.

Физическое выветривание наиболее ярко проявляется в районах с резко континентальным климатом полунустынь и пустынь и холодным климатом районов Крайнего Севера и высокогорий.

Химическое выветривание проявляется в изменении химического состава горных пород в результате растворения, окисления, гидратации и дегидратации минералов, входящих в состав горной породы. Это изменение ведет к преобразованию пород и изменению их строительных свойств. Так, например, легкорастворимые породы (галит, гипс, мирабилит) в результате взаимодействия с водой растворяются, а в результате гидратации рассыпаются вследствие резкого увеличения объема и возникновения

большого внутреннего давления (при переходе гипса в ангидрит). Под действием углекислоты, содержащейся в воде, происходит преобразование полевых шпатов во вторичные глинистые минералы, вследствие чего породы приобретают пластичные свойства.

Интенсивность химического выветривания будет тем большей, чем теплее и влажнее климат. Она также непосредственно зависит от трещиноватости, пористости и кавернозности пород, улучшающих условия водо- и газообмена, и от состава породообразующих минералов. Наиболее интенсивно химическое выветривание проявляется в зонах повышенного увлажнения с мягким теплым климатом, т. е. в тропиках и субтропиках.

Разрушение пород в процессе жизнедеятельности растений, животных и микроорганизмов принято называть биологическим выветриванием. Этот вид выветривания распространен повсеместно, хотя наиболее интенсивное биологическое выветривание наблюдается в мягком климате.

Строение выветрелой зоны

Как было показано выше, выветривание влияет на свойства пород с поверхности в глубину. Причем как степень раздробленности, так и показатели прочности изменяются по глубине неодинаково в разных породах и в различных геологических условиях. Интенсивность этого изменения также неодинакова. Поэтому при проведении полевых исследований выветрелой толщи для целей строительства необходимо выделять в ней зоны, характерные с точки зрения степени выветрелости.

Н. В. Коломенский [18] предлагает расчленять выветрелую толщу снизу вверх на четыре зоны (рис. 49):

I — монолитную — слегка затронутую выветриванием, но практически сохранившую свойства материнской породы;

II — глыбовую — куда проникли агенты выветривания, под действием которых произошло разделение материнской породы трещинами на отдельные глыбы. Прочность материнской породы понижена; зона отличается высокой водопроницаемостью;

III — мелкообломочную — в которой под действием агентов выветривания произошло дробление глыб на более мелкие фракции — щебень, дресву. В процессе дробления наряду с выделением

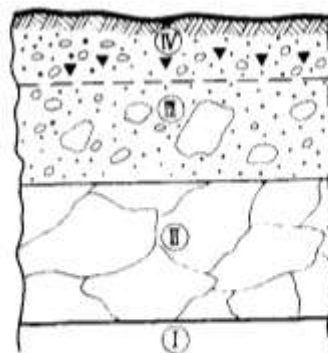


Рис. 49. Строение выветрелой толщи (по Н. В. Коломенскому). I — монолитная зона, II — глыбовая зона, III — мелкообломочная зона, IV — зона тонкого дробления

первичных породообразующих минералов появляются вторичные, преобразованные глинистые минералы. Зона характеризуется низкой прочностью, повышенной сжимаемостью, очень неоднородной водопроницаемостью;

IV — тонкого дробления — самую верхнюю часть коры выветривания, непосредственно граничащую с атмосферой. В ней процесс выветривания находится на стадии завершения. Порода преобразована: преобладают вторичные минералы; первичные минералы и обломки материнской породы встречаются как включения. Состоит из рыхлых несвязных или мягких связных грунтов с невысокой прочностью и значительно сжимаемостью.

Интенсивность выветривания, мощность выветрелой толщи, характер и состав элювия зависят как от пород, подвергающихся выветриванию, так и от климатических условий.

Е. М. Сергеев [42] приводит примеры различных типов кор выветривания для разного сочетания условий, определяющих фактор выветривания породы. Так, например, в условиях Кавказа на прочных породах, представленных туфобрекчиями, мощность выветрелой толщи составляет 38—50 м. Эта толща рассечена глубокими трещинами, что способствует крупноблоковым оползням.

Значительно меньшую мощность (до 25 м) имеет кора выветривания в сходных климатических условиях, но в недостаточно прочных аргиллитах таврической свиты в Крыму. Для выветрелых аргиллитов характерен легкий переход из полутвердого состояния в разжиженное при изменении влажности, сопровождающейся потерей прочности.

Другим примером различной интенсивности выветривания уже в континентальном климате могут служить результаты сравнения интенсивности выветривания разных петрографических типов пород на территории Верхнего Приамурья.

Наиболее устойчивыми являются гранитоиды, имеющие высокую механическую прочность. Кора выветривания в них редко превышает 15 м, причем большая ее часть приходится на глыбовую зону. Менее устойчивы против выветривания песчанки и алевролиты, у которых мощность коры выветривания изменяется от 25 до 37 м. Наиболее интенсивно процесс выветривания протекает в глинистых, углистых сланцах и туфах.

Конечным результатом выветривания являются растрескивание, дробление, изменение физических свойств и химического состава материнской породы. Это приводит к резкому ухудшению ее строительных свойств: понижению прочности, увеличению водопроницаемости, а также способствует возникновению оползней, обвалов и селей.

Мероприятия по борьбе с выветриванием

Мероприятия по борьбе с выветриванием разделяются на две группы.

В первую следует отнести мероприятия, проводимые в период строительства, а также такие виды работ, как съем почвы, элю-

вия, покрывающего чехлом склон и грозящего обвалами и оползнями, недобор грунтов до проектной отметки в случае, если эти грунты подвержены быстрому выветриванию.

Во вторую — мероприятия, проводимые в период эксплуатации сооружений и которые должны обеспечивать надежность и долговечность существования последних. К таким мероприятиям относятся разного рода покрытия или экранирование грунтов, подверженных выветриванию (полиэтиленовые и другие синтетические пленки, гудрон, цемент, глина), пропитывание грунтов специальными растворами (жидкое стекло, битумная эмульсия, эпоксидные и другие смолы).

В случае опасности выщелачивания растворимых солей или цемента в породе должен осуществляться отвод поверхностных и дренаж подземных вод.

Криогенные процессы

На большей части суши в соответствии с сезонными колебаниями температуры воздуха происходит замерзание и оттаивание поверхностного слоя земли, вследствие чего на протяжении некоторого времени породы находятся в мерзлом состоянии. Примерно на 25 % территории материков распространены многолетнемерзлые породы, температура которых на некоторой глубине от поверхности в течение длительного времени остается нулевой или отрицательной. Эти породы по своим строительным свойствам и поведению в основании сооружений относятся к грунтам особого состава, состояния и свойств.

Область распространения многолетнемерзлых пород на территории Советского Союза занимает около 47 %, или 11,2 млн. км² всей площади страны.

Многолетнемерзлые грунты распространены на Кольском полуострове и на побережье Баренцева моря, где их южная граница проходит в широтном направлении несколько южнее Полярного круга до Урала. Далее эта граница пересекает Уральский хребет, спускается к югу, следует в широтном направлении по территории Западной Сибири до места впадения в Енисей Подкаменной Тунгуски. Здесь зона мерзлоты смещается к южной государственной границе СССР и следует на восток вдоль течения Амура вплоть до побережья Охотского моря. Она занимает почти всю территорию Восточной Сибири, Дальнего Востока и Камчатки.

На севере граница многолетнемерзлых грунтов проходит по побережью морей Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского, а мерзлые грунты распространены на всех островах в этих морях.

В региональном распространении многолетнемерзлых грунтов прослеживается четкая широтная зональность. На севере европейской части СССР, в Западной и Восточной Сибири расположена зона сплошного распространения мерзлых толщ. Здесь ее мощность измеряется сотнями метров, а температура колеблется от -12 до -7 °С.

Южнее проходит таликовая зона, или зона прерывистого распространения мерзлоты. Мощность ее уменьшается до десятков метров, а температура колеблется от -2 до $-0,2$ °С.

Далее таликовая зона сменяется зоной островной мерзлоты небольшой мощности (10—30 м) с температурой от 0 до $-0,3$ °С.

Наблюдаются и отклонения от этой общей закономерности. Так, в долинах крупных рек Сибири (Обь, Енисей) мерзлота отсутствует, а в долинах рек Забайкалья она в основном распространена.

Помимо отмеченного регионального развития многолетнемерзлых пород существуют локальные проявления мерзлоты, приуроченные к горным районам Кавказа, Тянь-Шаня, Памира, Сихотэ-Алиня.

Такое формирование толщ многолетнемерзлых пород объясняется изменением теплового баланса земной коры. В тех областях, где устанавливается дефицит тепла то ли за счет географического положения, то ли за счет отражательной способности поверхности растительного, почвенного или снегового покрова, происходит охлаждение земной коры, ведущее к ее промерзанию на протяжении многих тысяч лет. Установившись на определенном этапе развития Земли, этот дефицит привел к глубокому промерзанию горных пород, однако не создал устойчивого теплового режима.

Определяющим фактором процессов промерзания и оттаивания горных пород является климат. От климата зависят возникновение и режим мерзлоты: ее мощность, температура на различных глубинах, изменение теплового баланса во времени. Климатом, а также генезисом и петрографическим составом мерзлых пород определяются мерзлотные (криогенные) и послемерзлотные (посткриогенные) явления в зоне мерзлоты.

Строение толщи мерзлых пород

Горные породы, имеющие отрицательную или нулевую температуру и содержащие в своем составе лед, называются мерзлыми породами.

Мерзлые породы подразделяются на сезонно- и многолетнемерзлые. Сезонномерзлые породы — это такие породы, которые летом оттаивают, а зимой промерзают. К ним относятся почти все грунты районов умеренного климата и севера РСФСР, а также породы деятельного слоя.

Многолетнемерзлыми породами называются такие породы, которые сохраняют мерзлое состояние в течение сотен и тысяч лет. Зона развития многолетнемерзлых пород называется криолитозоной.

По вертикали криолитозона разделяется на две части:

а) верхнюю — деятельный слой или слой сезонного оттаивания (летом) и сезонного промерзания (зимой). Его мощность за-

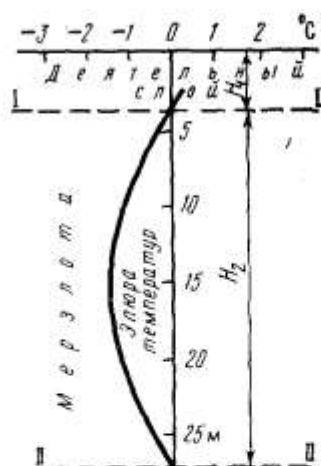


Рис. 50. Схема строения криолитозоны: I—I — верхняя граница многолетней мерзлоты; II—II — нижняя граница многолетней мерзлоты; H_1 — мощность деятельного слоя; H_2 — мощность мерзлоты

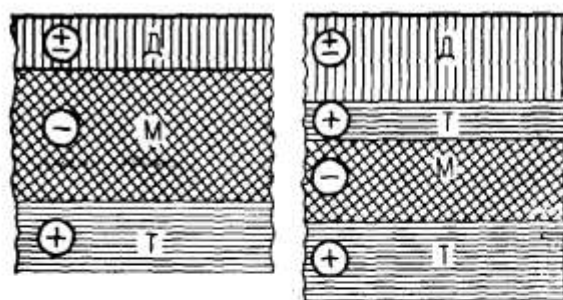


Рис. 51. Типы многолетнемерзлых грунтов. Д — деятельный слой, М — мерзлота, Т — талый грунт; плюс и минус — знаки постоянного температурного режима слоя грунта

висит от географической широты, климата, состава пород и изменяется от десятков сантиметров до 4 м;

б) нижнюю — собственно мерзлые грунты, горные породы, температура которых никогда не бывает положительной. В большинстве случаев эти породы содержат в своем составе лед. Мощность мерзлых грунтов также различна в зависимости от географического положения и климатических условий местности.

Максимальная мощность многолетнемерзлых пород отмечена за Полярным кругом (600—800 м) в устье р. Лены, а минимальная (несколько метров) — в районах распространения островной мерзлоты.

На рис. 50 представлена схема строения криолитозоны [32].

Поверхность I—I, залегающая на глубине H_1 от поверхности земли, служит верхней границей многолетней мерзлоты, выше которой лежит деятельный слой. Эта граница достаточно подвижна и может изменяться во времени, особенно в связи с производственной деятельностью человека. Поверхность II—II определяет нижнюю границу многолетней мерзлоты, ниже которой залегают обычные талые породы.

Расстояние между верхней и нижней границами многолетней мерзлоты дает представление о мощности мерзлоты H_2 .

В геологическом разрезе различают два типа мерзлоты: сливающийся и несливающийся (рис. 51).

Под сливающейся мерзлотой понимают такой тип мерзлоты в разрезе, когда деятельный слой при замерзании непосредственно переходит в многолетнюю мерзлоту.

Несливающаяся мерзлота характеризуется таким строением геологического разреза, когда между промерзшим деятельным слоем и мерзлыми грунтами остается слой талого грунта.

По строению различают непрерывную мерзлоту, в которой породы находятся в мерзлом состоянии по всей мощности криолитозоны, и слоистую мерзлоту, в которой мерзлые породы прерываются прослоями талых пород.

Лед в мерзлых породах содержится в различных формах и в разном количестве. В скальных и полускальных породах лед заполняет трещины и пустоты в виде жил, слоев, прослоев. В крупнообломочных песчаных и глинистых (дисперсных) грунтах лед встречается либо в виде инородных тел (прослоек, пропластков, стяжений), либо в виде отдельных кристаллов и их скоплений, играющих роль цемента, минерала, породообразующего компонента. В этом случае грунт находится в многофазном состоянии, например: скелет+лед+незамерзшая вода+газообразные составляющие.

Общее количество льда (по массе или объему), отнесенное к массе или объему абсолютно сухого грунта, называется льдистостью.

По физическому состоянию многолетнемерзлые породы разделяются на три вида (СНиП II—18—76):

1) твердомерзлые — в которых минеральные частицы скелета сцементированы льдом в монолитную несжимаемую массу (ведут себя как скальные грунты);

2) пластичномерзлые — в которых кроме льда-цемента существует незамерзшая вода (находятся в полутвердом состоянии, способны сжиматься под нагрузкой и частично напоминают полускальные грунты);

3) сыпучемерзлые — мелко- и грубообломочные грунты, имеющие отрицательную температуру, но не сцементированные льдом (рыхлые).

Дисперсные мерзлые грунты характеризуются структурой, типичной для этих грунтов: пелитовой для глин, алевритовой для пылеватых грунтов, псаммитовой и псефитовой для раздельнозернистых грунтов.

Однако состояние и механические свойства мерзлых грунтов зависят и от распределения в грунте льда. В раздельнозернистых грунтах тип цементации льдом в зависимости от количества влаги может быть контактным, пленочным или поровым.

Для глинистых и глинисто-пылеватых пород лед составляет основную массу, заполняющую все поровое пространство и придающую грунту вид и свойства массивной скальной породы. Этот тип цементации называется базальным.

Мерзлые грунты могут иметь три вида текстур, характеризующих пространственное размещение льда в слое и его формы:

а) массивную, когда лед равномерно распределен во всем объеме грунта;

б) слоистую, когда лед находится в породе в виде слоев, прослоев и линз;

в) сетчатую, когда прослойки и слои пересекаются в различных направлениях, образуя ячеистые сетки разной крупности.

Инженерно-геологическое описание многолетнемерзлых пород будет неполным, если не учесть их положение и взаимодействие с грунтом подземных вод. В общем случае здесь образуются три горизонта: *надмерзлотный*, приуроченный к деятельному слою и представляющий собой ненапорные, промерзающие грунтовые воды; *межмерзлотный*, заключенный в талых прослоях и обладающий при известных условиях большой напорностью; *подмерзлотный*, представленный водами, циркулирующими в горных породах ниже зоны мерзлоты.

Криогенные процессы и явления

Механические свойства скальных пород при промерзании изменяются за счет льда в трещинах и пустотах, однако процесс этот носит характер морозного выветривания и в итоге приводит к уменьшению прочности, увеличению водопроницаемости и постепенному увеличению глубины и объема нарушенной зоны.

Более сложный, многоступенчатый характер носит изменение свойств песчано-глинистых (дисперсных) грунтов. Их механические свойства изменяются вначале в результате появления в этих грунтах льда (при промерзании), а затем вследствие изменения их физического состояния (при оттаивании).

Таким образом, в криолитозоне возникают различные геологические криогенные (мерзлотные) процессы и явления: морозное пучение, термокарст, солифлюкция и наледи.

Морозное пучение — это увеличение объема водонасыщенных грунтов глинистого и пылеватого состава в результате расширения воды в порах при замерзании. Морозное пучение проявляется в виде *пучин* — поднятий поверхности земли высотой 0,2—0,5 м удлиненной формы и в виде *бугров пучения*, или *булгуний*, которые образуются вследствие поднятия пород деятельного слоя нижележащей массой льда, непрерывно увеличивающейся в объеме за счет подпитывания подмерзлотными водами. Размеры бугров пучения в диаметре и в высоту могут достигать десятков метров (рис. 52).

Термокарст — процесс проседания и последующего образования провалов, блюд, воронок на поверхности многолетнемерзлых пород при оттаивании скоплений льда в толще грунта. При близком залегании к поверхности скоплений льда в весенний период начинается его протаивание. Вначале появляется понижение, заполненное водой. Вследствие большой теплопроводности воды процесс дальнейшего протаивания ускоряется, понижение превращается в воронку, образуется провал с отвесными стенками, края его обваливаются, он увеличивается, достигая десятков метров в ширину и нескольких метров в глубину. Процесс завершается после полного вытаивания льда. Образовавшееся озеро постепенно высыхает или вымерзает. Такая форма получила в Восточной Сибири название *аласа*. Типичный термокарстовый ландшафт состоит из аласов, блюд и просадочных котловин.

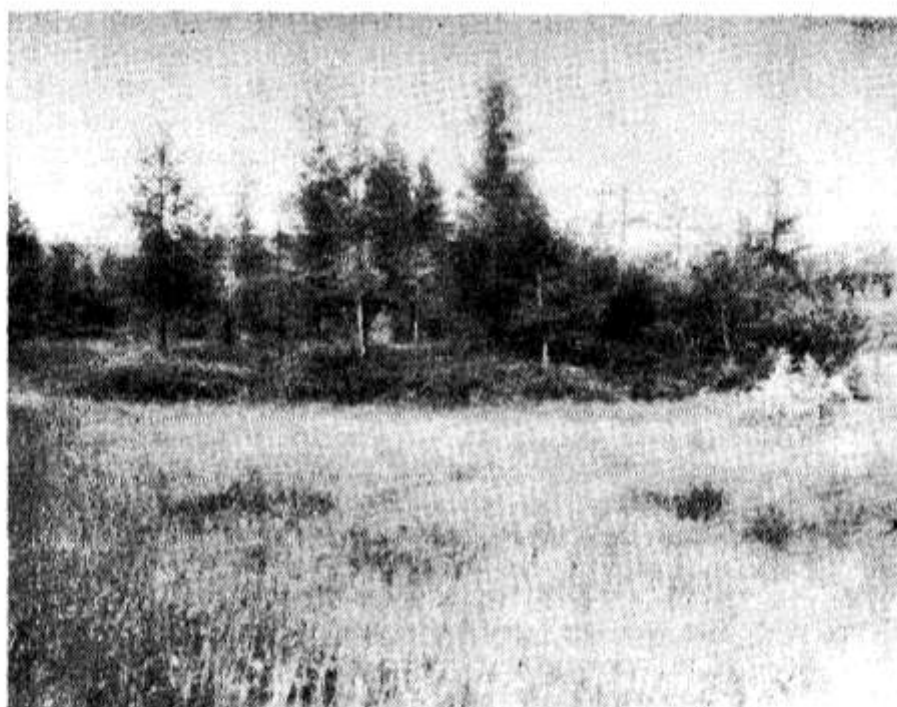


Рис. 52. Торфяные бугры пучения. Амуро-Зейская равнина

• **Наледи** — морфологически отличаются от бугров пучения тем, что они представляют собой плащеобразное или потокообразное скопление льда на поверхности земли, образовавшееся в результате разлива и замерзания речных или подземных вод.

Образование наледи начинается в период интенсивного промерзания деятельного слоя, в результате чего надмерзлотные или межмерзлотные подземные воды испытывают все возрастающее гидростатическое давление, под действием которого происходит их прорыв через трещину в горной породе и излив на поверхность. Излившаяся вода замерзает в виде слоя или потока, достигающего значительной толщины и площади (Мамская наледь в Якутии занимает площадь 80 км² и имеет объем около 200 млн. м³). Наледи представляют собой угрозу для движения транспорта или могут быть причиной затопления пониженных участков местности.

• **Солифлюкция** — так называют движение со склонов рыхлых водонасыщенных отложений под действием силы тяжести в результате оттаивания многолетнемерзлых грунтов.

Разжижение и стекание грунта возникают вследствие перехода его из твердой консистенции в текучую или текучепластичную. Солифлюкция может носить характер срывов, напоминающих консистентные оползни обычных грунтов. Сплывы возникают на отдельных участках, имеющих уклоны поверхности 7—10° и сложенных рыхлыми песчано-глинистыми грунтами. В случае малых уклонов (до 5°) солифлюкция имеет вид вязкого медленного течения

сравнительно тонкого слоя грунта, несущего в своем составе обломочный и глыбовый материал. Это явление напоминает как бы замедленный сель и охватывает значительные площади предгорий.

Солифлюкция представляет собой опасность для существующих путей сообщения и сооружений, расположенных у подножия склонов.

Мероприятия по борьбе с криогенными процессами и явлениями

Изучение природы мерзлых грунтов, их термического режима, свойств, а также явлений, возникающих при замерзании и оттаивании грунтов оснований, позволило рекомендовать следующие варианты ведения строительства на мерзлых грунтах (СН—91—60):

1) строительство сооружений без учета мерзлотного состояния грунта; это касается скальных и полускальных мерзлых грунтов и других пород, не дающих после оттаивания значительных просадок;

2) строительство сооружений с соблюдением условий сохранения термического режима на протяжении всего периода их эксплуатации; этот вариант применим в случае высокой льдистости грунтов, грозящей при поступлении тепла от сооружения недопустимыми деформациями основания;

3) строительство сооружений, допускающих деформации основания в условиях оттаивания грунтов (грубообломочные льдистые отложения, в которых исключается выпор грунта основания);

4) строительство с предварительным оттаиванием грунтов и применением различных способов их уплотнения и улучшения.

Каждый из названных вариантов ведения строительства применяется, исходя из конкретных строительных условий, вида и конструкции сооружения, типа и состояния мерзлого грунта в пределах строительной площадки. Одновременно для борьбы с указанными выше явлениями используют различные мероприятия или их комплексы.

Мероприятия по борьбе с пучениями сводятся к осушению пучинистых участков с помощью дренажа и поверхностного водоотвода, уменьшению глубины промерзания с помощью засыпки дороги теплоизоляционным материалом (шлак), замене пучинистых грунтов песком, гравием, шлаком; применяется также электрохимическое закрепление мерзлых грунтов.

Для борьбы с наледями применяют земляные ограждающие валы вдоль берегов рек, а при наледях грунтового происхождения — мерзлотные пояса, т. е. глубокие канавы, создающие вокруг строительной площадки пояс из мерзлого грунта и недопускающие образования наледей в пределах площадки.

Борьба с солифлюкцией проводится путем закрепления поверхностного склона растительностью, планировки и выполаживания склонов, создания специальных оградительных сооружений.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВЕТРА

Ветер — один из мощных экзогенных факторов — является причиной возникновения ураганов, смерчей, сейш, нагонных, волноприбойных и эоловых явлений.

К эоловым процессам относятся геологические процессы, порожденные энергией ветра (давление, отрыв, перемещение). Они проявляются в развевании, обтачивании, переносе и отложении частиц разрушенной породы и формировании новых геологических образований.

Эоловые процессы приурочены к районам сильных и постоянных ветров. В СССР к этим районам относятся пустыни Каракумы, Кызылкумы — в Средней Азии, побережья морей и озер (Каспийское и Балтийское моря, оз. Балхаш), а также горные перевалы Северного Кавказа, Памира, Тянь-Шаня, Саян и др.

Виды ветровой деятельности

Ветровая деятельность носит двойкий характер — разрушительный и созидательный.

Разрушение горных пород вызвано динамической силой ветра, находящейся в прямой зависимости от его скорости. Разрушительная деятельность ветра выражается двумя видами процессов — выдуванием (дефляция) и обтачиванием неровностей рельефа

мелкообломочным материалом, переносимым ветром (корразия). Эти два процесса развиваются параллельно, однако последствия корразии ярко выражены в зоне развития твердых кристаллических или осадочных пород, тогда как дефляция приводит к образованию форм выдувания в мягких, преимущественно песчано-глинистых отложениях.

Характерными формами дефляции являются котловины выдувания, шши выдувания, борозды и траншеи, гребни выдувания в стенках оврагов, а также сдувание верхнего почвенного слоя. Эти отрицательные формы рельефа иногда измеряются сотнями метров и километрами в длину и ширину. Почвенный слой может быть снят на глубину более 10 см.

Корразия, часто сопровождающая дефляцию, ведет к образо-



Рис. 53. Качающийся камень. Приморский край

ванию таких форм микрорельефа, как борозды, желоба, ячейки, ниши, а в горных странах останцы, колонны, грибовидные и шаровидные скалы, качающиеся камни (рис. 53).

В результате замедления скорости ветра (встречи им препятствий или изменения направления) происходит отложение переносимых им частиц продуктов разрушения горных пород. Наиболее тонкий материал — глинистые и пылеватые фракции — переносится часто на сотни километров. Так, например, тонкий песок с восточного побережья Африки переносится восточными ветрами на 300 км на Канарские острова, а песчинки из пустыни Каракумов откладываются на западном берегу Каспия.

Пылевые бури, происходящие периодически в наших широтах — на Украине, Кубани, в Башкирии, переносят и откладывают миллионы тонн мелкого материала, в том числе почв (ветровая эрозия).

Наиболее постоянный характер процессы аккумуляции имеют в областях полупустынь, пустынь и морских побережий. Только в Средней Азии площадь, занятая золовыми образованиями, составляет около 1 млн. км², а на побережьях морей и озер они покрывают прибрежную полосу на сотни километров в длину и на десятки в ширину.

Формы, состав и свойства золовых отложений

Все золовые отложения целесообразно разделить на подвижные, естественно и искусственно закрепленные.

К подвижным золовым отложениям относятся образовавшиеся в пустынях скопления песка — барханы, а также перемещающиеся песчаные образования на побережьях морей, озер и в долинах некоторых рек (Волги, Дона, Днепра). Они не закреплены растительностью, не обладают связностью и перемещаются под действием ветра.

К естественно закрепленным растительностью золовым отложениям относятся грядовые, бугристые пески и пески равнин, наиболее часто встречающиеся в районах полупустынь.

К искусственно закрепленным золовым грунтам мы относим любые продукты и формы ветровой аккумуляции, неподвижность которых обеспечена методами фитомелиорации или технической мелиорации.

Ниже дается характеристика некоторых форм золовых отложений.

Барханы — пологие песчаные холмы серповидной формы в плане и асимметричные в разрезе (рис. 54), передвигающиеся в направлении постоянно дующего ветра со скоростью от 5 до 70 м в год. Скорости одиночных барханов значительно выше, чем скорости барханов, образующих цепи. Высота их достигает 60—70 м, ширина в крыльях — десятки и сотни метров.

Дюны — песчаные грядообразные, вытянутые вдоль побережья холмы, движущиеся внутрь материка (рис. 55). Дюны образуются

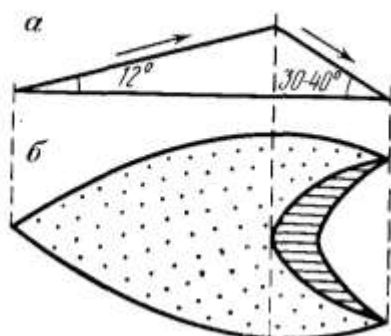
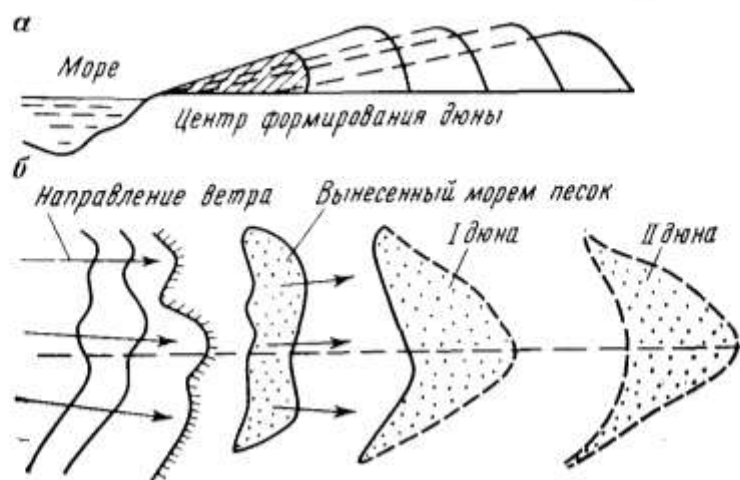


Рис. 54. Схема бархана: *а* — в разрезе, *б* — в плане

Рис. 55. Схема дюны: *а* — в разрезе, *б* — в плане



из песка, выносимого морем на берег в полосе пляжа, захватываемого и перевеваемого ветром, дующим с моря на сушу. Первоначально для образования дюны необходимо препятствие в виде растения, камня или другого предмета, вокруг которого задерживается и аккумулируется песок. Постепенно дюны достигают высоты 20—50 и даже 70 м (дюна Кюппе Калие вблизи Лиепая Латвийской ССР). В профиле дюна, как и бархан, асимметрична: с более крутой подветренной стороной. Скорость ее движения в зависимости от силы и постоянства ветра изменяется от 2 до 20 м в год. В СССР дюны широко распространены в Прибалтике (Латвийская, Литовская ССР), в районе Калининграда, Сестрорецка, а в малых масштабах (высотой 0,5—2 м) по берегам крупных рек [2].

Грядовые пески представляют собой вытянутые в форме гряд или валов отложения эоловых песков в районах полупустынь.

Бугристые пески — это более низкие, чем грядовые, холмообразные образования с пологими склонами, покрытые растительностью (Алешкинские пески в Херсонской области). Грядовые и бугристые пески относятся к естественно закрепленным эоловым отложениям.

Эоловые отложения отличаются хорошей отсортированностью, довольно однородны по минеральному составу. По гранулометрическому составу они относятся к пескам, преимущественно тонким или мелким, к пылеватым грунтам (продукты пылевых бурь) и глинисто-пылеватым отложениям (эолово-делювиальные грунты).

Мероприятия по защите от эоловых процессов

Широкое развитие и интенсивное течение эоловых процессов представляют угрозу для гражданского, дорожного и гидротехнического строительства.

В горных районах, где развиты дефляция и коррозия, эта угроза сводится в основном к ухудшению устойчивости склонов, возможности внезапных обвалов, камнепадов, обрушений отдельных камней и целых карнизов породы, ослабленной действием названных процессов. Явления здесь часто носят локальный и избирательный характер, поэтому, как и при склоновых явлениях, основные мероприятия сводятся к профилактике и устройству защитных сооружений (галереи, подпорные стенки и др.).

В пустынях на побережьях морей, озер, рек, в предгорьях процессы транспортировки и аккумуляции эолового материала охватывают значительные площади. В результате при движении барханов или дюн перемещаются громадные массы песка, которые засыпают дороги, ирригационные каналы и сооружений, населенные пункты. Поэтому строительство и эксплуатация в этих районах требуют постоянной борьбы с движущимися песками.

Для этой цели применяют следующие мероприятия:

а) устройство щитовых ограждений вдоль дорог и каналов для задержки движения песков;

б) закрепление песков различного рода эмульсиями и растворами;

в) широкое применение фитомелиорации: посадка растений, создание лесополос, посев трав и т. д.

Глава 23

ПРОЦЕССЫ, СВЯЗАННЫЕ С ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Ежегодно на поверхность земли в виде осадков выпадает 112 тыс. км³ воды. Она стекает в реки и моря, частично испаряется, частично проникает в толщу горных пород, пополняя запасы подземных вод. Выпавшая на поверхность суши вода совершает громадную геологическую работу. Определяющим фактором этой работы является кинетическая энергия движущейся воды [2].

Действительно, во всех видах движения атмосферных вод, начиная с падающей капли и кончая морской волной, участвует не-

которая масса воды m , движущаяся со скоростью v . Вода, стекая по склону, захватывает и смывает мелкие частицы почвы; попадая в реки и ручьи, размывает их берега или подрезает крутые склоны; обрушивается в виде волн на берега озер и морей, разрушая их и изменяя очертания береговой линии; насыщает рыхлые породы на склонах гор и стекает в долины в виде грязекаменных потоков.

Эти процессы обусловлены движением поверхностных вод, а интенсивность их протекания и геологические последствия этой работы зависят от величины кинетической энергии движущейся воды, которая выражается формулой

$$K_k = \frac{mv^2}{2}, \quad (23.1)$$

где K_k — кинетическая энергия, Дж; m — масса воды, кг; v — скорость движения воды, м/с.

Процессы отличаются по характеру и месту возникновения, масштабам и бедствиям, которые они вызывают.

Плоскостной смыв, струйчатая эрозия и оврагообразование

Эти три процесса следует рассматривать как последующие этапы, или циклы, эрозии. Эрозией принято называть размыв и разрушение поверхности земли энергией текучей воды.

При выпадении атмосферных осадков каждая капля производит работу — отрывает от почвы или грунта (особенно если он не защищен растительностью) элементарно малый объем и во взвешенном состоянии несет его по склону вниз.

Все выпавшее на поверхность количество воды растекается по ней тонким слоем, увлекая и смывая поверхностный слой грунта. Это явление носит название плоскостного смыва. Плоскостной смыв часто приводит к огромным потерям плодородных земель. Водная почвенная эрозия в некоторых районах страны (Закарпатье, Поволжье, Молдавская ССР) выводит из освоения 10—30 % пахотных земель.

С геологической точки зрения плоскостной смыв ведет к образованию делювиально-пролювиальных отложений.

На крутых склонах, сложенных рыхлым элювием или делювием, отдельные струи соединяются в ручейки или даже в бурные потоки, стекающие по линии максимального уклона. Увеличение массы воды и ее скорости ведет к образованию рытвин, промоин и желобов. Такое же явление можно наблюдать на свежееотсыпанных откосах земляных плотин и оросительных каналов. Это второй этап эрозии — струйчатая эрозия.

В ряде случаев струйчатая эрозия может привести к обмелению или запруживанию рек и к смыву растительного покрова на склонах. Основная же ее опасность заключается в том, что струй-

чатая эрозия предшествует оврагообразованию и часто является его непосредственной причиной.

— Оврагообразование — это экзогенный процесс размыва горных пород на склоне с образованием единичных, вытянутых вдоль склона депрессий или целой системы отрицательных форм рельефа — оврагов.

Оврагообразование ведет к прорезке склона глубокими промоинами, смыву почвы, затруднению сельскохозяйственных работ на склонах и водоразделе, нарушению эксплуатации дорог и дорожных сооружений, выносу большого количества грунта в расположенные ниже водотоки и водоемы.

Интенсивность развития, площадь распространения и скорость течения процесса оврагообразования кроме основного определяющего фактора зависят от ряда способствующих факторов, среди которых необходимо отметить: а) климат, б) рельеф, в) растительность, г) геолого-гидрогеологические условия.

Влияние климата довольно противоречиво. Большое количество осадков далеко не всегда способствует интенсивности размыва, так как во влажном климате склоны защищены быстро развивающейся растительностью. Поэтому наиболее интенсивно оврагообразование проявляется в полупустынных местностях с редкими, но сильными ливнями, со слабой задернованностью склонов, которая не препятствует быстрому и бурному стоку атмосферных вод, приводящему к интенсивному размыву поверхности.

Как показали исследования, поставленные на опытно-овражных станциях, характер *рельефа*, разность отметок водораздела и уровней водотоков, являющихся местными базисами эрозии, и уклоны поверхности имеют громадное влияние на образование и развитие овражной сети. Интенсивность размыва пропорциональна живой силе движущегося потока, которая при больших уклонах резко возрастает.

Наличие растительности, как было показано выше, замедляет рост оврагов, и поэтому посадка кустарников и трав является одним из действенных методов борьбы с ними.

Геолого-гидрогеологические условия (строение и литологический состав грунтов) также занимают видное место в процессе формирования оврагов. Если на поверхность земли выходят рыхлые легкоразмываемые песчано-глинистые отложения значительной мощности, то скорость роста оврагов будет измеряться десятками метров в год при большой глубине вреза. В этом случае происходит интенсивная площадная эрозия: от основного оврага ответвляются так называемые отвершки и вся поверхность склона покрывается густой изрезанной сетью оврагов. Наиболее густая овражно-балочная сеть возникает на склонах, сложенных лёссовыми породами. Наоборот, местность, сложенная плотными элювиальными суглинками и глинами (моренными, сырцовыми) или полускальными породами, мало подвержена овражной эрозии.

Степень размываемости грунтов можно оценить величиной допустимой неразмывающей скорости [10].

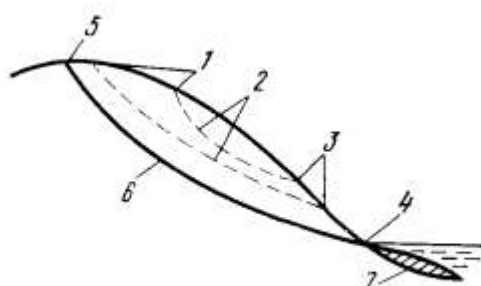


Рис. 56. Геоморфологические элементы оврага. 1 — вершина; 2 — ложе; 3 — устье; 4 — базис эрозии; 5 — водораздел; 6 — положение профиля равновесия; 7 — конус выноса

Выходы грунтовых вод, дренируемых оврагом, ускоряют рост оврагов вследствие проявления суффозионных, оползневых и других сопутствующих процессов.

В строении оврага различают следующие элементы (рис. 56): вершину — точку на склоне или водоразделе, до которой дошел овраг в своем развитии; ложе — углубление, по которому стекает вода и выше которого круто вверх поднимаются склоны; наиболее низкие отметки ложа приурочены к тальвегу; устье — место начала оврага, расположенное в нижней части склона, в котором начался размыв; базис эрозии — отметка, совпадающая с уровнем реки, озера, ручья или другого выхода водотока.

В своем развитии овраг проходит четыре стадии.

I. Стадия рытвины — начальная стадия оврагообразования, в которой как результат струйчатой эрозии на склоне образуется рытвина. Это углубление треугольного или трапецидального сечения небольшой протяженности и глубины. Начало рытвине или промоине может дать любая выемка на склоне (протопанная дорожка, колея).

II. Стадия вреза оврага вершиной — активная стадия роста оврага. В вершине образуется уступ вследствие размыва стекающей водой. Склоны крутые, почти отвесные; устье находится значительно выше базиса эрозии; уклоны дна значительные, и по дну в большинстве случаев течет ручей. Овраг разветвляется, в устье образуется конус выноса.

III. Стадия профиля равновесия, на которой овраг своей вершиной достигает водораздела, а устьем — базиса эрозии. Площадь его водосбора и уклоны дна перестают увеличиваться.

IV. Стадия балки, на которой овраг, полностью прекращает свою эрозионную деятельность: склоны пологие, заросшие травой, кустарником и деревьями; ширина большая, уклоны дна малые.

Овраги получили широкое развитие в европейской части СССР: Молдавия, северо-западная часть Северного Причерноморья, правобережные крутосклонные участки долин Днестра, Южного Буга, Днепра, среднего течения Волги, междуречья Дунай—Днепр.

Как пример района интенсивного развития оврагов можно привести район Канева—Ржищева на правом берегу Днепра (рис. 57).

Максимального развития густота овражной сети достигает в степной и лесостепной зонах. Эрозию ускоряет неправильное



Рис. 57. Склон, пораженный оврагами

хозяйственное освоение земель на склонах: уничтожение леса, неправильная вспашка земель и выпас скота, хаотический сброс бытовых, промышленных и ирригационных вод и др.

Мероприятия по борьбе с водной эрозией и образованием оврагов делятся на две группы: профилактические и инженерные.

К профилактическим мероприятиям, применяющимся на первой стадии оврагообразования, относятся: запрещение вырубki леса, продольной распашки склонов и производства земляных работ на склоне; запрет выпаса скота и неорганизованного сброса поверхностных вод вниз по склону.

При наличии неглубоких промоин и «лысин» на склонах производятся мелкие работы по засыпке и заравниванию первых и ликвидации вторых путем посадки трав и кустарников.

На второй и третьей стадиях производится полный комплекс инженерных мероприятий — агротехнических и гидротехнических. С этой целью на водоразделах и в верхней части склона отсыпают водозадерживающие валики и устраивают водоперехватывающие канавы. В отвершках оврагов строится комплекс водоотводящих гидротехнических сооружений для организованного сброса атмосферных вод на дно оврага и гашения энергии размыва. По дну оврага устраивается система запруд с целью задержания твердого стока и прекращения размыва дна. Все эти работы сопровождаются фитомелиоративными мероприятиями, заключающимися в одерновке склонов, посадке кустарников и деревьев, посеве трав (рис. 58).

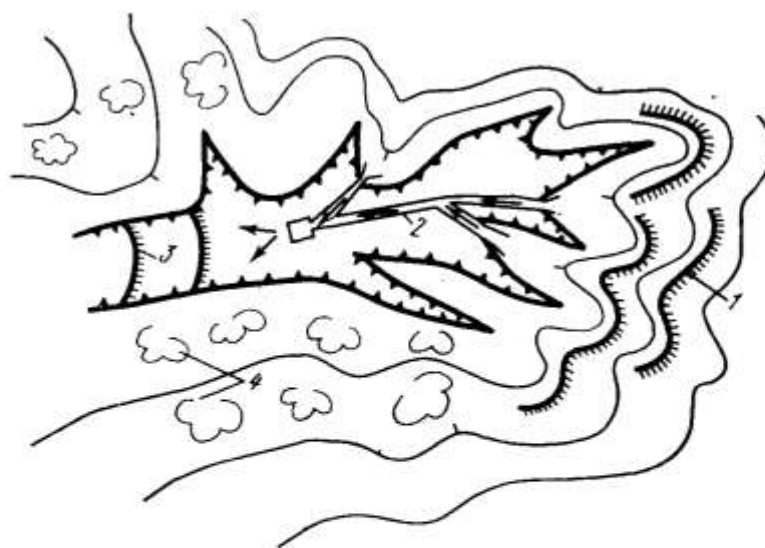


Рис. 58. Противозерозийные мероприятия по борьбе с оврагами. 1 — водозадерживающие валики; 2 — водоотводящие сооружения; 3 — донные запруды; 4 — посадка деревьев и кустарников

Геологическая деятельность рек

Реки совершают громадную геологическую работу, которую с инженерно-геологической точки зрения можно разделить на три вида: 1) размыв, или собственно эрозия; 2) перенос, или транспортировка; 3) отложение и аккумуляция.

Анализируя геологическую деятельность реки, ее необходимо рассматривать как во времени, так и в пространстве.

Каждая река имеет по протяженности три характерных участка: верхнее, среднее и нижнее течение (рис. 59).

Верхний участок, начинающийся от истока, имеет максимальный уклон и прямолинейное очертание в плане. На этом участке скорость течения значительная, вследствие чего река обладает большой живой силой, и здесь происходит размыв дна русла реки — донная эрозия.

Ниже по течению расположен второй участок реки, ее среднее течение. На этом участке уклоны дна заметно уменьшаются, что ведет к уменьшению скорости течения реки, а значит, и ее живой силы. Здесь река уже не прямолинейна, она делает повороты и изгибы, а это, в свою очередь, ведет к интенсивному развитию боковой эрозии. Боковая эрозия приводит к обрушению подмытых берегов и, следовательно, к расширению долины реки. Этому же способствует и подмыв реками своих правых берегов (по закону Бера).

Таким образом, на втором участке река расширяет свою долину, а ее воды захватывают, переносят и частично откладывают продукты размыва.

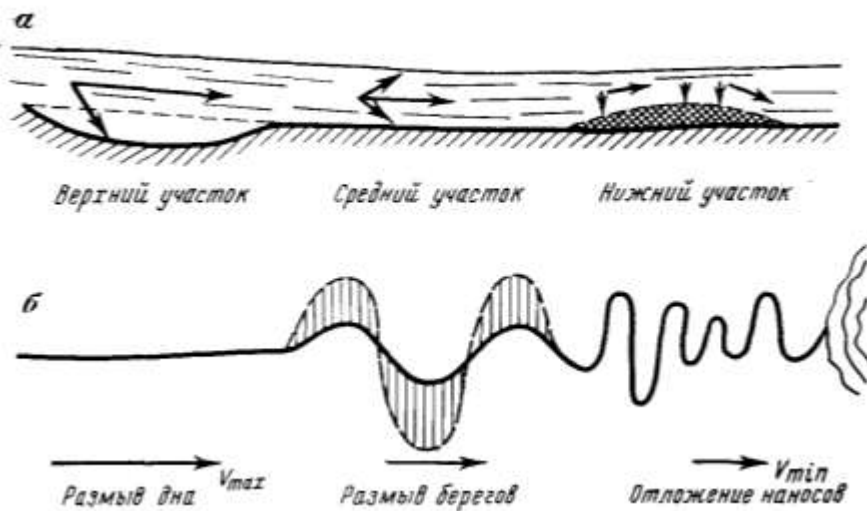


Рис. 59. Геологическая деятельность реки: а — дно реки в профиле (стрелки-векторы показывают направление размыва и отложения наносов); б — русло реки в плане (стрелки-векторы показывают величину скорости течения)

На третьем участке уклоны дна становятся минимальными, вследствие чего река прекращает размыв и на смену ему приходит отложение наносов. Здесь река обладает очень малыми скоростями течения. Она меандрирует среди собственных наносов, образует старицы.

В зависимости от скорости течения и размеров твердых частиц река перекатывает, переносит во взвешенном состоянии или в растворенном виде большое количество размывтой горной породы, частично откладывая ее по пути в виде аллювиальных отложений, частично вынося в море. При этом работа размыва берегов и дна происходит не только за счет динамической силы потока, но и путем истирания их частицами, влекаемыми водой.

Механизм размыва русла и отложения наносов хорошо понятен из приводимой ниже схемы работы реки на ее среднем участке (рис. 60).

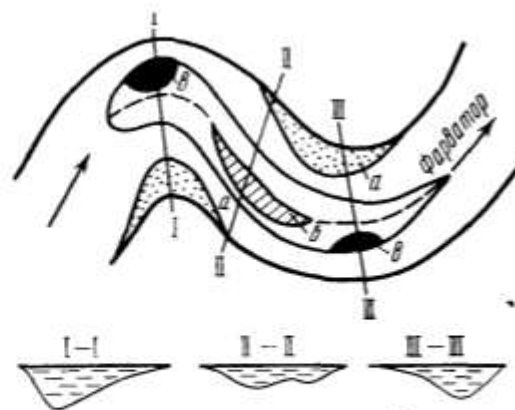


Рис. 60. Строение среднего участка реки: а — побочни; б — перекаты; в — плёсы; I—I, II—II, III—III — поперечные сечения реки

Вода, обладающая запасом кинетической энергии, ударяет в вогнутый берег, совершая работу размыва. Под этим берегом (см. профили I—I, III—III) образуется углубление — плёс, в результате чего берег обрушивается и отступает в глубь суши. Потерявшая запас энергии струя воды откладывает внизу по течению и на выпуклых берегах продукты размыва. Так образуются побочни и перекаты — наиболее мелкие места в русле реки (см. профиль II—II).

И. В. Попов пишет: «Плёсы, перекаты и побочни постепенно смещаются вниз по течению по мере того, как извилистость русла под действием потока увеличивается и извилины тоже смещаются вниз по течению» [31].

Течение воды в реке, которое производит описанную выше работу, называется «сбойным» и носит характер турбулентного винтообразного движения воды по всему живому сечению реки.

Работами В. М. Лохтина и А. Н. Лосиевского установлены характер и закономерности движения воды в реке.

На рис. 61 показано, как происходят размыв дна, расширение русла, односторонний подмыв берегов.

Эрозионная работа зависит от массы воды, изменяющейся в соответствии с гидрологическими условиями (паводок, межень), и от скорости ее движения. В этом отношении гидрологические условия равнинных и горных рек резко отличаются. Равнинные реки несут во время паводка огромные массы воды при сравнительно малой скорости (2—2,5 м/с), и наоборот, горные реки при небольшом расходе имеют скорость более 5 м/с.

Кроме того, эрозионная работа в значительной степени зависит от минерало-петрографического состава тех пород, в которых река прокладывает русло. Чем больше расход реки и чем более легко поддаются размыву породы, тем интенсивнее эрозия.

Горные реки текут в глубоких ущельях, сложенных скальными породами, и в паводковый период переносят валуны и камни массой в сотни килограммов (рис. 62). При этом русло их достаточно статично на протяжении десятков и сотен лет.

Равнинные реки Волга, Амударья, Енисей относятся к категории полноводных рек, однако интенсивность размыва у них различна. Так, например, Енисей и Амударья имеют одинаковую скорость течения, но русло первого проложено в крупных галечниках, а русло Амударьи — в лёссовых отложениях. В результате даже сильные паводки практически не меняют русло Енисея, в то время как Амударья за один паводок может прорыть себе новое русло.

Река производит большую геологическую работу размыва, переноса и отложения грунтов. Размыв угрожает сооружениям, расположенным на подмываемых берегах (здания, дороги, набережные), отложения наносов в реке затрудняют судоходство, приводя к обмелению рек.

Меры борьбы с неблагоприятными последствиями этой работы можно разделить на две части:

а) выправительные работы;



Рис. 61. Эрозионная деятельность сбойных течений в русле реки: а — размыв дна; б — расширение русла; в — односторонний подмыв берегов

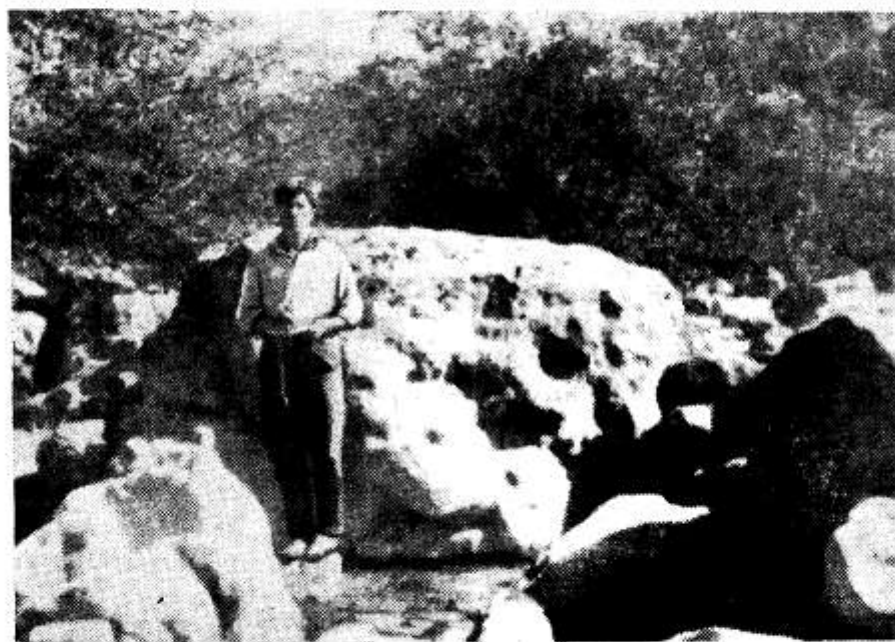


Рис. 62. Глыбовый навал в русле р. Кокоски. Крым

б) землечерпательные работы.

В основу первых положено использование транспортирующей способности потока при создании повышенных скоростей. Например, стеснение русла с помощью продольных или поперечных дамб приводит к резкому увеличению скорости движения воды на выпрямляемом участке, однако на выходе из него размываемые наносы вновь могут отлагаться в русле реки, вследствие чего задача решается только частично. Струенаправляющие и защитные сооружения рассчитаны на использование гидравлических особенностей потока: на вогнутых берегах это обычно продольные дамбы, плетневые, фашиновые или бетонные берегоукрепительные сооружения; на выпуклых берегах это полузапруды — буны, задерживающие наносы и способствующие наращиванию размываемого берега. В черте городов, промышленных центров, гидротехнических сооружений строятся набережные.

Землечерпательные работы имеют ограниченное по объему значение и заключаются в углублении дна, устройстве прорезей на перекатах с помощью различного вида земснарядов.

Геологическая деятельность морей и озер

Поверхностные воды океанов, морей, озер совершают большую геологическую работу в прибрежной полосе. Работа эта носит сложный, комплексный характер, зависящий от ряда факторов, и направлена на формирование береговой линии. Волна выполняет как разрушительную, так и созидательную работу.

При рассмотрении неблагоприятных влияний волновых процессов на сохранность береговых сооружений необходимо остановиться на разрушительной деятельности моря, или абразии, которая приводит к отступанию бровки берега в сторону суши, обрушению огромных блоков породы, разрушению защитных сооружений и возникновению вторичных явлений — обвалов и оползней.

Факторы, порождающие абразионную деятельность морей, многочисленны и разнообразны. Среди них можно выделить две группы. К первой группе относятся: ветровые и приливные волны; твердый обломочный материал, переносимый волной; морские течения. Ко второй группе следует отнести: литологический состав и условия залегания горных пород в береговой полосе; водопрочность пород; форму очертания берегового склона.

Определяющим и наиболее активным абразионным фактором является энергия ветровой и приливной волны. Кинетическая энергия, или живая сила удара волны, выражается массой волны и скоростью ее движения. Для волн, которые формируются под действием ветра, высота, период колебаний и скорость движения зависят от энергии ветра: чем больше высота и длина волн, тем больше масса движущейся воды. Так как скорость в формулу кинетической энергии входит во второй степени, то даже ее незначительное изменение вызывает увеличение живой силы. Это особенно сказывается во время штормов и ураганов, когда высота волны достигает в открытых морях и океанах 12—16 м при длине 300—400 м.

По подсчетам В. П. Зенковича [8], сила удара, наблюдавшаяся в различных морях, колеблется от 0,06—0,07 МПа для внутренних морей до 0,3—0,6 МПа и более для океанских берегов.

Естественно, что такое дробящее воздействие волн, обрушивающихся подобно громадному молоту на берег, производит большую и постоянную во времени разрушительную работу. Примером этому может служить о-в Гельголанд в Северном море, площадь которого уменьшилась за 900 лет (с 1072 г.) примерно на 900 км² [32].

Приливные волны, вызываемые притяжением Луны, имеют меньшую энергию размыва, однако приливы, достигающие в некоторых районах высоты 10—12 м, представляют значительную угрозу для сооружений, расположенных на берегах.

Морские течения, обладающие сравнительно небольшой скоростью, практического значения в процессе размыва не имеют, но играют большую роль в транспортировке продуктов размыва.

Таким образом, можно утверждать, что основным разрушительным фактором в процессе абразии является ударная сила волны*.

Вторая группа факторов зависит от пород берегового склона, подвергающегося абразии. Это прежде всего литолого-петрографический состав пород. Склоны, сложенные рыхлыми песчано-глинистыми отложениями, разрушаются интенсивнее по сравнению с берегами, сложенными скальными и полускальными твердыми осадочными породами.

Так, например, на восточном берегу Азовского моря у г. Приморско-Ахтырска разрушение глинистого берега идет со скоростью 12 м в год, а в Крыму, к югу от Феодосии, берег Карадага, сложенный вулканическими породами, разрушается очень медленно.

Сравнительная картина разрушения в зависимости от различных литологических условий видна и на представленных ниже снимках.

На рис. 63 показан берег Азовского моря, легко поддающийся абразии. Глинистые рыхлые отложения не только размываются, но и непрерывно увлажняются, отрываются от массива породы и сползают вниз.

На другом участке берега чередование рыхлых песчано-глинистых разностей с твердыми плотными или сцементированными породами типа известняков, конгломератов, песчаников приводит к образованию глубоких волноприбойных ниш и нависающих береговых уступов (рис. 64), вследствие чего процесс абразии протекает медленнее.

Условия залегания горных пород также оказывают влияние на разрушение берега (рис. 65). В случае падения пластов в сторону берега обрушение его протекает быстро, так как вода подрезает сразу целую пачку пластов или полную мощность слоя. При горизонтальном залегании разрушение берега несколько замедляется и наиболее медленно оно протекает при пологом падении пластов в сторону моря.

Водопрочность пород играет далеко не последнюю роль при определении интенсивности абразии. Более легко поддаются разрушению неводопрочные грунты со слабыми водноколлоидными связями — лёссы, мергели и т. д.

Тяжелые суглинки и глины, которые с трудом переходят в мягкую консистенцию, а также песчаники, известняки и другие породы с жесткими связями при взаимодействии с водой значительно лучше противостоят волновой деятельности.

Очень большое значение в абразивном процессе играют форма очертания и крутизна берегового склона.

По форме очертания различают берега приглубого и отмелого профилей.

* Масса волны увеличивается за счет значительного количества обломочного материала, захватываемого волной и перемещающегося вместе с ней во взвешенном состоянии.



Рис. 63. Абразия берега Азовского моря, сложенного рыхлыми породами

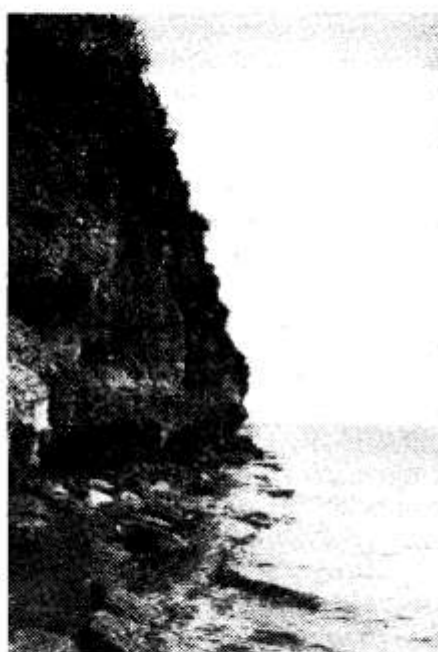


Рис. 64. Абразия берега Азовского моря, сложенного известняками

Степень интенсивности абразии при одних и тех же гидрометеорологических условиях различна. Ниже приведена схема наката волны на берег (рис. 66), из которой следует, что у приглубых берегов волна подходит к отвесному берегу, полностью сохраняя свою живую силу, и ударяется о него всем фронтом.

На отмельных берегах по мере приближения к надводной части берега волна деформируется, расплывается, наклоняется, вследствие чего сила удара резко уменьшается.

Откат волны происходит медленно из-за малого уклона дна у берега, в результате чего скопившиеся массы воды тормозят следующую набегающую волну. В этом случае аккумуляция наносов будет превалировать над разрушением берега.

Типичный профиль абразионного берега изображен на рис. 67. Над уровнем моря возвышается береговой уступ, в нижней части которого расположена волноприбойная ниша. При ее дальнейшей разработке происходит обрушение уступа и отступление берега в глубь материка. Далее, в сторону моря вдоль берега развита слабонаклонная полоса различной ширины (пляж), сложенная крупным обломочным материалом — продуктами дробления глыб берегового уступа. Ниже находится подводная абразионная терраса, прикрытая также обломочным материалом, к которой прислонена идущая в глубину аккумулятивная терраса.

Процесс непрерывного перемещения, сортировки и дробления материала происходит в береговой зоне, т. е. по обе стороны линии берега, в полосе пляжа и на абразионной террасе.

Аккумулятивный тип берега всегда более пологий и равнинный (рис. 68).

Формирование береговых террас происходит путем осаждения твердого материала в верхней части пляжа при очень пологих берегах (угол наклона не превышает 5° , как, например, на побережье Балтийского моря).

Отложения аккумулятивной равнины обусловлены как накоплением материала береговых валов при отступании моря, так и вторичными явлениями разветвления отложений ветрами, дующими с моря.

Высота берегового вала может достигать 2—5 м. Скорость намыва зависит от гидрологических условий, и часто привнос материала во время шторма бывает больше, чем накопление его в течение нескольких лет. Так, например, М. Неймар в книге «История Земли» (1899 г.), описывает случай, когда во время бури в Кронштадтском заливе 27 августа 1879 г. образовался вал из песка, гравия и гальки протяженностью около 10 км и объемом до 80 тыс. м³.

Образование береговых валов происходит в том случае, когда направление волн или течения перпендикулярны к берегу. В случае движения волн или воды под углом к берегу образуются бары, подводные валы, косы и т. д.

Бар — это вал, поднимающийся выше уровня воды и отделяющий от моря мелководный бассейн — лагуну или лиман. Низ-

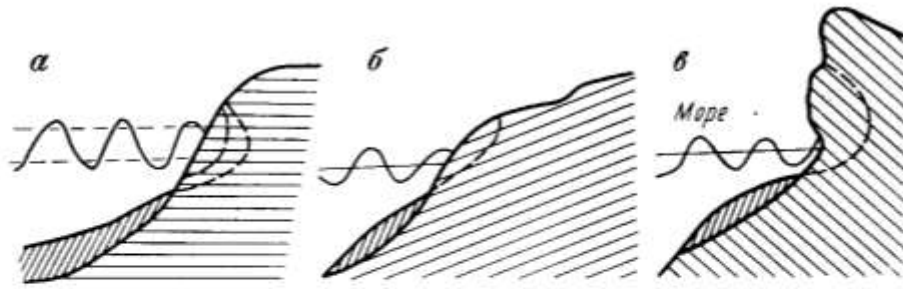


Рис. 65. Влияние условий залегания горных пород на интенсивность абразии: а — горизонтальное залегание пластов; б — падение пластов в сторону моря; в — падение пластов в сторону берега

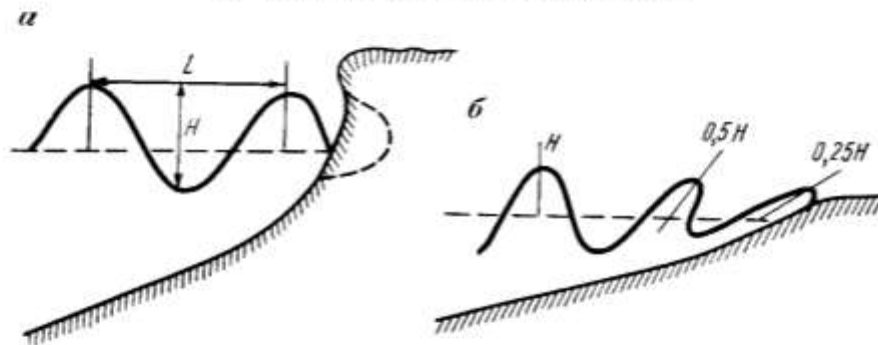


Рис. 66. Схема наката волны на приглубый (а) и отмельный (б) берега: H — высота волны, L — длина волны

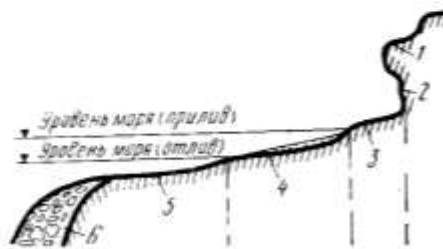


Рис. 67. Профиль абразивного берега (по В. П. Зенковичу): 1 — береговой уступ, 2 — волноприбойная ниша, 3 — берег, 4 — пляж, 5 — абразивная терраса, 6 — аккумулятивная терраса

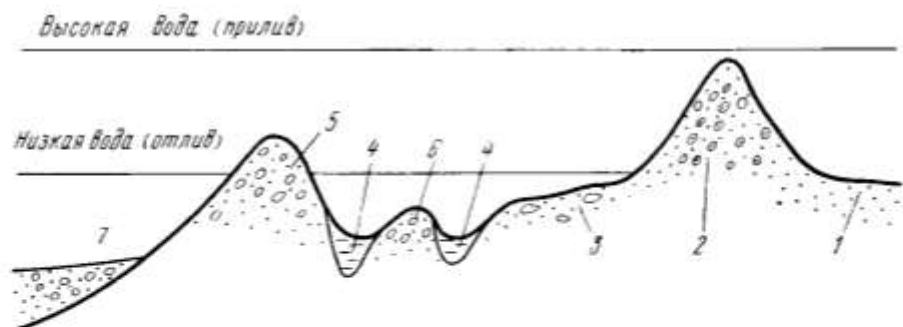


Рис. 68. Профиль аккумулятивного берега (по В. П. Зенковичу): 1 — надводная аккумулятивная терраса; 2 — береговой вал; 3 — пляж; 4 — лагуны; 5 — бар; 6 — подводный вал; 7 — аккумулятивная подводная терраса

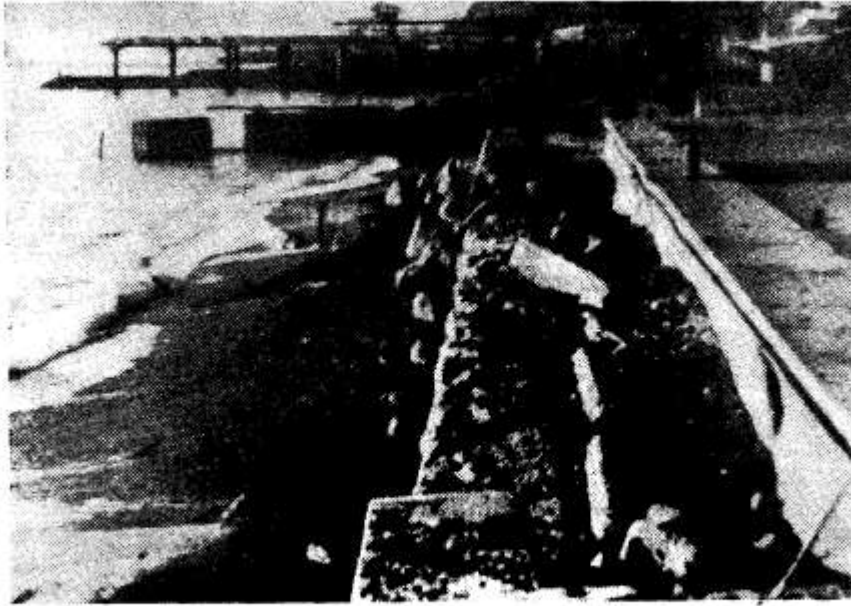


Рис. 69. Старая разрушенная набережная. Алушта

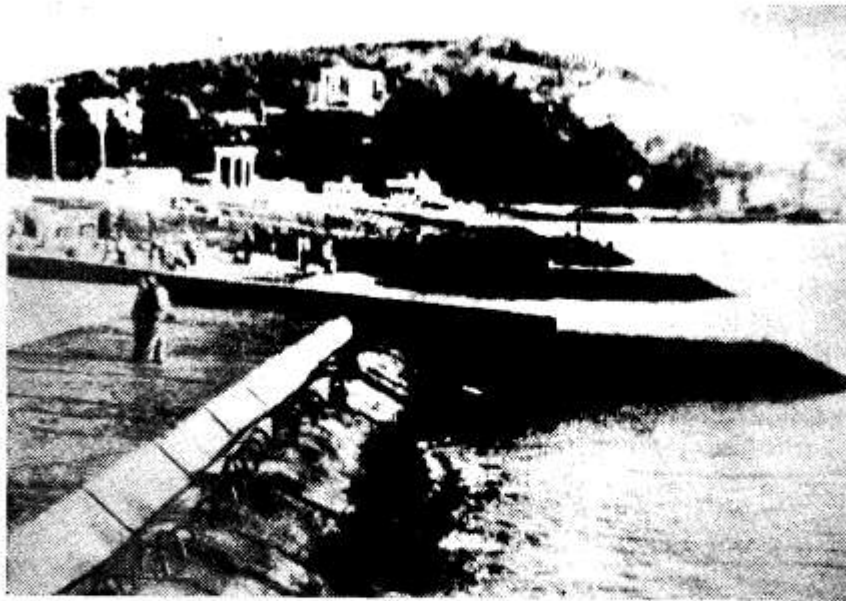


Рис. 70. Новая набережная. Алушта

кие надводные валы, расположенные у одного из выступов берега, вдающегося в море, называются косами.

Косы, протягивающиеся от одного берега бухты к другому, образуют мелководные участки типа лиманов. В этом случае косы называются пересыпями или стрелками. Таковы коса Теңдерская на Черном море длиной 90 км и Арабатская стрелка в восточной части Азовского моря, отделяющая Сиваш, длиной 220 км.

Перемещение наносов вдоль берега может протекать с большой скоростью, достигающей 100—700 м/сут. Вследствие этого строительство каких-либо сооружений в полосе пляжа или срезка части его территории при строительных работах могут привести к нарушению сложившегося равновесия, увеличив размыв в одних местах или аккумуляцию в других.

Борьба с этими явлениями ведется с помощью возведения в зоне волноприбойной деятельности специальных защитных гидротехнических сооружений двух типов: пассивных и активных.

К сооружениям первого типа относятся: волноотбойные стенки, или набережные, каменная наброска из глыб, тетраподы. Это массивные сооружения, выполненные из бетона, железобетона или камня и непосредственно защищающие береговую откос, или бровку, от разрушения волной.

Несмотря на большую прочность таких сооружений они разрушаются вследствие подмыва основания и ударов волн в течение 5—10 лет. Так, например, набережная в Алуште просуществовала с 1956 по 1980 г. и в настоящее время полностью разрушена (рис. 69). Поэтому сами по себе пассивные сооружения неэффективны, они должны сочетаться с сооружениями активного типа. К последним относятся молы, волноломы, буны и бетонные пляжи.

Молы и волноломы — это массивные гравитационные сооружения, предназначенные для гашения кинетической энергии удара волны на некотором расстоянии от берега.

Буны и продольные волноломы — сооружения, опирающиеся одним концом («корнем») о берег и выдвинутые перпендикулярно или под углом к берегу в акваторию. Буны служат для гашения энергии волн и осаднения наносов, которые образуют в промежутках между бунами полосу искусственного пляжа. В последнее время буны применяются в комплексе с широкой железобетонной плитой типа рисбермы, представляющей собой искусственный пляж, хорошо гасящий энергию набегающей волны. Такая конструкция применима для защиты берега, например в Алуште (рис. 70).

Сели

Сели — горные потоки, формирующиеся в некоторых водосборных бассейнах преимущественно при ливневых осадках или снеготаяния и насыщенные твердым материалом. Они обладают

значительными скоростями движения, большой разрушительной силой и создают характерные для них отложения.

Для формирования селей необходимы следующие условия:

а) наличие рыхлого выветрелого песчано-глинистого или обломочного материала элювиального, делювиального, ледникового или коллювиального происхождения;

б) наличие крутых уклонов местности, русла горного потока, ложбин стока и других продольно вытянутых отрицательных элементов рельефа;

в) выпадение интенсивных атмосферных осадков или снеготаяние, сосредоточенный расход воды, возникающий при прорыве озер или искусственных водоемов.

Возникновение селей может ужесточиться дополнительными условиями: наличием осыпей, обвалов или оползней, поставляющих большой объем легкоразмываемого или переносимого водой рыхлого материала; отсутствием залесенности и задернованности склонов, способствующим интенсивной эрозии и накоплению рыхлого материала; строительной деятельностью человека, связанной с нарушением равновесия земляных масс на склонах.

В зависимости от соотношения в селевом потоке воды и твердой фазы, а также от состава этой фазы все сели следует разделить на две основные группы — связанные и несвязные. В свою очередь несвязные подразделяются на грязекаменные и водокаменные.

Под *связными* следует понимать такие сели, в состав которых входит до 30 % глинистого материала, что придает им значительную вязкость и относительно медленное движение. Они имеют большую плотность (1,6—1,9 т/м³), вследствие чего обладают большой разрушительной силой. В случае замедления движения при встрече препятствия они не разгружаются, как несвязные сели, а застывают в виде бетоноподобной массы. Такие сели чаще всего возникают в низкогорных и предгорных зонах с широким развитием пород лёссовой формации.

Несвязные сели формируются в основном из обломочного материала скальных пород и валунов твердых осадочных пород, гравийно-галечникового материала. Они имеют различное соотношение воды и твердой фазы (от 30 до 70 % обломочного материала). В случае, когда помимо крупных обломков в селе содержится до 15 % мелкозема, что придает ему некоторую вязкость, мы относим его к грязекаменным селям. Они имеют значительную плотность (до 1,5 т/м³) и могут переносить во взвешенном состоянии глыбы и валуны объемом в десятки кубических метров.

Водокаменные сели, наоборот, практически не содержат мелкозема и насыщены крупнообломочным материалом. В результате транспортировки этого материала дно русла сильно углубляется. Отличительной чертой водокаменных селей является характер их движения. Доходя до какого-либо препятствия, они разгружаются, т. е. оставляют возле него часть твердого материала. Процесс разгрузки длится до тех пор, пока селя либо не прорвет образовавшуюся запруду, либо не перехлестнет через нее. Поэтому движе-

ние селя носит толчкообразный пульсирующий характер. Ввиду присутствия в составе потока крупных глыб такой селя особенно опасен для инженерных сооружений, расположенных на его пути (мосты, здания, железные дороги и др.).

Несвязные сели часто приурочены к высокогорным районам, сложенным скальными выветрелыми породами и валунным материалом и изобилующим ледниковыми озерами плотинного типа, в результате прорыва которых может образоваться селя.

Любой селевый поток имеет три области: питания, транзита и разгрузки.

Область питания находится на наиболее высоких отметках. Она представляет собой котловину или верхнюю часть водосборного бассейна, имеющую крутые склоны в состоянии предельного равновесия, обнаженные или слабо заросшие (рис. 71).

Область транзита представляет собой путь движения селя, или многократно пройденный или вновь прокладываемый по линии наибольшего падения (рис. 72). Падение дна на этом отрезке составляет $25-40^\circ$, склоны неустойчивы вследствие подрезки движущимся потоком или течением реки. На этом участке селя движется с максимальной скоростью и приостанавливается только в местах создаваемых им же заторов.

Область разгрузки представляет собой нижнюю часть долины реки или выход на предгорную равнину. Здесь селя резко замедляет свое движение: происходит разгрузка принесенного материала с образованием конуса выноса, площадь которого зависит от объема селя или многократного его повторения (рис. 73).

Тип селя, условия его формирования определяют скорость движения, объем вынесенного материала и те последствия, которые он оказывает на окружающую среду.

Сели широко распространены во многих горных районах СССР, в частности в Карпатах, на Кавказе, в Крыму, в районе оз. Байкал, Заилийском Алатау, Тянь-Шане, Памире, Саянах (рис. 74).

На территории Карпат за последние 45—50 лет наблюдается интенсивное селепроявление в районах рек Черемош, Тиса, Прут и Днестр. Выявлено свыше 200 селевых водосборов, приуроченных к трем районам среднегорья с относительно глубоким альпийским расчленением. Количество осадков в этих районах составляет 1000—1600 мм в год.

В Крыму преобладают водокаменные сели с плотностью $1,1 \text{ т/м}^3$ и скоростью движения до 5 м/с; объем выноса материала в редких случаях превышает 20 тыс. м^3 . Сели проходят в долинах рек Кача, Альма, Бельбек, Улу-Узень со средней периодичностью один раз в 2—7 лет.

На Кавказе селепроявления отмечены в районе Главного Кавказского хребта. Сели, в основном грязекаменные, имеют большую интенсивность и частую повторяемость. Таким же широким распространением они пользуются на южных склонах Большого Кавказа и в горах Малого Кавказа по долинам рек Памбак, Аракс и в предгорной полосе Араратской равнины.

Сели представляют большую опасность для плантаций виноградов, садов, населенных пунктов и железнодорожных магистралей.

Катастрофический сель 1967 г. в бассейне р. Терека отложил массы пород в несколько миллионов кубических метров и переносил глыбы размером до 5 м. Второй сель в этом же районе



Рис. 71. Очаг зарождения селя. Северный Кавказ



Рис. 72. Селеносное русло. Северный Кавказ

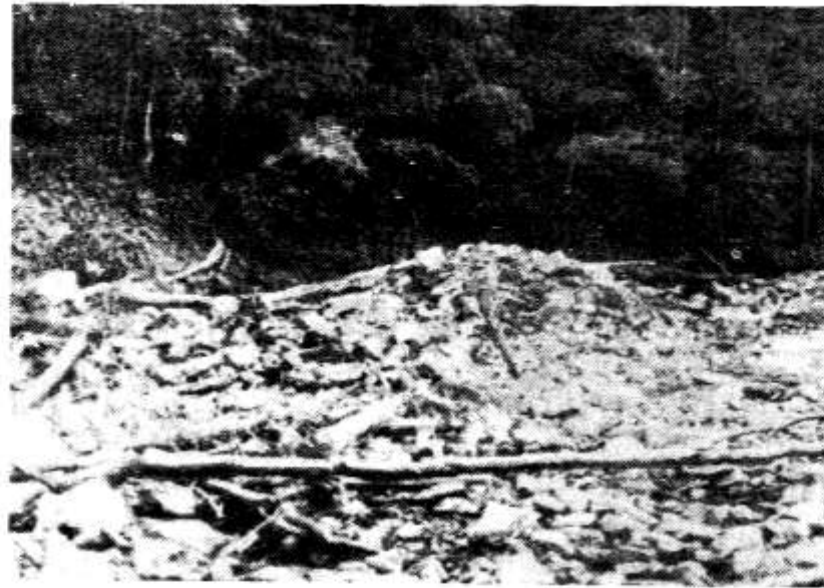


Рис. 73. Отложения селевого потока в Ивано-Франковской области

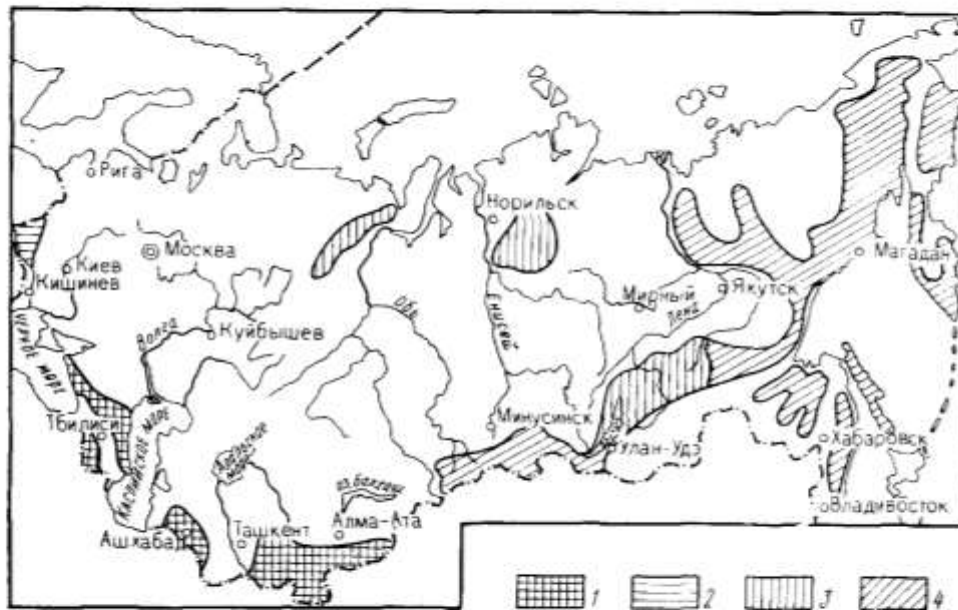


Рис. 74. Схема распространения селей на территории СССР (по А. И. Шеко): 1 — интенсивные; 2 — средней интенсивности; 3 — слабые; 4 — предположительные

в 1970 г. разрушил мост у пос. Казбеги и участок Военно-Грузинской дороги протяженностью 8 км [10].

Сели Средней Азии приурочены к предгорным и красвым областям Ферганской долины с ее горным обрамлением, к юго-западному и южному склонам Гиссарского хребта, северу и югу Киргизии, к бассейну оз. Иссык-Куль.

Четыре катастрофических селя произошли в районе Алма-Аты, в бассейне р. Малой Алмаатинки, берущей начало в горах Запильского Алатау, в период с 1841 по 1973 г. Сель 1921 г. был наиболее разрушительным по своим последствиям, так как сопровождался разрушением большого числа зданий, гибелью более 400 человек и выносом свыше 3,5 млн. м³ твердого материала, покрывшего территорию города двухметровым слоем застывшей бетоноподобной массы. Весь этот объем был перемещен селом на расстояние нескольких десятков километров в течение 4 ч.

Причиной Алма-Атинского селя 1921 г. было интенсивное снеготаяние обильного снежного покрова и более чем полумесячная норма осадков, выпавшая в горах менее чем за сутки.

Последний сель в районе Алма-Аты произошел 15 июля 1973 г. в результате прорыва в горах ледниковых озер. Объем селевых масс, устремившихся к городу, превысил 4 млн. м³. Сель был задержан в створе высокогорного катка Медео построенной в 1970 г. селеудерживающей плотиной высотой 115 м [24]. В том же 1973 г. 7 июля в результате прорыва моренного озера в окрестностях ледника Жерсай в 60 км от Алма-Аты было выплеснуто селом оз. Иссык объемом около 18 млн. м³, расположенное на высоте 1800 м над уровнем моря.

Селевые процессы в Забайкалье характеризуются большой интенсивностью и частотой проявления, особенно в бассейне р. Слюдянки и в пределах Байкальского, Баргузинского, Северного и Южного Муйского хребтов. Здесь вследствие большой крутизны склонов, густой эрозивной сети, мощной толщи элювия и делювия и значительного количества атмосферных осадков сели представляют постоянную угрозу для дорог и инженерных сооружений [10].

Борьба с селями может быть эффективной только в том случае, когда она ведется на всех стадиях и во всех зонах формирования селей, в едином комплексе заранее намеченных мероприятий.

1. В зоне питания: а) повышение устойчивости склонов, покрытых рыхлыми накоплениями (срезка, планировка, террасирование); б) организованный перехват и отвод поверхностных вод с помощью водозадерживающих валиков, ливнеотоков, быстротоков, дренажей; в) устройство подпорных стенок и берм; г) фитомелиорация — посадки деревьев и кустарников с мощной корневой системой для укрепления рыхлых склоновых отложений и предохранения их от струйчатой эрозии; д) режимные наблюдения за скоростью осадконакопления и метеорологические наблюдения за осадками.

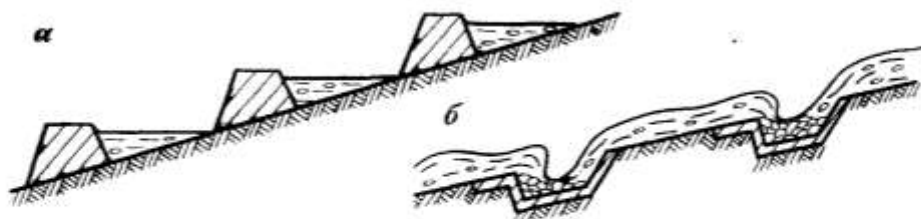


Рис. 75. Средства защиты от селей: а — полузапруды; б — селеуловители

II. В зоне транзита: уменьшение живой силы селевого потока путем снижения его скорости и частичной разгрузки. Это достигается устройством полузапруд, селеуловителей, которые уменьшают уклон дна потока и его разрушительную силу (рис. 75).

III. В зоне разгрузки: а) устройство сооружений для задерживания и аккумуляции масс селя; б) отвод селя от сооружений или пропуск выше или ниже сооружения. С этой целью при выходе селя на равнину в непосредственной близости от объекта устраиваются селеотводящие каналы, селенаправляющие стенки.

Для предохранения дорог и сооружений, находящихся на пути движения селей, устраивают селедуки и селезащитные галереи.

Глава 24

ПРОЦЕССЫ, СВЯЗАННЫЕ С ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Как было указано в гл. 23, часть атмосферных вод в результате инфильтрации попадает в грунт, заполняет поры и может находиться либо в состоянии покоя, либо в состоянии движения. В первом случае в соответствии с законом Архимеда вода создает взвешивающее гидростатическое давление, направленное снизу вверх.

Если грунтовая вода будет находиться в состоянии движения, т. е. если мы будем иметь дело с грунтовым потоком, то частицы грунта кроме гидростатического давления, будут испытывать еще и гидродинамическое давление. Величина последнего (D) определяется по формуле

$$D = \rho_w I n, \quad (24.1)$$

где ρ_w — плотность воды, г/см³; I — напорный градиент; n — пористость.

Направление гидродинамического давления имеет большое значение. Если вектор давления направлен снизу вверх, то наблюдается разрыхление грунта и вынос частиц током воды. При обратном направлении вектора давления имеет место уплотнение грунта.

Напорный градиент, при котором частицы грунта находятся во взвешенном состоянии, называется критическим напорным градиентом.

Явления, связанные с движением подземных вод, относятся к разряду гидродинамических. Они обуславливаются перемещением, вымывом и выносом частиц грунта фильтрационным потоком вследствие больших скоростей движения воды или в результате возникновения гидродинамического давления. К таким явлениям относятся: суффозия и пльвуны.

Суффозия

Суффозией называют процесс выноса частиц грунта током подземной воды с образованием пустот, воронок или провалов, в ряде случаев сопровождающихся оседанием поверхности земли.

Выделяют различные виды суффозии: механическую, химическую, глиняный, или лёссовый, карст, суффозионную осадку и суффозионные оползни. Все это близкие по характеру проявления одного и того же процесса, вызывающие различные по форме деформации поверхности земли.

Механическая суффозия чаще всего происходит в рыхлых песчаных грунтах неоднородного гранулометрического состава, однако она наблюдается также и в связных пылеватых грунтах и в глинах.

Во всех перечисленных случаях суффозия может возникнуть только при наличии ряда условий, обеспечивающих в водонасыщенном грунте гидродинамический напор и одновременно свободное продвижение частиц в порах.

Н. М. Бочков выделяет следующие условия:

а) гидравлический градиент больше 5. Наличие такого градиента придает грунтовому потоку турбулентный характер движения, при котором возникают критические скорости, приводящие к выносу отдельных частиц из слоя. С увеличением диаметра частиц возрастают критические скорости: для 0,001 мм — 0,02 см/с; для 0,01 мм — 0,5 см/с; для 0,1 мм — 3,0 см/с и т. д.;

б) соотношение размеров наиболее крупных (d_{max}) и наиболее мелких (d_{min}) частиц в грунте должно быть не менее 20, т. е.

$$\frac{d_{max}}{d_{min}} \gg 20, \quad (24.2)$$

в) соотношение диаметра пор (D) и диаметра преобладающей в грунте фракции (d) должно отвечать условию

$$\frac{D}{d} \gg 8; \quad (24.3)$$

г) соотношение коэффициентов фильтрации двух смежных контактных слоев должно отвечать условию

$$\frac{K_c}{K_n} > 2, \quad (24.4)$$

где K_c — коэффициент фильтрации суффозионного слоя; K_n — коэффициент фильтрации подстилающего слоя.

Таким образом, механическая суффозия возникает лишь при условии неоднородного гранулометрического состава грунтов, их значительной пористости и турбулентного движения грунтового потока.

Химическая суффозия является начальным этапом суффозии засоленных грунтов. При наличии в грунтах водорастворимых солей последние сначала начинают растворяться, а затем вымываться из грунта. Это приводит к размягчению и ослаблению солевых связей, в результате чего отдельные частицы грунта отрываются и выносятся; происходит увеличение пористости, возникают турбулентное движение воды и повышенные градиенты.

Химическая суффозия может возникнуть в случае соответствующего солевого состава грунтов и определенных гидрогеологических условий и проявиться либо в образовании пустот в грунте, либо в виде суффозионной осадки слоя грунта.

На рис. 76 приведены различные формы химической суффозии в загипсованных суглинках одного из оросительных каналов от образования ячеистой структуры до крупных каверн на дне канала.

Суффозионная осадка, возникающая как результат вымыва и выноса частиц в слое грунта, — это оседание слоя, которое является следствием повышения его пористости и увеличения давления вышележащего грунта. Она представляет опасность для гидротехнических сооружений и может привести к недопустимым деформациям основания.

Лёссовый карст наблюдается в пылеватых лёссовидных грунтах, залегающих на крутых склонах берегов рек или оврагов. Эти грунты часто сильнокарбонатные или содержат в большом количестве гипс. Присутствие в них столбчатой структуры и анизотропности по отношению к водопроницаемости объясняет довольно легкое проникновение воды вдоль корнеходов и вертикальных трубчатых каналцев, заполненных гумусом или солями.

Плащеобразное залегание, гипсометрическое положение, структура и пылеватый гранулометрический состав грунтов способствуют созданию условий для суффозионного выноса частиц, в результате чего на бровках обрывистых склонов и в откосах оврагов образуются суффозионные воронки, поноры и другие формы суффозии, получившие название лёссового, или глиняного, карста (рис. 77).

Суффозионные оползни возникают как результат суффозионного выноса частиц грунта на контакте двух слоев. Обычно подстилающий слой представляет собой маловодопроницаемый глинистый грунт, а вышележащий состоит из рыхлых слабосвязных или несвязных грунтов и является водовмещающим.

Суффозионные явления могут иметь неблагоприятные послед-

ствия как сами по себе (образование пустот и провалов), так и в комплексе с другими явлениями.

Основные средства борьбы с суффозией — это перехват и отведение вод грунтового потока. В большинстве случаев это достигается устройством различного вида дренажей.

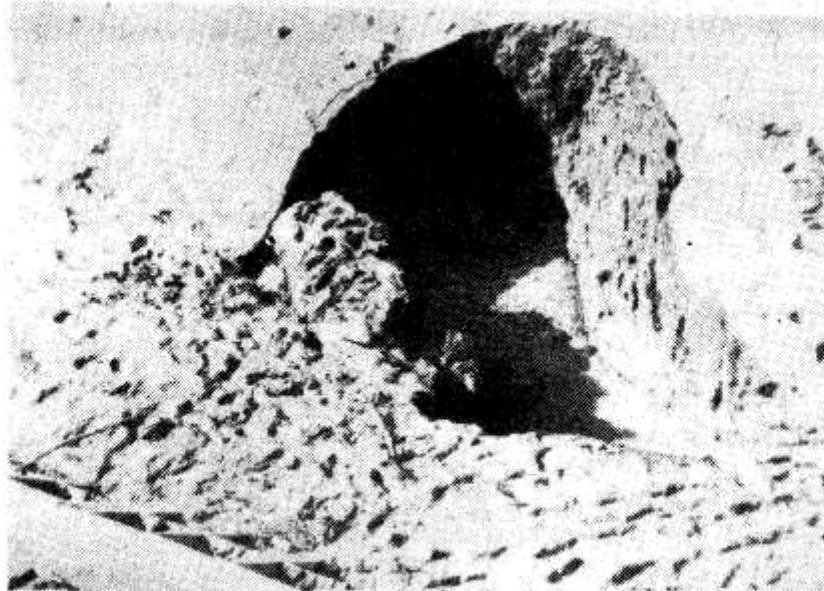


Рис. 76. Суффозионный провал в дне оросительного канала



Рис. 77. Лёссовый карст в дне оврага

Плывуны

Плывунами называются песчано-глинистые водонасыщенные грунты, ведущие себя наподобие вязких жидкостей. При вскрытии их выемкой они разжижаются, приходят в движение, заполняют подземные выработки и котлованы, засасывают тяжелые предметы; в свободном состоянии не обладают несущей способностью.

По своему составу и свойствам плывуны бывают двух видов, что дало основание А. Ф. Лебедеву разделить их на ложные и истинные.

Дальнейшее изучение этих грунтов показало, что оба вида имеют разную природу и, по-видимому, различные причины перехода в плывунное состояние. Ложные плывуны (псевдоплывуны) представляют собой обычные несвязные раздельнозернистые грунты, которые переходят в плывунное состояние в результате полного водонасыщения и возникновения в них гидродинамического давления движущегося грунтового потока.

Истинные плывуны, которые сегодня еще недостаточно изучены, могут быть разнообразными по своему гранулометрическому составу — от песков до суглинков. В этих грунтах существуют структурные связи коллоидного характера; они обладают высокой гидрофильностью и малой прочностью. При ударах, сотрясениях, вибрациях часть связанной воды высвобождается, структура грунта разрушается, и он разжижается. Такое разжижение называют *тиксотропным*.

Свойства истинных плывунов объясняются их природой, т. е. содержанием в их составе не только гидрофильных минералов типа монтмориллонита и гидрослюд, но и микроорганизмов, особого вида бактерий, влияющих на формирование плывунных свойств [42].

Гидродинамическое давление наблюдается как у ложных, так и у истинных плывунов, однако в остальном их свойства настолько различны, что для борьбы с этими двумя разновидностями плывунов требуется и различный подход. Установить вид плывуна помогают следующие диагностические признаки (табл. 37).

Ложные плывуны — это обычные несвязные грунты в состоянии водонасыщения. Они содержат в порах свободную воду, обладают водоотдачей и водопроницаемостью, открытой пористостью, сравнительно невысокой плотностью и не имеют каких-либо цементирующих компонентов. Такие грунты легко поддаются осушению, закреплению шпунтовыми ограждениями и замораживанию.

Наоборот, истинные плывуны ведут себя как глинистые грунты: обладают некоторой связностью и совершенно не отдают воду при обычных способах водопонижения. Сотрясение и вибрация при производстве подземных работ или в котлованах ведут к тиксотропному разжижению.

Все это требует особого подхода при проведении работ в истинных плывунах: взрывные работы при проходке не допускаются;

Характеристика пьезунов

Диагностический признак	Вид пьезуна	
	ложный	истинный
Состав	Пески, гравий	Пески глинистые, супеси, суглинки
Плотность сухого грунта	1,5—1,75 г/см ³	1,8—2,2 г/см ³
Коэффициент фильтрации	Более 1 м/сут	Около 0,01 м/сут
Водоотдача	Хорошая и средняя	Нулевая
Осветляемость жидкости, вытекающей из пьезуна	Осветляется в течение нескольких минут	Остается в мутном состоянии в течение многих суток
Цементация после высыхания	Слабая	Прочная

проходка производится с надежным креплением выработок; водопонижение осуществляется только с помощью электроосмотического метода. Закрепление ложных пьезунов, если оно необходимо, осуществляется методом двухрастворной силикатизации. Истинные пьезуны в силу своей малой водопроницаемости могут быть закреплены лишь временно; с этой целью применяется метод замораживания.

Глава 25

ПРОЦЕССЫ, СВЯЗАННЫЕ С СОВМЕСТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Существуют явления, возникновение которых не может быть объяснено в основном действием какой-либо одной причины — деятельностью поверхностных или подземных вод. К ним относятся явления просадок лёссовых грунтов и возникновение карста.

Характерной чертой процессов просадок и карстообразования является их приуроченность к породам со своеобразными свойствами. Так, например, просадочность возникает только в областях, сложенных лёссовидными грунтами, однако площадь их распространения на территории СССР велика и составляет 3,3 млн. км². Карстообразование приурочено к районам развития растворимых горных пород, пользующихся широким распространением в нашей стране.

Определяющим фактором как просадок, так и карста является растворяющее, размягчающее, и выщелачивающее действие поверхностных и подземных вод. Громадное значение имеют также литолого-петрографический состав и тип внутренних связей в этих породах.

Просадочность лёссовых грунтов

В гл. 7 подробно рассмотрены свойства лёссовых грунтов и природа просадочности. Поэтому здесь необходимо лишь отметить те особенности этих грунтов, которые приводят к возникновению просадок при взаимодействии лёссовых грунтов с поверхностными и подземными водами.

Особые свойства лёссовых грунтов и, в частности, склонность к просадочности объясняются их природной недоуплотненностью. Так, например, для Херсонской и Николаевской областей УССР характерны разуплотненные разности лёссовидных суглинков на глубинах 3,5 и даже 7 м от поверхности.

Другой особенностью лёссовых грунтов являются их значительная карбонатность и большое содержание водорастворимых солей — сульфатов, хлоридов. В частности, на юге Украины и в Степном Крыму содержание гипса в лёссовидных суглинках достигает 10—15 %.

Сочетание природной разуплотненности и значительной засоленности лёссовых грунтов обуславливает их склонность к просадке, часто не заканчивающейся этапом уплотнения грунта при замачивании, а увеличивающейся с течением времени за счет химической суффозии водорастворимых солей (послепросадочный этап).

Морфологическими признаками территории, на которых возможно проявление просадок в лёссовых грунтах, являются такие специфические формы рельефа, как поды и просадочные блюдца на террасах и водоразделах, промоины, поноры и суффозионно-просадочные воронки вдоль берегов рек.

Карст

Процесс выщелачивания растворимых пород движущимися поверхностными и подземными водами, сопровождающийся образованием воронок, провалов и других пустот, а также оседанием кровли, называется карстообразованием, или карстопроявлением.

И. В. Попов характеризует это явление еще более емко: карст «...выражается в образовании крупных пустот в земной коре, разрушении и изменении структуры и состояния горных пород, в создании особого характера циркуляции и режима подземных вод, в образовании характерного рельефа местности и режима гидрографической сети» [31].

Из приведенных определений следует, что главными условиями карстообразования являются:

1) наличие растворимых горных пород (известняков, доломитов, соленосных толщ, мела, мергеля) при условии залегания их выше базиса эрозии;

2) корродирующая деятельность поверхностных и подземных вод, скорость их движения, гидродинамический напор и химический

состав. С этой точки зрения карст нельзя смешивать с химической суффозией, которая, как известно, происходит в засоленных, преимущественно песчано-глинистых отложениях и отличается от карста условиями возникновения и развития процесса, площадью пораженности и размерами возникающих пустот.

Как уже упоминалось, карст имеет широкое распространение на территории нашей страны. В пределах Русской платформы его проявления встречаются в карбонатных и гипсоносных толщах каменноугольного и пермского возраста. В южной части Балтийского щита расположены закарстованные карбонатные породы силура и ордовика.

В пределах Причерноморской впадины закарстованы известняки неогена. В Предкарпатье, Закарпатье, Днепровско-Донецкой впадине и Прикаспии широким развитием карста пользуются галогенные породы. На больших территориях Горного и Степного Крыма карст приурочен к различным карбонатным отложениям мелового и неогенового возраста.

Сульфатно-карбонатные породы юры, мела, палеогена и неогена Кавказа и Закавказья также изобилуют карстопоявлениями. Завершается распространение карстов в европейской части СССР карбонатной серией пород различного возраста западного и восточного склонов Урала (рис. 78).

В Западной Сибири карст известен по течению р. Лены и ее притоков. В Восточной Сибири — в районе оз. Байкал. На Востоке СССР его проявления отмечены в Казахстане, на Алтае, в Саянах, Приморье, Приамурье и на юге Якутии.

Типы и формы карстопоявления. На территории СССР встречаются следующие типы карста: открытый, или поверхностный, и скрытый, или подземный.

Открытый карст характерен, например, для крымской Яйлы. Здесь карстующиеся породы выходят на поверхность и непосредственно подвергаются размыву поверхностными водами с последующим их проникновением в глубину.

Скрытый карст наблюдается в том случае, когда карстующиеся породы, залегающие на некоторой глубине, перекрыты с поверхности толщей нерастворимых, но водопроницаемых пород. Естественно, что процесс растворения, его скорость, формы карстопоявления каждого из приведенных типов будут различны.

Разрушение растворимых пород, выходящих на дневную поверхность, происходит в несколько этапов:

- а) растворение породы дождевыми или снеговыми водами;
- б) снос продуктов растворения водой в пониженные формы рельефа — воронки, провалы;
- в) дробление твердых растворимых пород на мелкие обломки в результате выветривания;
- г) обрушение верхней части свода карстовых пещер, сопровождающееся образованием провалов или воронок.

Как результат такого разрушения возникают разнообразные формы поверхностного карста.

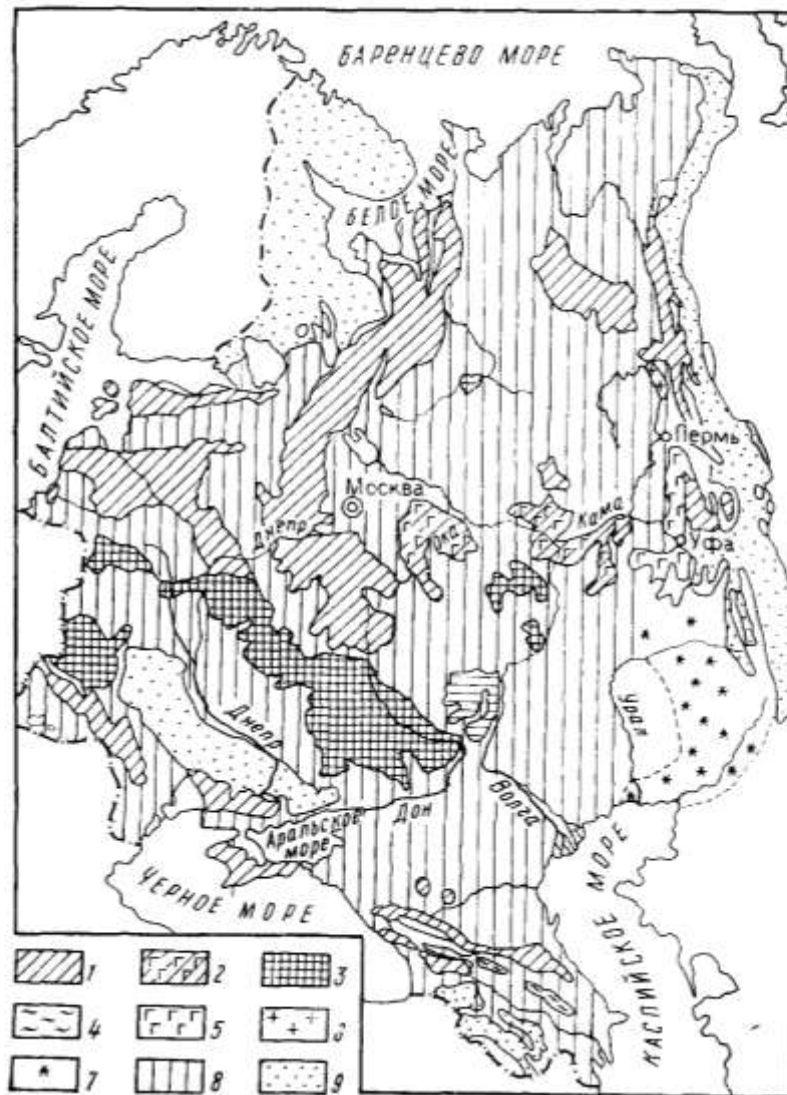


Рис. 78. Карта распространения карста на территории европейской части СССР. Закарстованные породы: 1 — известняки, доломиты, мраморы; 2 — сульфато-карбонаты; 3 — мел, мергель; 4 — карбонатный флиш; 5 — гипс, ангидрит; 6 — соли; 7 — соляные купола. Некарстующие породы: 8 — осадочные; 9 — изверженные, метаморфические, вулканические

1. Карры и карровые поля — участки, покрытые чередующимися гребнями и углублениями округлой, зигзагообразной или угловатой формы. Карры возникают вследствие неоднородной избирательной коррозии известняков, доломитов и других твердых пород.

2. Воронки — углубления первоначально конусовидной формы, округлые или овальные в плане, самых различных размеров, разной глубины, симметричные или асимметричные в разрезе, с кру-

тыми или пологими склонами, открывающиеся в подземную полость или глухие. Со временем некоторые из этих воронок превращаются в озера, другие объединяются в вытянутые понижения — *поля*.

Кроме перечисленных форм карстообразования можно назвать открытые вертикальные отверстия небольшого диаметра — *поны*, *карстовые желоба*, *карстовые останцы*.

Очень разнообразны формы подземного карста. Они отличаются очертанием, размерами, характером поверхности пород, подвергшихся растворению.

1. *Каверны* — пустоты округлой или неправильной формы небольших размеров.

2. *Каналы* — более крупные желобообразные или трубчатые пустоты, образовавшиеся вследствие расширения трещин в растворимых породах.

3. *Галереи* — крупные продольные пустоты круглого сечения, больших размеров, идущие в различных направлениях.

4. *Пещеры, залы, гроты* — полости размером в десятки метров и объемом в сотни и тысячи кубических метров, имеющие сводчатый или куполообразный потолок и большую высоту.

5. *Подземные реки и озера* — углубления в дне пещер, заполненные проточной водой.

6. *Сталактиты и сталагмиты* — натечные формы, образовавшиеся в результате медленного стекания и каплепадения раствора солей (рис. 79).

Факторы карстообразования. Карстообразование — процесс длительный и протекающий с различной интенсивностью. Он может находиться в состоянии активного роста и относительно быстрого развития, но может и полностью прекратиться. Основной причиной этого является положение пластов карстующихся пород по отношению к современному базису эрозии, которым служат, как правило, реки и другие водотоки. С этой точки зрения процесс карстообразования называется современным, если базис коррозии* находится выше базиса эрозии, или древним, если карстующиеся породы находятся глубже базиса эрозии (рис. 80).

Помимо положения базисов коррозии и эрозии существует целый ряд факторов, способствующих карстообразованию. К этим факторам относятся: водопроницаемость растворимых пород, скорость водообмена и химический состав подземных вод, рельеф и тектоника, растительный покров и климат.

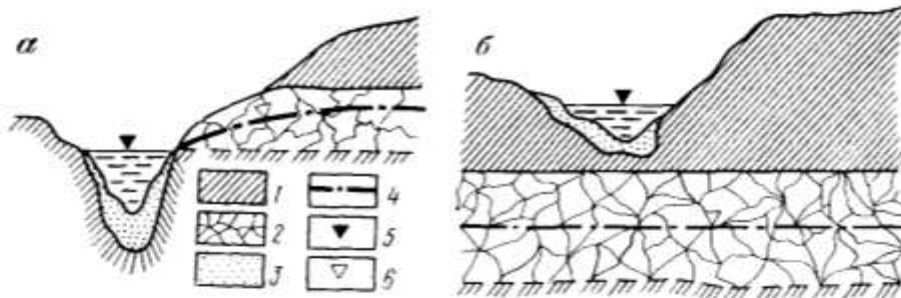
Скорость процесса карстообразования зависит от степени трещиноватости пород, так как трещиноватость и раздробленность способствуют проникновению воды в глубь массива и турбулентности ее движения, что усиливает выщелачивание.

* Базисом коррозии называется уровень, по отношению к которому развивается карст.



Рис. 79. Сталактиты и сталагмиты в пещере «Чудесница». Средний Урал

Рис. 80. Карст современный (а) и древний (б): 1 — нерастворимые породы; 2 — растворимые породы; 3 — отложения, выполняющие карстовые формы; 4 — уровень подземных вод; 5 — базис эрозии; 6 — базис коррозии



Важным фактором является водообмен, так как соли в составе пород обладают разной растворимостью. Для полного выщелачивания средне- и труднорастворимых солей и перехода их в водный раствор необходим многократный обмен воды, который может быть обеспечен только при высоких скоростях фильтрации. Для известняков и других карбонатных пород процесс карстообразования требует также наличия в воде свободной углекислоты. Присутствие в подземных водах CO_2 придает этим водам агрессивные свойства и способствует интенсивному выщелачиванию пород.

При пересеченном горном рельефе толща покровных отложений имеет меньшую мощность, чем на равнинах, что улучшает условия проникновения атмосферных вод в глубь массива. С другой стороны, тектонические движения в горно-складчатых районах оставили свои следы в виде зон смятий и нарушений, в которых водообмен и выщелачивание будут проходить интенсивнее, чем в плотных породах.

Интенсивность развития карста различна для районов с жарким сухим климатом и районов с избыточным увлажнением. Малое количество осадков и бедный растительный покров сводят к минимуму количество воды, попадающей под землю и производящей коррозионную работу. В местностях с влажным климатом густая растительность задерживает поверхностный сток, увеличивая долю подземного стока, улучшает условия пополнения грунтовых вод и обогащения их углекислотой за счет биогенных процессов, что создает хорошие условия для интенсивного развития карста.

Инженерно-геологическая оценка карста и меры борьбы с карстом. Карст представляет значительную опасность для существующих сооружений с нескольких точек зрения.

Во-первых, не всегда возможно точно определить границы распространения подземного карста, вследствие чего он может оказаться в зоне строительства или эксплуатации сооружений.

Во-вторых, трудно установить скорость карстообразования, вследствие чего невозможно прогнозировать развитие процесса и нарастание угрозы карста во времени.

Именно вследствие таких особенностей карстопроявления известны случаи недопустимых осадков или разрушений зданий и сооружений, провалов участков дороги (вблизи г. Уфы в 1927 г.), разрушения плотин, затопления тоннелей, утечки воды из водохранилищ.

В зависимости от типа карстующихся пород и назначения строящихся сооружений возможен различный подход к оценке карста и выбору мероприятий для борьбы с ним.

Оценка интенсивности выщелачивания растворимых пород производится по внешним признакам, например по количеству образовавшихся провалов или по приблизительным подсчетам объема выщелоченных солей.

Первый способ предложен З. А. Макеевым. Он заключается в сборе сведений и фиксировании числа карстовых воронок, образовавшихся на данной площади за определенный промежуток времени. З. А. Макеев предложил следующую классификацию закарстованных территорий по степени устойчивости:

- 1) территории очень неустойчивые с числом 5—10 воронок на 1 км² в год;
- 2) территории неустойчивые — 1—5 воронок на 1 км² в год;
- 3) территории среднеустойчивые 1 воронка на 1 км² за 20 лет;
- 4) территории устойчивые — 1 воронка на 1 км² за 20—50 лет;
- 5) территории очень устойчивые — воронок не наблюдалось в течение 50 лет.

Показатель карстовой активности A , предложенный Н. В. Родионовым [38], определяется по формуле

$$A = \frac{v}{V} 100, \quad (25.1)$$

где v — объем растворимых пород, вынесенных подземными водами за 100 лет (устанавливается по химическим анализам вод); V — полный объем карстующихся пород (устанавливается расчетом по данным бурения и геофизических исследований).

Обе эти величины определить достоверно невозможно, и поэтому величина A служит только для ориентировочных сравнительных оценок.

Выбор противокарстовых мероприятий зависит как от типа карста, так и от вида проектируемых сооружений и в общем сводится к следующему:

- а) к планировке территории;
- б) отводу поверхностных вод;
- в) каптажу или дренажу подземных вод;
- г) устройству противofильтрационных завес;
- д) закреплению закарстованных пород методами технической мелиорации.

Глава 26

ПРОЦЕССЫ, СВЯЗАННЫЕ С СОВМЕСТНЫМ ДЕЙСТВИЕМ ВОДЫ И СИЛЫ ТЯЖЕСТИ НА СКЛОНАХ

К группе широко распространенных процессов и явлений экзогенного типа мы относим явления, развитые на склонах, — оползни, обвалы, осыпи. Их объединяет то, что все они приводят к перемещению горных пород по склону под действием силы тяжести. Во многих случаях им предшествуют такие экзогенные процессы, как выветривание; почти повсеместно сопутствующим фактором их возникновения являются поверхностные или грунтовые воды.

Несмотря на эти общие черты, каждое явление имеет свои особенности, которые заключаются в характере перемещения пород (внезапное, быстрое, сползающее, медленное), в объемах, формах и видах перемещающихся масс, в непосредственных причинах, вызвавших перемещение и, наконец, в том материальном ущербе, который может нанести данное явление.

Инженерно-геологическая оценка всех этих явлений заключается в изучении последствий и степени угрозы для инженерных сооружений, которые могут возникнуть в местах развития названных явлений и вызывают необходимость мероприятий по борьбе с ними.

Оползни

Под оползнем следует понимать перемещение масс горных пород вниз по склону под действием силы тяжести, связанное в ряде случаев с деятельностью поверхностных и подземных вод и носящее характер скольжения или сдвижения пород на склоне.

Оползни как геологический процесс широко распространены на территории СССР (в горных и предгорных районах, на склонах речных долин, на морских побережьях).

Они представляют прямую угрозу существованию зданий, железных и шоссейных дорог, линий электропередач и других инженерных сооружений и приносят большой материальный ущерб, связанный как с разрушением этих зданий и сооружений, так и с расходами на поддержание их в порядке.

Примером крупнейших оползней может служить оползень, происшедший в 1963 г. на р. Пьяве в Северной Италии, вызвавший катастрофическое разрушение высотной плотины, сопровождавшееся гибелью 3 тыс. человек. Объем оползших масс составил 240 млн. м³.

Крупный оползень в 1964 г. произошел в Таджикской ССР на р. Зеравшан у пос. Айни, где в реку сползло свыше 20 млн. м³ грунта, запрудивших реку. В результате выше завала образовалось скопление воды объемом около 150 млн. м³. Прорыв завала, если бы он был допущен, мог бы вызвать катастрофические последствия в местности, расположенной ниже по течению реки [24].

Постоянным проявлением были отмечены в 30-х годах оползени на правом берегу Днепра в г. Киеве, приводившие к нарушению движения транспорта, так как оползневые массы ежегодно в весенние месяцы перегораживали узкую прибрежную полосу между подножием склона и берегом реки.

Наглядное представление о распространении оползней дает карта оползневых районов европейской части СССР и Кавказа (рис. 81).

На этой карте видно, что оползни широко развиты по берегам Волги и ее крупных притоков Камы и Оки, по Днепру, Днестру, Южному Бугу, Неману, Печоре, на южном и северном берегах Азовского моря, по побережью Черного моря (в районе Одессы, в Крыму и на Кавказе).

Из двадцати крупных городов, расположенных в пределах Русской платформы, оползни зарегистрированы в десяти (Москва, Киев, Горький, Одесса, Казань, Волгоград, Ростов-на-Дону, Уфа, Саратов, Воронеж).

В других районах СССР оползни известны в Западной Сибири по берегам рек Оби и Иртыша, в Восточной Сибири на территории Южного Прибайкалья, в долинах рек Лены, Ангары, на Дальнем Востоке, на правом берегу Амура, по берегам Охотского моря и на Сахалине.

Строение оползней и их классификация

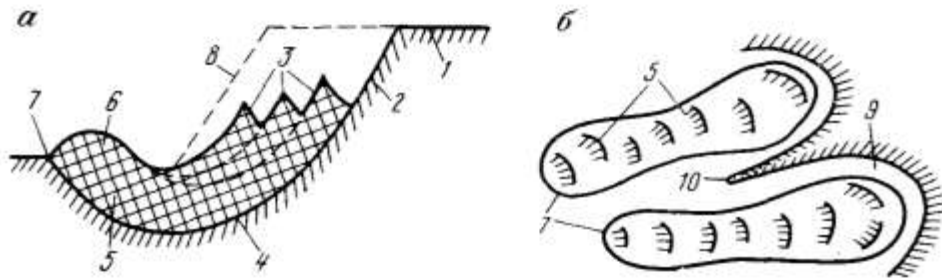
Оползень представляет собой нарушение прочности, устойчивости природного склона или искусственного откоса и с этой точки зрения ведет к изменению сложившихся форм рельефа. Элементами оползня являются (рис. 82):

- 1) надоползневой уступ — примыкающая к оползнию площадка, расположенная выше бровки склона, не подверженная оползанию;
- 2) стенка срыва — верхняя часть поверхности скольжения, образовавшаяся в результате смещения вниз оползневого тела;



Рис. 81. Карта оползневых районов европейской части СССР и Кавказа. Залитыми кружками показаны места распространения оползней

Рис. 82. Элементы оползня: а — в разрезе, б — в плане; 1 — надоползневый уступ, 2 — стенка срыва, 3 — оползневая терраса, 4 — поверхность скольжения, 5 — тело оползня, 6 — вал выпора, 7 — язык оползня, 8 — контур прежнего склона, 9 — цирк оползня, 10 — оползнераздельный мыс



3) оползневые террасы — ряд уступов, расположенных один ниже другого и ориентированных параллельно бровке склона;

4) поверхность скольжения — поверхность, по которой происходит смещение оползня. В зависимости от геологического строения и литологии пород она может быть плоской или круглоцилиндрической, гладкой или бугристой;

5) тело оползня — вся масса сползающего по склону грунта, ограниченная на глубине поверхностью скольжения. Поверхность тела оползня, представляющую в большинстве случаев циркообразное понижение, рассеченное трещинами, стенками срыва, террасовидными уступами и локальными понижениями, заполненными водой, называют также депрессией оползня;

6) вал выпора — возвышение, образующееся в основании склона и состоящее из нарушенных и перемятых грунтов.

Место выхода поверхности скольжения на дневную поверхность в верхней части склона называют *вершиной оползня*, а в основании склона — *подошвой оползня*.

Вал выпора образуется тогда, когда подошва оползня залегает ниже поверхности земли; если же она залегает на отметке



Рис. 83. Трещины отрыва и перемещения в языке оползня

поверхности или несколько выше подножия склона, то образуются так называемые оползневые накопления.

Выемка на склоне, имеющая форму амфитеатра, называется *цирком* оползня, верхняя часть которого заполнена смещенными массами и носит название *головы*, а нижняя часть — *языка* оползня.

Ненарушенная часть надоползневого откоса, имеющая форму мыса и разделяющая два соседних цирка, называется *оползнераздельным мысом*.

Тело оползня покрыто трещинами, которые по характеру можно разделить на группы:

а) трещины отрыва или отпора, возникающие вдоль бровки склона;

б) трещины сдвига или скола, возникающие вдоль бортов оползня;

в) трещины перемещения — извилистые трещины в различных частях оползня, характеризующие неравномерность его перемещения (рис. 83).

Оползни возникают в результате действия суммы факторов, среди которых постоянным и определяющим фактором является сила тяжести. Остальные факторы (или причины) могут изменяться как во времени, так и по интенсивности. Одни из них действуют в течение длительного времени и как бы готовят почву для возникновения оползня. Можно наметить три группы таких факторов, обусловленные следующими характеристиками:

1) уменьшением прочности грунтов вследствие изменения их состояния и свойств при набухании, усадке, разуплотнении, раскрекивании и дроблении под действием выветривания;

2) возникновением гидростатических и гидродинамических сил при водонасыщении грунтов, порождающих суффозию, выпор, переход в пльвунное состояние и приводящих к потере устойчивости склона;

3) подработкой основания склона в результате морской абразии или речной эрозии, искусственной подрезкой и планировкой откосов при проведении строительных работ, приводящих к увеличению крутизны склона и потере его устойчивости.

К факторам внезапного действия относятся из природных — сейсмические толчки, из искусственных — взрывы, движение транспорта или пригрузка верхней части склона инженерными сооружениями.

Интенсивность развития оползневых процессов во многом зависит от тех природных условий, которые влияют на геологическую обстановку района развития оползней. К таким условиям относятся:

- 1) климат;
- 2) рельеф;
- 3) гидрологический режим и формирование поверхностного стока;
- 4) геологическое строение и литологический состав пород;
- 5) свойства пород;
- 6) условия залегания пород на присклоновом участке;
- 7) сопутствующие экзогенные и эндогенные процессы и явления.

Все эти условия могут ускорять или замедлять развитие оползневых процессов, способствовать их активному проявлению или, наоборот, медленному вялому течению.

Единой классификации оползней не существует. Составленные в разное время и по различному принципу многочисленные классификации, среди которых следует упомянуть классификации Ф. П. Саваренского, И. В. Попова, Н. Н. Маслова, Е. П. Емельяновой, рассматриваются в курсах инженерной геологии [24, 26, 42]. Нам представляется, что наиболее полно характеризует склоновые процессы, в том числе и оползни, классификация, предложенная В. Д. Ломтадзе [24].

Не приводя здесь какой-либо из этих классификаций, попытаемся разделить все существующие типы оползней по нескольким наиболее характерным признакам.

I. По месту их образования (на склонах речных долин, на морских побережьях и в городах).

II. По объему оползших пород (малые — до 1000 м³, средние — до 100 тыс. м³ и большие — свыше 100 тыс. м³).

III. По форме в плане: вытянутые в длину (глетчерные); вытянутые в ширину при небольшой длине (фронтальные); округлые, лунообразные или циркообразные.

IV. По степени активности (действующие и замершие).



Рис. 84. Оползень-поток в г. Черновцы



Рис. 85. Оползни-обвалы гипса. Камское водохранилище

V. По непосредственной причине возникновения или потере устойчивости: consistentные (их также называют оползни-потоки) (рис. 84); суффозионные, структурные.

VI. По типу движения: толкающие, или детрузивные, возникающие в верхней части склона вследствие толчка оторвавшейся и давящей сверху массы породы; соскальзывающие, или деляпсив-

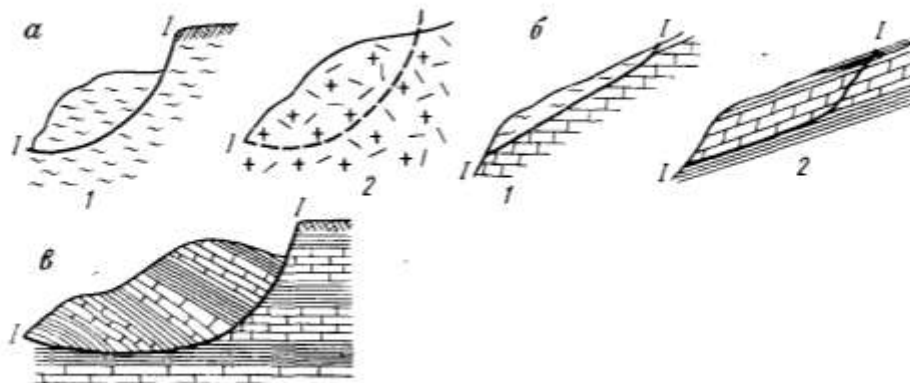


Рис. 86. Классификация оползней по характеру строения или положению поверхности скольжения: *а* — асеквентный (1 — в однородных глинистых породах, 2 — в трещиноватых породах); *б* — консеквентный (1 — делювий по коренным породам, 2 — в моноклинально наклонных слоистых породах); *в* — инсеквентный

ные, начинающиеся в нижней части склона в результате его подмыва или подрыва (рис. 85).

VII. По характеру движения: сплывание (оползни-потоки); медленное скольжение (большинство обычных оползней в рыхлых породах); быстрый сдвиг (оползни-обвалы).

VIII. По положению поверхности скольжения, т. е. по строению оползневого склона. На рис. 86 приведены три вида оползней различного строения: оползень в однородных породах (асеквентный); оползень на контакте двух различных пород (консеквентный); оползень поперек напластования, когда поверхность скольжения сечет поверхность напластования (инсеквентный).

IX. По глубине залегания поверхности скольжения: поверхностные (при глубине залегания от 1 до 5 м от поверхности) и глубокие (при глубине 20 м и более).

X. По числу поверхностей скольжения (одноярусные, двухъярусные и многоярусные).

Перечисленные признаки не исчерпывают всего многообразия оползневых форм и проявлений.

Принцип оценки устойчивости оползневого склона

Оползень представляет собой нарушение равновесия сдвигающих и удерживающих сил, действующих в породах склона. К первым относится сила тяжести, которая зависит от массы породы, ее плотности, влажности. Ко вторым относятся силы внутреннего трения и сцепления в грунтах, которые зависят от свойств грунта, его состава и состояния, формы поверхности скольжения и угла ее наклона к горизонту.

Степень устойчивости оползневого склона оценивается величиной отношения суммы удерживающих сил ($\sum R$) к сумме сдвигающих сил ($\sum Q$). Это отношение носит название коэффициента устойчивости склона или откоса (η).

В этом случае, если $\sum R = \sum Q$, $\eta = 1$, склон находится в состоянии предельного равновесия.

При $\sum R < \sum Q$, $\eta < 1$ — склон неустойчив, создаются условия для возникновения оползня.

При $\sum R > \sum Q$, $\eta > 1$ — склон находится в условиях обеспеченной устойчивости.

Существует ряд способов прогноза устойчивости естественных склонов и искусственных откосов, базирующихся на принципе приведенного выше расчета.

Большинство этих способов имеют приближенное графоаналитическое решение, которое вполне удовлетворяет необходимому прогнозу поведения склона, в том числе и оползневого. К ним относятся расчеты по методу круглоцилиндрических поверхностей, метод равнопрочного откоса Н. Н. Маслова, метод, разработанный Г. Л. Фисенко (метод ВНИМИ), и др. (см. гл. 17).

Особенностью упомянутых способов является достаточная для практических целей точность прогноза устойчивости в случае правильного учета всех факторов, обуславливающих условия равновесия склона. К таким факторам следует отнести:

а) морфологические элементы склона оползня, в частности высоту, крутизну, форму склона, глубину залегания и очертание поверхности скольжения. Исследованиями А. И. Шеко, проведенными в Крыму, доказана четкая зависимость между крутизной склона и частотой проявления оползней;

б) геолого-литологическое строение и физико-технические свойства грунтов, т. е. характер напластования, степень неоднородности строения, плотность, влажность и показатели прочности каждого слоя (ϕ и C), а также ползучесть пород в оползневых откосах, без которой, как показали исследования Г. И. Тер-Степаняна, невозможен прогноз потери устойчивости;

в) гидрогеологические условия, в которых главную роль играют положение уровня грунтовых вод и гидродинамическое давление.

В сейсмических районах необходимо учитывать также сейсмический фактор.

Выполненные расчеты и тщательно проведенное описание состояния оползневого склона должны лечь в основу тех противооползневых мероприятий, которые обеспечивают устойчивость этого склона.

Мероприятия по борьбе с оползнями

Ежегодно оползни наносят большой ущерб народному хозяйству, так как с ними связаны деформации многочисленных гражданских, промышленных, дорожных и гидротехнических сооружений. Известно много случаев значительных по своим последствиям или постоянных во времени аварий и нарушений работы дорог, трубопроводов, дренажей и т. д.

Так, например, с начала строительства и эксплуатации высокогорной шоссейной дороги Симферополь—Ялта на ней зафиксированы десятки оползней (рис. 87).

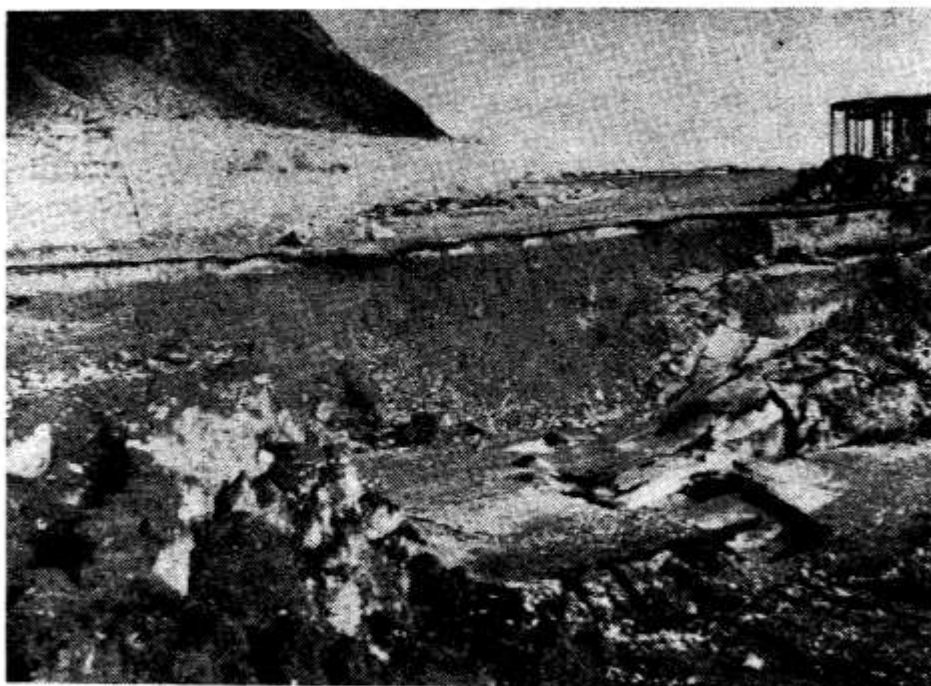


Рис. 87. Оползень на шоссе Симферополь—Ялта

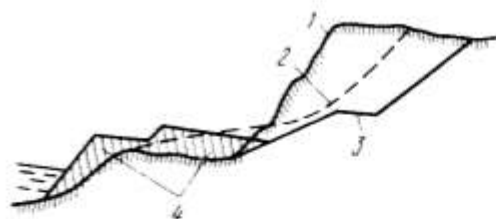


Рис. 88. Схема срезки оползневого склона. 1 — естественный откос; 2 — линия предполагаемой поверхности скольжения; 3 — линия спланированного откоса с бермами; 4 — банкет

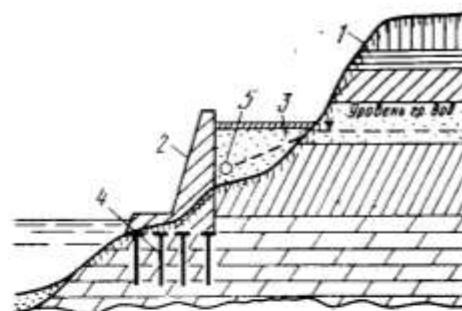
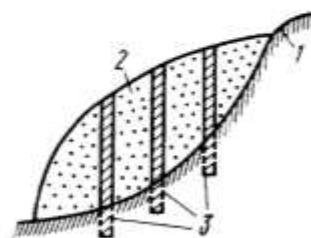


Рис. 89. Противооползневые мероприятия на берегах рек. 1 — оползневый склон; 2 — подпорная стенка; 3 — песчаная засыпка; 4 — свайное основание; 5 — система дренажей

Рис. 90. Закрепление оползневого откоса сваями-шпильками. 1 — коренной склон; 2 — тело оползня; 3 — сваи-шпильки



Большие средства на борьбу с оползнями расходуются в городах Киеве, Одессе, Ульяновске.

Противооползневые мероприятия разделяются на две группы: профилактические и инженерные.

К профилактическим относятся мероприятия по поддержанию щадящего режима в оползневой зоне. Это в первую очередь наблюдения за нормальной работой существующих сооружений для отвода поверхностных и подземных вод, уход за лесонасаждениями на склонах и запрещение их вырубki, надзор за проведением земляных работ на территории оползня и т. д.

К инженерным мероприятиям относится осуществление комплекса и противооползневых работ, в который входят:

- 1) устройство сооружений для отвода поверхностных вод;
- 2) строительство дренажей для отвода подземных вод;
- 3) планировочные работы — срезка верхней части склона и пригрузка нижней части для увеличения его устойчивости;
- 4) устройство подпорных стенок и набережных;
- 5) устройство свай-шпилек для закрепления отдельных участков оползшего склона.

Первые два вида мероприятий направлены на недопущение увлажнения или водонасыщения оползневого массива.

Мероприятия третьей группы направлены на сохранение баланса земляных масс на оползшем склоне. Из рис. 88 видно, что чем больше объем верхней призмы оползневого тела, тем больше сдвигающие силы. Этот объем можно уменьшить, одновременно выполаживая верхнюю часть склона путем устройства берм. Срезанный грунт укладывается в виде пригрузки у основания оползня, это увеличивает устойчивость откоса. Эта часть пригрузки называется банкетом.

Подпорные стенки и набережные предназначены, с одной стороны, для предупреждения подмыва, или абразии, нижней части оползневого склона, с другой — для усиления момента удерживающих сил, как это видно из схемы противооползневых мероприятий на берегах рек (рис. 89).

Отдельные участки оползшего склона в особо опасных местах могут быть закреплены сваями-шпильками, как это было сделано в 1973 г. в Киеве ниже Андреевского собора (рис. 90).

Обвалы, камнепады и осыпи

Названные явления, как и оползни, обусловлены в первую очередь гравитационным фактором (сила тяжести). Существенное различие между ними заключается в масштабе самого явления, т. е. в объемах и характере обрушающихся масс породы.

Н. Н. Маслов, В. Д. Ломтадзе, А. П. Нифонтов и др. рассматривают эти явления совместно с оползнями в общем ряду явлений, связанных с нарушением устойчивости склонов. Основными признаками этих явлений, отличающими их друг от друга, служат: причина возникновения, характер деформации или вид движения, скорость протекания и объем перемещающихся масс.

Обвалы — это внезапное обрушение больших массивов пород горных склонов, сопровождающееся опрокидыванием и дроблением и возникшее в результате ослабления внутренних связей вследствие выветривания и увлажнения пород.

Следует различать обвалы по величине, или объему, составу обрушившихся пород, структуре.

По величине обвалы разделяются на мелкие (объемом до 100 м³), средние (до 1000 м³), большие (до 100 тым. м³) и грандиозные (объемом в миллионы кубических метров).

Судя по наблюдениям, проведенным на Кругобайкальской железной дороге, где за 15 лет произошло около 540 обвалов, в скальных породах преобладают малые обвалы (около 85 %), однако и они вследствие их внезапности и большой кинетической энергии причиняют немалые разрушения.

Из грандиозных обвалов известны: обвал у г. Эльма (Швейцария) в 1881 г.; еще более грандиозный обвал в Тироле у Шлидербаха в 1882 г., где по словам очевидца обвалилась масса горы 100 м в поперечнике. «Эта огромная масса оборвалась с высоты около 200 м и, ударившись о скальный уступ, низверглась в долину...» О величине площади, покрытой обломками, можно судить по тому, что по ней необходимо идти более 1,5 ч*.

На территории СССР из грандиозных обвалов следует отметить обвал на Кавказе, в результате которого образовалось оз. Рица, и на Памире, где обвал запрудил р. Мургаб, образовав высокогорное Сарезское озеро. Объем обрушившихся пород здесь составил 5 млн. м³.

По составу обрушающихся пород обвалы делятся на каменные, земляные и смешанные. Первые происходят в зоне, сложенной твердыми породами магматического, метаморфического или осадочного происхождения, и приурочены к областям молодых тектонических движений. Земляные обвалы характерны для склонов оврагов и искусственных земляных откосов. Смешанные обвалы имеют широкое распространение и происходят в большинстве случаев в выветрелых скальных и полускальных породах. Здесь наряду с твердыми обломками образуется глинистый, известковый и песчаный материал.

Деление обвалов по структурному признаку несколько условно. Оно характеризует это явление с точки зрения размера глыб или кусков породы, вовлеченных в обвал. Такое разделение косвенно оценивает разрушительную силу обвала, так как при одинаковой высоте падения запас потенциальной энергии будет прямо пропорционален массе глыб.

Рассматривая причины возникновения обвалов, необходимо отметить, что основной причиной являются крутизна склонов, а также сила тяжести, стремящаяся переместить часть пород сверху вниз. Однако существует и ряд сопутствующих причин, непосредственно предшествующих обвалу. Их можно разделить на

* Данные заимствованы из книги М. Неймара «История Земли». Т. 1, 1899.

две группы. К первой группе относятся природные причины: выветривание, интенсивная трещиноватость, расклинивающее гидростатическое давление воды, выщелачивание природного цемента, сейсмические толчки. Ко второй группе относятся производственные и хозяйственные факторы: производство земляных и особенно взрывных работ, неправильное заложение горных выработок относительно основного направления напластования и трещиноватости, систематический и неорганизованный сброс поверхностных вод, перегрузка склона сооружениями или отвалами породы.

Обвалы только внешне носят характер внезапного обрушения пород. В действительности обвалу предшествует подготовительный период, в течение которого происходят рост напряжений, ослабление сил сопротивления сдвигу в массиве и возникновение скрытых деформаций.

Камнепадами, или вывалами, называют падение со склонов отдельных камней или глыб. Размер этих обломков может варьировать от нескольких сантиметров до нескольких метров в поперечнике. Механизм этого явления заключается сначала в подготовке к падению блока породы, отделенного от массива трещиной или удерживающегося силами сцепления между каменным обломком и окружающим его глинистым заполнителем. Причиной камнепадов чаще всего являются атмосферные осадки (дождь, снеготаяние), приводящие к увеличению силы тяжести на склоне и уменьшению сил трения и сцепления.

Камнепады — распространенное явление, представляющее угрозу для расположенных ниже дорог, зданий и сооружений. Расстояние, на которое может отлететь камень, зависит от высоты, с которой он падает, крутизны склона и величины самого камня.

Существует эмпирическая формула Е. К. Гречищева для теоретического расчета расстояния отлета камней (X_T)

$$X_T = \frac{\alpha + 45^\circ}{450} \times H, \quad (26.1)$$

где α — угол откоса к горизонту (крутизна); H — высота откоса, м.

В. Д. Ломтадзе [24] предложен коэффициент угрожаемости обвалов и вывалов $K_y = X_\phi / X_T$, где X_ϕ — ширина имеющейся или проектируемой улавливающей площадки, в пределах которой существует угроза от падающих камней.

Если $K_y \leq 1$, то полотно дороги или площадки сооружения находится под непосредственной угрозой вывалов; если же $K_y > 1$ и, исходя из этого, рассчитать X_ϕ , то на этом расстоянии от бровки откоса падение камней и глыб будет не опасным.

Осыпями называется скопление глыбового или обломочного материала на склоне и у его основания (рис. 91).

Осыпь образуется в результате падения со склона выветрелых обломков или рыхлого песчано-глинистого материала, подвергающегося гравитационной сортировке: наиболее крупные частицы скатываются вниз к подножию, более мелкие располагаются на склоне.



Рис. 91. Осыпь. Донбасс

Мощность отложений увеличивается книзу, часто образуя у подножия склона шлейф значительной мощности и ширины.

Угол, образованный осыпью с горизонтальной плоскостью, называется углом естественного откоса и зависит от крупности и степени окатанности частиц: чем крупнее обломки и чем больше их угловатость, тем круче угол осыпи, и наоборот. Величина обломков и угол откоса, в свою очередь, зависят от состава пород, слагающих склон. Осыпи образуют на склоне вторичный прислоненный откос, условия равновесия которого могут быть различными. В зависимости от этих условий осыпи делятся на действующие, затухающие и неподвижные.

К действующим относятся обнаженные свежие, все время пополняющиеся осыпи, которые легко приходят в движение от динамического сотрясения или увеличения массы при увлажнении атмосферными водами.

К затухающим осыпям относятся уплотненные осыпи, частично покрытые растительностью. Возобновление движения таких осыпей возможно в результате сейсмического толчка, подрезки или подмыва основания склона.

Неподвижные осыпи полностью задернованы и залесены.

Критерием подвижности осыпи является коэффициент подвижности $K = \beta/\alpha$, где β — угол поверхности осыпи с горизонтом, α — угол естественного откоса материала осыпи.

По величине K осыпи разделяются на четыре типа (по П. И. Пушкину): 1) подвижные, или «живые», с коэффициентом 1,0; 2) достаточно подвижные — 0,7—1,0; 3) слабоподвижные, затухающие — 0,5—0,7 и 4) относительно подвижные — менее 0,5

Скорости движения осыпей различны для разных пород. Максимальные скорости движения поверхностных слоев достигают 1 м в год.

Особыми формами осыпей являются курумы и осовы. *Курумами* называют осыпи, состоящие из крупнообломочного материала, располагающиеся в большинстве случаев у подножия склона или в виде шлейфа и имеющие очень пологие уклоны поверхности (5°). В нижней части такой осыпи скапливается глинистый или мелкозернистый заполнитель, легко размягчающийся под действием воды, вследствие чего слабонаклонное основание осыпи делается скользким, а вышележащая толща обломочных пород начинает медленно передвигаться. Под *осовами* подразумевают смещение участков осыпей, сложенных размягчающимися породами, такими, как глинистые сланцы, мергели, опоки при условии их полного водонасыщения. В этом случае движение осовов приобретает характер пластического течения.

Наконец, существует еще один вид накоплений, составляющих широкое площадное образование на плато или в речных долинах, являющееся результатом выветривания останцов скальных пород. Это — россыпи. В отличие от осыпей россыпи остаются на месте своего образования и их пополнение сносимым материалом невозможно.

Меры борьбы с обвалами и осыпями. Обвалы, камнепады, осыпи представляют собой большую угрозу для существования различных сооружений в горах и предгорьях — шоссе и железных дорог, спортивных и лечебных учреждений, обсерваторий. Во всех случаях меры борьбы с ними разделяются на:

а) профилактические — направленные на предупреждение явления или приостановление его развития в ранней стадии;

б) инженерные — направленные на устранение действия процесса или снижение его интенсивности.

Профилактические мероприятия по борьбе с мелкими и средними обвалами, камнепадами, осыпями сводятся к контролю за состоянием склонов, обрушению отдельных камней или каменных карнизов, наблюдению за скоростью движения осыпей, замерам углов естественного откоса и поверхностей осыпей.

Инженерные мероприятия различны для разных склоновых процессов. Так, для осыпей это в основном посадки растительности. В местах развития мощных, постоянно действующих каменных осыпей устраивают защитные железобетонные галереи или даже тоннели. Остановить движение курумов гораздо сложнее, и здесь основной метод борьбы сводится к осушению глинистой подстилки, на которой они лежат. Это осуществляется с помощью отвода поверхностных вод нагорными канавами, а подземных — дренажами. Дороги на курумах в большинстве случаев переносят на безопасные склоны. Для борьбы с камнепадами и обвалами широко применяют устройство улавливающих площадок или стенок, подпорных стенок, рвов, а на нагорном склоне — траншей и водосборных гидротехнических сооружений для отвода поверхностных

вод. В скальных породах применяются тампонаж и цементация трещиноватых пород.

В нашей стране придается большое значение борьбе с описанными экзогенными явлениями. Советом Министров СССР принято постановление «О мерах по улучшению защиты населенных пунктов, предприятий и других объектов и земель от селевых потоков, снежных лавин, оползней и обвалов». Это Постановление обязывает ряд заинтересованных министерств и ведомств разрабатывать и осуществлять мероприятия по защите населенных пунктов, предприятий, мест отдыха, а также осуществлять разработку комплексных схем защиты названных объектов и создавать подразделения защитной службы для проведения профилактических мероприятий и ликвидации последствий, вызванных перечисленными выше экзогенными явлениями. Эта большая задача стоит и перед будущими специалистами среднего звена геологической службы, для которых предназначается настоящая книга.

Глава 27

ЯВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ

Под землетрясением обычно понимают интенсивные колебания земной поверхности, вызванные сильными подземными толчками, возникающими в результате высвобождения громадного количества внутренней энергии Земли.

Из всех стихийных бедствий землетрясение занимает второе (после ураганов и тайфунов) место по величине материального ущерба, приносимого человечеству. Ежегодно на земном шаре регистрируется примерно 100 тысяч землетрясений, 1 % которых бывает ощутимым, и около 100 землетрясений — разрушительных и катастрофических. Землетрясения опасны не только своей разрушительной силой, но и внезапностью, так как неизвестно время и место возникновения сейсмического толчка. Сила землетрясения зависит от количества высвободившейся энергии и определяется как внешними признаками, так и расчетными величинами — сейсмическим ускорением и магнитудой.

Территориально землетрясения приурочены к сейсмически активным областям, которыми являются области молодой альпийской складчатости и другие зоны перестройки земной коры.

На земном шаре эти зоны простираются в виде двух поясов. Первый (широтный) — Альпийско-Индого-Гималайский — охватывает Средиземноморье, Переднюю Азию и достигает Индонезии. В Советском Союзе в эту полосу попадают Карпаты, юг Крымского полуострова, Кавказ, республики Средней Азии, горные сооружения Алтая, Саян, Прибайкалья.

Второй — Тихоокеанский — кольцевой пояс огибает Северную и Южную Америку, Японию, Сахалин, Курильскую гряду. Здесь землетрясения приурочены к островным дугам и сопряженным

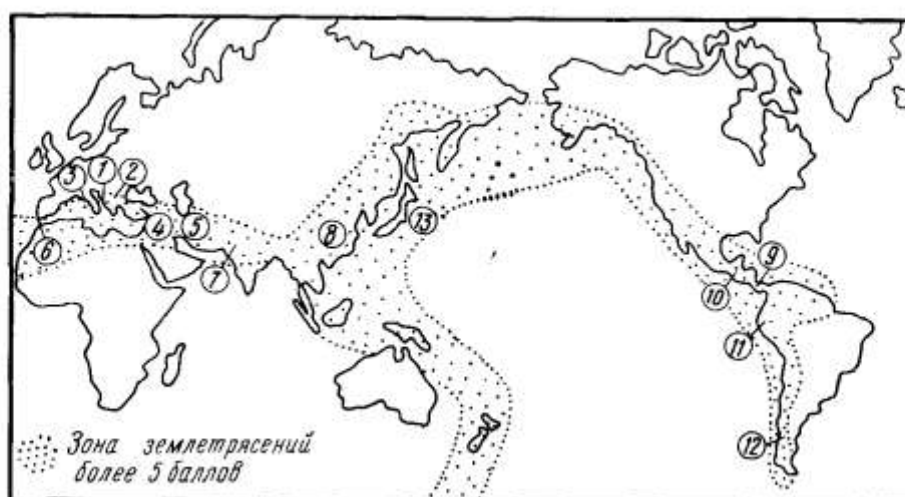


Рис. 92. Разрушительные землетрясения XX в.— страна, год и число погибших (по данным ЮНЕСКО): 1 — Югославия (1963 г.— 1200), 2 — Греция (1953 г.— 3000), 3 — Италия (1908 г.— 73 000 и 1915 г.— 29 000), 4 — Турция (1939 г.— 23 000 и 1966 г.— 2500), 5 — Иран (1962 г.— 12 200, 1968 г.— 12 000 и 1972 г.— 5400), 6 — Марокко (1960 г.— 10 000), 7 — Пакистан (1935 г.— 40 000), 8 — Китай (1920 г.— 180 000, 1927 г.— 200 000 и 1976 г.— сотни тысяч), 9 — Никарагуа (1972 г.— 5000), 10 — Гватемала (1976 г.— 22 000), 11 — Перу (1970 г.— 52 000), 12 — Чили (1960 г.— 5700), 13 — Япония (1923 г.— 143 000)

с ними глубоководным желобам, а также к срединно-океаническим хребтам. В границах этого пояса находятся юг Приморья, Сахалин, Курилы и Камчатка.

Указанные районы характеризовались активной тектонической деятельностью на протяжении последних этапов геологической истории Земли. Активны они и в настоящее время: здесь сосредоточено большинство действующих вулканов, наиболее контрастно выражены формы горного и подводного рельефа, интенсивно проявляются тепловые и геофизические поля.

Землетрясения, как проявление грандиозных сил природы, враждебных человеку и приносящих неисчислимые бедствия, известны со времен глубокой древности до наших дней. В 342 г. до н. э. во время землетрясения в Антиохии погибло 40 тыс. человек. Землетрясение, вызванное извержением Везувия в 79 г. н. э., как известно, разрушило города Геркуланум и Помпеи. Очень большое число землетрясений произошло в XX столетии.

Приводимая схема (рис. 92) показывает места возникновения землетрясений и число жертв, которое за этот период превышает 1 млн. человек.

Разрушение зданий и сооружений, в том числе высоких плотин, колоссальный материальный ущерб и гибель людей в масштабах, несравненно больших, чем в случае большинства экзогенных процессов, привели к возникновению проблемы прогноза землетрясений.

В настоящее время в СССР помимо прогнозирования землетрясений (работы в этом направлении ведутся Институтом физики Земли) создана прикладная отрасль — инженерная сейсмология, которая занимается вопросами строительства в сейсмических районах.

Современные представления о причинах землетрясений

С некоторых пор при изучении землетрясений ученых уже не удовлетворяют чисто внешние черты этого явления, к тому же проявляющиеся в момент землетрясения или после сейсмического толчка. Ученые стремятся определить признаки, предшествующие землетрясению, условия возникновения этого процесса и порожденные им силы в земной коре, которые непосредственно вызывают сейсмические толчки. В своей основе сейсмический толчок — это явление механическое. Он образуется в результате высвобождения энергии при разрыве пластов пород под действием тектонических сил.

Огромное значение имеют условия, возникающие в недрах Земли и оказывающие воздействие на горные породы: высокое давление, температура, характер и длительность напряжений, состав и состояние среды.

Принято считать, что вначале с ростом напряжений происходит однородное растрескивание пород. Когда концентрация трещин в некотором объеме достигает критической величины, трещинообразование лавинно нарастает и стягивается в узкую зону будущего главного разрыва (рис. 93). Взаимодействие двух или нескольких больших трещин разрушает оставшиеся барьеры прочности породы, и происходит «вспарывание» магистрального разрыва. Напряжение мгновенно сбрасывается, возникает упругая отдача — распрямление сжатых пород, порождающее упругие волны, распространяющиеся во все стороны от места разрыва. Эти волны называются сейсмическими.

Так как большинство пород, слагающих земную кору, можно рассматривать как упругую среду, то сейсмические волны передают деформации, возникающие в горных породах, на значительные расстояния с большой скоростью. Эти волны по виду деформаций разделяются на продольные и поперечные.

Продольные волны, или волны «сжатия—растяжения», заставляют колебаться частицы породы и в направлении, совпадающем с направлением движения волны. Поперечные волны, или волны «сдвига», распространяются в направлении, перпендикулярном к направлению движения продольных волн. И скорость, и энергия этих волн меньше, чем у продольных.

При встрече подземных упругих волн с поверхностью земли возникает новый вид колебательного движения — поверхностные волны. Это обычные волны тяжести, которые приводят к деформациям поверхности земли (рис. 94).

Точка, в которой возникает сейсмический толчок, лежащая на некоторой глубине от поверхности, носит название *гипоцентра*.

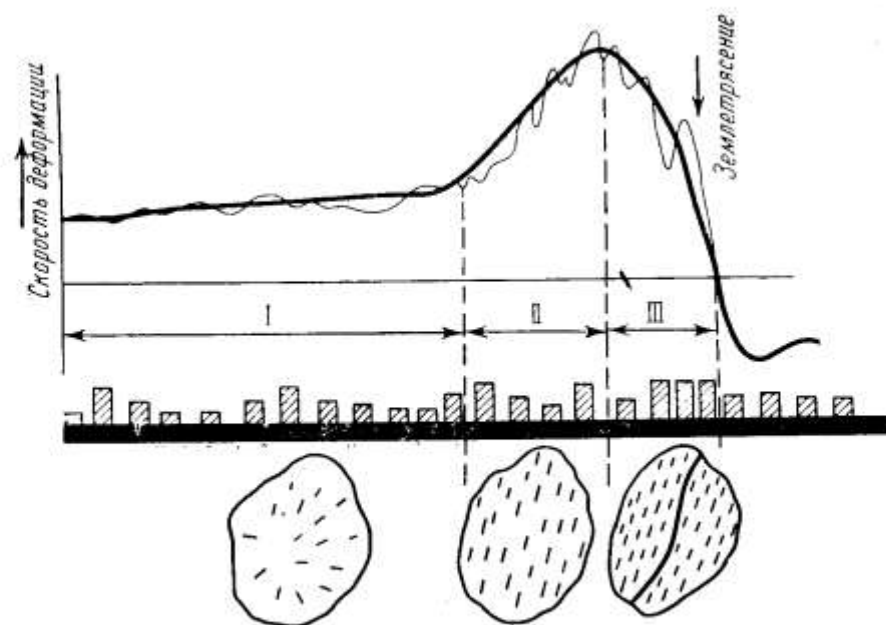


Рис. 93. Кривая нарастания сдвигающего напряжения в очаге землетрясения. I стадия — однородное растрескивание, II стадия — ускоренное трещинообразование, III стадия — формирование главного разрыва

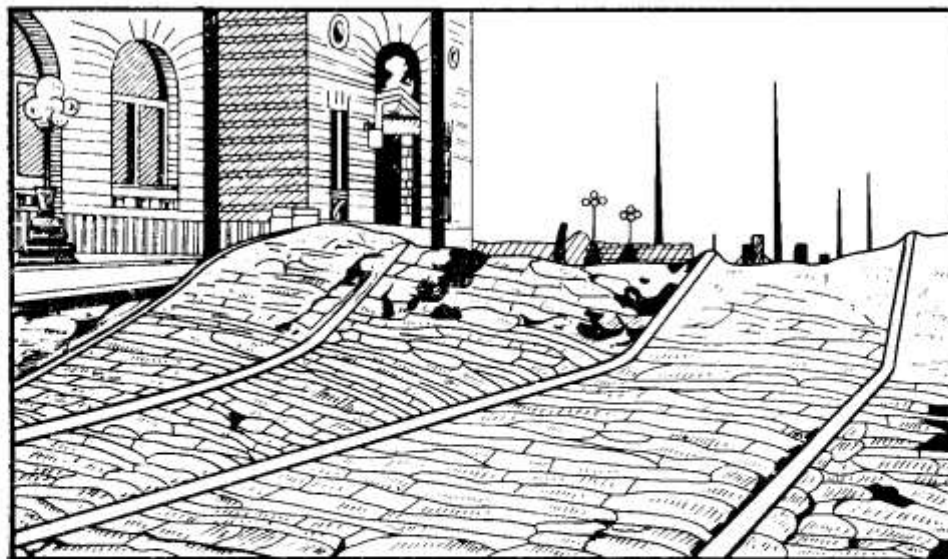
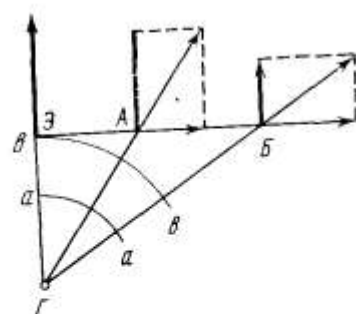


Рис. 94. Деформации поверхности земли в результате возникновения волны тяжести на одной из улиц г. Сан-Франциско во время землетрясения 1906 г.

Рис. 95. Распространение сейсмических волн.
 Γ — гипоцентр, \mathcal{E} — эпицентры, ΓA , ΓB —
 линии выхода ударов; $a-a$, $\beta-\beta$ —
 гомосейсмические поверхности



Эта глубина колеблется в довольно широких пределах: от нескольких десятков до нескольких сотен километров.

Из гипоцентра сейсмические волны распространяются в разные стороны в виде сферических поверхностей, называемых гомосейсмическими поверхностями (рис. 95).

Проекция гипоцентра на дневную поверхность называется эпицентром; так как расстояние от поверхности до очага землетрясения здесь наиболее короткое, то сила удара в эпицентре максимальная. Прямые линии, идущие от гипоцентра перпендикулярно к гомосейсмическим поверхностям и встречающиеся с поверхностью земли под разными углами, носят название линий выхода удара.

Вдоль этих линий распространяются сейсмические волны, и в указанных точках возникают два вида движения земной коры: сотрясения и колебания.

Из приведенной схемы следует, что глубина очага и расстояние точек от эпицентра определяют угол, под которым линия выхода удара подходит к поверхности земли.

В тех случаях, когда этот угол более 60° (эпицентральная область), разрушения будут наибольшие. При углах менее 30° составляющая сотрясения уменьшается, а следовательно, уменьшается и балльность. Чем глубже залегает гипоцентр, тем большая площадь охватывается землетрясением, однако интенсивность его будет больше при близповерхностном положении очага землетрясения.

По глубине положения очага землетрясения можно разделить на нормальные (10—70 км), среднефокусные (70—300 км) и глубокофокусные (более 300 км). Около 70% землетрясений относятся к первым двум видам, так как их очаг лежит в пределах верхней части литосферы.

По происхождению различают пять типов землетрясений:

1) тектонические, вызванные тектоническими движениями земной коры и характеризующиеся широким площадным распространением и высокой балльностью, они составляют подавляющее большинство землетрясений;

2) вулканические, связанные с извержением вулканов, имеют локальное распространение, но обладают большой силой (земле-

трясение при извержении Везувия, разрушившее города Геркуланум и Помпеи);

3) денудационные — землетрясения обвального и провального порядка, порождаемые падением больших массивов горных пород со склонов или провалами в процессе карстообразования, имеют локальный характер и сравнительно невысокую балльность;

4) техногенные, возникающие в результате технических взрывов, производимых в инженерных и строительных целях;

5) морские (моретрясение, или цунами), связанные с поднятием морского дна и возникновением в результате этого разрушительной морской волны.

Оценка силы землетрясений

Сейсмический толчок представляет собой гармонические колебания, которые можно обнаружить с помощью сейсмометров и сейсмографов — приборов маятникового типа, установленных на сейсмических станциях. Сейсмограф позволяет определить амплитуду и период колебаний и записать их в виде сейсмограммы. Сопоставление записей различных сейсмических станций с учетом их географических координат дает возможность нанести на карту точку эпицентра землетрясения. Энергия, выделяющаяся при сейсмическом толчке, громадна. Она эквивалентна энергии взрыва сотен тысяч водородных бомб.

Энергия землетрясения (E) может быть вычислена по формуле

$$E = \pi^2 \delta v \left(\frac{A}{T} \right)^2, \quad (27.1)$$

где δ — плотность пород; v — скорость распространения сейсмических волн; A — амплитуда смещения; T — период колебания,

Условная величина, характеризующая энергию колебаний, называется магнитудой (M). Магнитуда связана с энергией следующей зависимостью:

$$E = 12 + 1,8M. \quad (27.2)$$

Магнитуда изменяется в пределах от 0 до 9 по шкале Рихтера. Так, например, магнитуда одного из сильнейших землетрясений 1976 г. в СССР (Газлинского в Кызылкумах) была 7,3.

Как известно, характеристикой силы землетрясения является балльность. В баллах оценивается сила, или интенсивность, землетрясения (табл. 38).

Основными параметрами для оценки силы землетрясения являются: а) сейсмическое ускорение a — величина ускорения колебаний частиц поверхности земли

$$a = A - \frac{4\pi^2}{T^2}, \quad (27.3)$$

где A — амплитуда колебаний, мм; T — период колебаний, с;

Сейсмическая шкала Института физики Земли АН СССР

Балл	Характеристика землетрясения	Максимальное относительное значение сферического маятника X_p , мм	Сейсмическое ускорение a , мм/с ²	Ускорение свободного падения g , см/с ²
1	Незаметное	—	Менее 2,5	—
2	Очень слабое	—	2,6—5	—
3	Слабое	—	5,1—10	—
4	Умеренное	Менее 0,5	11—25	—
5	Довольно сильное	0,5—1,0	26—50	0,025
6	Сильное	1,1—2,0	51—100	0,025—0,05
7	Очень сильное	2,1—4,0	101—250	0,05—0,1
8	Разрушительное	4,1—8,0	251—500	0,1—0,2
9	Опустошительное	8,1—13,0	501—1000	0,2—0,4
10	Уничтожающее	16,1—32	1001—2500	Более 0,4
11	Катастрофическое	Более 32	2501—5000	—
12	Сильная катастрофа	—	Более 5000	—

б) коэффициент сейсмичности, т. е. отношение сейсмического ускорения a к ускорению свободного падения g

$$K_c = \frac{a}{g}. \quad (27.4)$$

Землетрясения силой 1—5 баллов не вызывают обычно последствий, опасных для жизни людей и существования сооружений. Землетрясения свыше 6 баллов требуют более точной оценки их интенсивности, а также применения специальных мероприятий при проектировании и строительстве.

Интенсивность землетрясения зависит от состава и состояния пород среды, в которой распространяются сейсмические волны, глубины залегания уровня подземных вод, тектонических нарушений, характера рельефа и глубины залегания очага землетрясения.

Можно сделать следующие выводы о влиянии всех перечисленных факторов на интенсивность землетрясений.

1. В плотных породах скорость распространения сейсмического толчка больше, нежели в рыхлых связных и несвязных грунтах, однако сила землетрясения (его балльность), наоборот, возрастает в последних.

2. Обводненность, водонасыщение, высокий уровень грунтовых вод увеличивают интенсивность землетрясения. Территории, сложенные пльвунами, илами, заболоченными и обводненными грунтами, 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 (останцы, холмы, крутые склоны гор и оврагов) могут повышать сейсмичность территории на один балл.

Прогноз землетрясений

Последствия землетрясений во многом зависят от факторов внезапности и неожиданности. По-видимому, если бы мы могли с достаточной достоверностью определять место, силу и время возникновения сейсмического толчка, последствия даже сильного землетрясения были бы не столь катастрофическими.

В настоящее время в СССР, Японии, США разработаны национальные программы по прогнозу землетрясений и проводятся комплексные исследования для решения этой проблемы. В решении двух первых задач — установлении места и силы землетрясения — достигнуты значительные успехи. Гораздо труднее определить время начала землетрясения.

Землетрясения не возникают где угодно: они закономерно связаны с геологическими процессами и той средой, в которой эти процессы развиваются. Следовательно, главный путь, по которому должны идти исследователи, — это комплекс геодезических, геохимических и геофизических методов изучения геологической среды сейсмически активных районов.

Второе направление — накопление данных регистрации землетрясений и их статистическая обработка. Сейсмологи обнаружили следующую закономерность статистического распределения землетрясений по величине их энергии: землетрясения разных энергетических уровней и их повторяемость во времени связаны между собой определенной зависимостью. Поэтому, если известно число слабых землетрясений в каком-либо районе за определенный промежуток времени, то можно предсказать вероятность возникновения в этом районе сильных землетрясений.

Эти два основных направления дают возможность построить карты историко-структурного районирования с выделением особенностей формирования геологических структур за последние 100—200 млн. лет (поднятия, прогибы, блоки, тектонические разрывы), учесть направленность и интенсивность тектонических движений на последних этапах развития и выделить на этих картах места перестройки земной коры и районы устойчивого режима (например, области альпийской складчатости). Это позволяет наметить на картах сейсмического районирования зоны различной сейсмической активности.

В настоящее время составлены карты сейсмического районирования для Кавказа, Крыма, Карпат, на которых указаны территории, наиболее и наименее «перспективные» в отношении возникновения землетрясений определенной балльности. На рис. 96 представлена карта сейсмического районирования для Крыма и Кавказа.

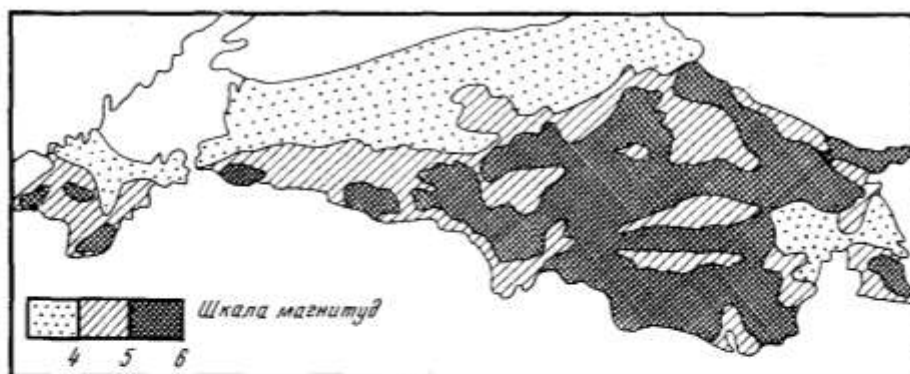


Рис. 96. Сейсмическое районирование Крыма и Кавказа

Как же обстоит вопрос с предсказанием времени начала землетрясений?

Землетрясение происходит очень быстро, но это не начало, а окончание процесса. Началу же землетрясения предшествует длительная подготовительная работа в очаге землетрясения. Эта работа, связанная с накоплением громадной энергии, должна сопровождаться какими-то внешними проявлениями, сопутствующими подготовке к сейсмическому толчку. Еще в начале 1900 г. акад. Б. Голицын сделал предположение, что предвестниками землетрясения могут быть медленные движения земной поверхности, изменения свойств горных пород, слабые сейсмические толчки, колебания дебита и температуры источников, феномен звуков при землетрясениях и необычное поведение животных.

Первыми поиски предвестников землетрясения начали геофизики. Было обращено внимание на растрескивание пород непосредственно в очаге будущего землетрясения. Возникло предположение, что этот процесс ведет к изменению физических и механических свойств очаговой зоны. Изменяются упругость, проницаемость пород для воды и газов, электрическая проводимость и магнитные свойства пород.

Советский геофизик О. Барсуков обосновал предположение о том, что по степени изменения электропроводности можно установить время наступления землетрясения и даже оценить его мощность. Известно, что растрескивание горных пород ведет к изменению их объема, а вместе с ним нарушается равновесие между содержанием в порах и трещинах газов и водных растворов, их количества и состава. Наблюдения так называемого геохимического эффекта было отмечено как в процессе ряда землетрясений, так и накануне их возникновения. Например, Олёкминское землетрясение 1958 г. сопровождалось увеличением температуры и уменьшением концентрации сероводорода минеральных источников. При Дагестанском землетрясении 1970 г. также наблюдались колебания уровней и изменение дебита скважин на расстоянии десятков километров от очага землетрясения, а в эпицентре было

зарегистрировано 10—15-кратное по сравнению с нормальным газовыделение. Газы выделялись также из зияющих трещин на поверхности земли, причем их концентрация превышала обычную в 10—1000 раз.

Непосредственно перед Ташкентским землетрясением 1966 г. было отмечено резкое увеличение радона в термоминеральных источниках в районе города.

Можно считать доказанным, что имеются определенные геохимические предвестники землетрясений, однако необходимы широкие комплексные исследования для выделения признаков и создания эталонов, позволяющих выявить наиболее характерные участки, или «точки», возникновения сейсмических толчков и с определенной точностью привязать их во времени.

Успехи, достигнутые в изучении силовых, электрических и магнитных полей, в сочетании с исследованиями геохимических аномалий, предшествующих землетрясению, позволяют надеяться на скорое разрешение проблемы третьего неизвестного — прогноза времени возникновения землетрясения.

Принципы антисейсмического строительства

Районы с сейсмичностью 6 баллов и более занимают около 20 % всей территории страны (рис. 97).

Частые землетрясения повышенной (6 баллов) и высокой (7—9 баллов) интенсивности представляют собой постоянную угрозу для людей и сооружений. Учитывая большое народнохозяйственное, историческое и культурное значение этих районов, изыскания и строительство в них имеют свою специфику и направлены в первую очередь на сведение к минимуму опасных для людей и сооружений последствий землетрясений.

Всеми этими вопросами в СССР занимается молодая наука — инженерная сейсмология. К настоящему времени составлена карта сейсмического районирования страны, разработаны шкала интенсивности землетрясений, классификация повреждений зданий и сооружений при землетрясении и т. д.

С. В. Медведевым для практических целей была составлена шкала оценки повреждений сооружений при землетрясениях в наиболее опасном интервале 6—9 баллов. В соответствии с этими разработками в нормативном документе СНиП II—9—78 устанавливаются требования к проектированию зданий и сооружений в районах с повышенной сейсмичностью (7 баллов и выше), а также требования, направленные на обеспечение их прочности и устойчивости.

Разрушение сооружения начинается в зависимости от его расстояния от эпицентра либо в результате вертикального толчка, либо под действием сдвигающей горизонтальной составляющей поверхностной волны. Меньше всего подвержены разрушению фундаменты и заглубленные сооружения — резервуары, тоннели.

Наиболее слабыми местами здания являются стены и углы примыкания. Непосредственной причиной разрушения конструкции является инерционная сила, возникающая в результате сейсмического толчка в массе сооружения P_c , определяемая из выражения

$$P_c = K_c a M, \quad (27.5)$$

где K_c — коэффициент сейсмичности; a — сейсмическое ускорение, мм/с²; M — масса сооружения, т.

В случае совпадения периода колебания основания с собственными колебаниями сооружения величина инерционных сил может увеличиваться в несколько раз по сравнению с расчетной [19]. Поэтому при выборе места будущего сооружения нужно, чтоб период собственных колебаний сооружений резко отличался от периода колебаний основания.

Период колебания сооружения легко определить, зная параметры этого сооружения. Что касается периода колебания основания, то он зависит от инженерно-геологических условий того района или участка, где строится сооружение.

В настоящее время в процессе изысканий выполняется микросейсмическое районирование с составлением специальных карт, на которых выделяются участки с различной интенсивностью землетрясений, в зависимости от конкретных инженерно-геологических условий данного участка.

Основными принципами изыскания и строительства в сейсмически активных районах являются:

1) проведение сейсмического микрорайонирования для уточнения приращения балльности и производства расчетов сооружения с учетом сейсмических сил;

2) выбор оптимального участка или трассы сооружения, наименее подверженных последствиям сейсмического толчка;

3) рекомендация различных мероприятий, направленных как на улучшение несущей способности, прочности и устойчивости основания, так и на увеличение сопротивления сооружения воздействию на него инерционных сил, возбуждаемых сейсмическими толчками.

При выборе оптимальных условий для размещения будущего сооружения необходимо:

а) избегать участков, сложенных рыхлыми обводненными или водонасыщенными грунтами с высоким стоянием уровня грунтовых вод;

б) сооружения не следует размещать на участках резко переесеченного рельефа и в районах развития склоновых или карстовых процессов;

в) фундаменты зданий и сооружений повышенной этажности следует делать заглубленными путем устройства подвальных помещений, а в случае маломощной толщи рыхлых отложений применять фундамент в виде сплошной ребристой плиты;

г) большие застраиваемые территории необходимо тщательно планировать во избежание подтопления атмосферными водами и расчленять их полосами зеленых насаждений, бульваров, ши-

роких улиц и площадей, которые должны соответствовать зонам повышенной балльности;

д) трассы трубопроводов, дорог, ЛЭП необходимо прокладывать вдали от обрывистых склонов или мест тектонических нарушений;

е) откосы выемок и насыпей более 4 м необходимо уплаживать против расчетных, а в районах повышенной балльности (более 7) предельная глубина выемок и высота насыпей не должны превышать 15—20 м; насыпи укрепляются подпорными стенками.

Мероприятия по улучшению прочности и устойчивости сооружений и их оснований разделяются на *конструктивные*, к которым относится применение специальных материалов и конструкций (жесткие каркасы, рамы, анкера, пояса жесткости, качающиеся фундаментные опоры и др.), и *укрепительные*, под которыми понимают различные способы улучшения грунтов оснований.

Применение всех перечисленных выше принципов при проектировании и строительстве в СССР проверено на опыте сильных землетрясений в Ташкенте, Дагестане, Газли, где дома, возведенные с учетом антисейсмических требований, выдержали подземные толчки и подтвердили возможность строительства сооружений в районах землетрясений с высокой балльностью.

Глава 28

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

Как было показано в главах 20—27, в земной коре возникает ряд явлений, порожденных определенными природными факторами, внешними и внутренними, представляющими собой угрозу нормальной эксплуатации или даже существованию сооружений. Такие явления следует рассматривать как результат влияния внешней среды на сооружение, и роль инженера-геолога в этом случае сводится к тому, чтоб, изучив причины и условия природного процесса, прогнозировать его ход и дальнейшее развитие, определить степень угрозы, которую представляет собой данное явление для сооружения или населенного пункта, и выработать мероприятия по предотвращению или уменьшению последствий такого явления. Однако производственная деятельность человека, объем и масштабы которой непрерывно возрастают, в свою очередь, оказывает влияние на окружающую среду и, в частности, на тот участок, который служит основанием сооружения. В одних случаях это поверхностное воздействие, распространяющееся на незначительную глубину активной зоны, в других — это вмешательство в малоизученные закономерности движения земной коры. Такое вмешательство происходит в том случае, когда человек перемещает громадные объемы земляных масс в связи с добычей полезных ископаемых,

создает значительное давление, сосредоточенное на сравнительно небольшом участке земной коры при строительстве больших городов или искусственных морей; нарушает сложившееся миллионы лет назад напряженное состояние толщи пород в процессе эксплуатации подземных вод и жидких полезных ископаемых. Перечисленные случаи инженерно-хозяйственного вмешательства человека в геологическую среду порождают, как ответную реакцию, явления, которые получили название инженерно-геологических (см. гл. 20).

Более 100 лет назад Ф. Энгельс писал: «Не будем, однако, слишком обольщаться нашими победами над природой... Каждая из этих побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитывали, но во вторую... совсем другие, непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значения первых»*. Таким образом, инженерно-геологические процессы, возникающие как результат производственной, геологической и хозяйственной деятельности человека, могут нарушать исторически сложившееся равновесие окружающей среды и приводить к нежелательным и опасным последствиям.

Инженерно-геологические процессы отличаются от природных большей интенсивностью, быстрым темпом развития, несколько меньшей площадью распространения и во многих случаях меньшей изученностью. Одни инженерно-геологические процессы по форме проявления или результатам являются аналогами природных явлений, другие имеют свою специфику и их следует считать «возбужденными» или «наведенными».

В настоящей главе будут рассмотрены некоторые инженерно-геологические процессы и явления, возникающие в основании сооружений и приводящие к деформациям оснований или нарушению его прочности; явления, вызванные производством подземных работ, эксплуатацией жидких и газообразных полезных ископаемых, строительством крупных водохранилищ и интенсивной площадной застройкой населенных пунктов и крупных промышленных комплексов.

Деформация грунтов в основании сооружений

Рассмотрим несколько видов деформаций грунтов оснований, которые могут быть вызваны различными причинами.

1. Деформация грунта основания в результате уплотнения нагрузкой от сооружения носит название осадки и выражается в изменении отметок поверхности земли под сооружением или в изменении мощности активной зоны. Осадка представляет собой внешнюю сторону процесса уплотнения и является результатом сближения частиц и уменьшения объема пор в дисперсном грунте (см. гл. 5), не сопровождающегося коренным изменением его структуры.

* Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 495—496.

Осадки могут быть равномерными и неравномерными, большими и малыми, допустимыми и недопустимыми; во времени осадки могут протекать медленно или быстро. Вследствие инженерно-геологической изменчивости грунтов осадки в основании сооружений не могут быть равномерными, поэтому каждое сооружение стараются разместить в пределах одного инженерно-геологического элемента. Величина осадки понятие относительное. Если в основании происходит большая, но равномерная осадка, то для ряда сооружений она может быть допустимой (отдельно стоящие жилые дома, водонапорные башни), однако для сооружений значительной протяженности (мосты, плотины), связанных друг с другом или очень близко расположенных друг к другу, большие осадки недопустимы.

Допустимой называется такая осадка сооружения, которая не приводит к нарушениям его работы, архитектурных форм и проектных размеров в процессе эксплуатации.

Допустимая осадка основания сооружений различного назначения или типа определяется утвержденными нормами (СНиП). Расчет оснований по деформациям производится, исходя из условия

$$S \leq S_{\text{пр}}, \quad (28.1)$$

где S — величина совместной деформации основания и здания или сооружения, определяемая расчетом; $S_{\text{пр}}$ — предельно допустимая величина совместной деформации основания и здания, см.

Величина осадка S определяется расчетом по методу последовательного суммирования [39] по формуле

$$S = \beta \sum_{i=1}^{i=n} \frac{P_i h_i}{E_i}, \quad (28.2)$$

где S — конечная (стабилизированная) осадка фундамента, см; n — число слоев сжимаемой толщи основания; h_i — мощность каждого слоя, м; P_i — среднее, дополнительное к природному давление в каждом слое грунта, МПа; E_i — модуль деформации каждого слоя, МПа; β — коэффициент, равный 0,8.

Осадки во времени для разных грунтов протекают по-разному. Так, например, в раздельнозернистых грунтах осадка прекращается с окончанием возведения сооружения, в то время как в глинистых связных грунтах она продолжается, спустя длительное время после окончания строительства. Примером этому может служить Пизанская башня, построенная в 1174 г., осадка которой продолжается до настоящего времени.

2. Деформация грунта основания в результате уплотнения под действием собственной массы внешней нагрузки и таких сопутствующих явлений, как просадка, усадка, набухание, морозное пучение. Перечисленные выше деформации носят в основном характер вертикальных перемещений точек основания сооружения положительного или отрицательного знака. Они при-

водят к коренному нарушению структуры грунта. В случае замачивания лёссовых грунтов под сооружением или в ирригационных каналах, а также в случае протаивания мерзлых грунтов наблюдается уплотнение грунта, сопровождающееся осадкой основания. Это явление получило название просадки (см. гл. 7).

Величину просадки грунтов основания определяют по данным лабораторных или полевых исследований по формуле

$$S_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^{i=n} \delta_{\text{пр}i} h_i m, \quad (28.3)$$

где $\delta_{\text{пр}i}$ — относительная просадочность для каждого слоя грунта в пределах активной зоны; h_i — мощность каждого выделенного просадочного слоя; m — коэффициент условий работы основания.

Высыхание глинистых загорфованных и торфо-илистых грунтов основания приводит к изменению объема и линейных размеров слоя. Это явление носит название усадки (см. гл. 4). Суффозионная усадка может быть вызвана выносом частиц грунта при движении подземного потока вследствие прорыва водопровода или канализации. Эти процессы также приводят к изменению отметок поверхности основания отрицательного знака. Наоборот, явления набухания, возникающие в глинистых грунтах монтмориллонитового состава, приводят к увеличению объема грунта и подъему основания фундамента сооружения.

Расчет деформации усадки и набухания грунтов основания производится соответственно по формулам:

$$S_{\text{у}} = \sum_{i=1}^{i=n} \delta_{\text{у}i} h_i m_{\text{у}} \quad \text{и} \quad (28.4)$$

$$S_{\text{н}} = \sum_{i=1}^{i=n} \delta_{\text{н}i} h_i m, \quad (28.5)$$

где $\delta_{\text{у}i}$ — относительная линейная усадка грунта i -го слоя; $\delta_{\text{н}i}$ — относительное набухание грунта i -го слоя; h_i — мощность i -го слоя; $m_{\text{у}}$ — коэффициент условий работы грунта при усадке; m — коэффициент условий работы при набухании; n — число слоев активной зоны с различными значениями относительной усадки и относительного набухания.

Расчитанные величины осадок, просадок и других деформаций грунтов служат критерием пригодности основания для строительства запроектированного сооружения.

3. Деформация выпора грунтов основания из-под сооружения. В главе 5 были рассмотрены стадии сопротивления грунта прилагаемым к нему нагрузкам и показано, что при неограниченном увеличении удельного давления на грунт происходит лавинное нарастание деформации, заканчивающееся разрушением грунта основания — выпор. Этот процесс протекает очень быстро:

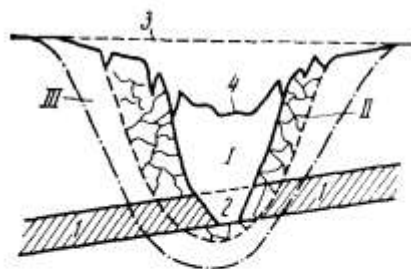
сооружение дает внезапную осадку, как бы проваливается, наклоняется, грунт из-под фундамента в виде вала выпирает в стороны. Происходит полная потеря прочности основания и устойчивости сооружения. Нагрузка, при которой возникает это явление, называется *несущей способностью* грунта основания. Превышение несущей способности приводит к разрушению основания. Примером такого рода аварий служит нарушение устойчивости Трансконского элеватора в Канаде в 1913 г. При заполнении элеватора зерном, увеличившем общее давление на грунт примерно вдвое, произошла общая осадка фундаментной плиты на глубину свыше 4 м, причем осадка фундамента с одной стороны на 8,7 м, а с другой — на 1,5 м привела к отклонению осевой линии сооружения почти на 27°. Блок железобетонных башен элеватора лег на бок, образовав по сторонам валы напора. Расчет прочности основания производится по первому предельному состоянию, т. е. определяется его несущая способность.

Сдвигение горных пород при подземных работах

Давно было замечено, что при проходке горных выработок происходят вывалы горных пород, обрушения сводов, деформации стенок выработок. Для предупреждения этого стали применять крепление горных выработок. Давление пород на крепь стали называть *горным давлением*. Установлено, что величина горного давления зависит от глубины заложения подземной выработки, вида и состояния пород. В случае значительного объема подземных выработок на подрабатываемых территориях возникает ряд явлений, причина которых заключается в нарушении естественного напряженного состояния массива горных пород. Под этим понимают нарушения сложившихся в процессе формирования горных пород гравитационного, гидродинамического, гидрохимического, геотермического режимов [29].

Остановимся на гравитационных явлениях, как наиболее ярко отражающих последствия хозяйственной деятельности человека. В 1880 г. в Среднем Чeshire (Англия) было замечено значительное оседание земной поверхности над месторождением каменной соли. Последующие опускания произошли в 1893 и 1912 гг. В результате повреждения каналов, разрыва водопроводных труб на площади 7 км² произошло подтопление возникшей впадины, а впоследствии образовалось болото. Локальные сдвигения поверхности земли известны в угледобывающих районах Верхней Силезии (Польша). Систематически ведущееся нивелирование позволило определить скорость прогибания поверхности. В Силезском бассейне она изменялась в отдельные периоды от 15 до 80 мм в год. Наблюдения в Донбассе позволили установить, что скорость прогибания связана с интенсивностью добычи угля. В периоды интенсивной разработки пласта скорость прогибания достигала 220 мм в месяц. В настоящее время в Подмосковном угольном бассейне и в Донбассе на ряде участков

Рис. 98. Зоны сдвижения горных пород (по П. Н. Панюкову): I — обрушения, II — трещиноватости, III — плавных сдвижений. 1 — пласт полезного ископаемого, 2 — отработанная часть пласта; 3 — поверхность земли до отработки пласта; 4 — поверхность земли после отработки залежи



прогибание составляет первые метры при глубине подземных выработок 300—700—1000 м, а диаметр депрессии прогиба на подрабатываемых территориях измеряется сотнями километров [28].

Последние данные, подтверждающие, что процесс сдвижения происходит при любом нарушении баланса земляных масс подземными выработками, получены при нивелировке трасс тоннелей метро Москвы и Киева. В зависимости от глубины подземных выработок и литологии пород сдвижение может носить характер: а) плавного прогиба, б) трещин, в) провалов. Сдвижение начинает развиваться от выработки (рис. 98) и имеет следующие зоны:

I. Зону обрушения, ближайшую к выработанному пространству, где порода характеризуется полной потерей сил внутренних связей.

II. Зону трещиноватости, характеризующуюся разрывом сплошности пород с образованием трещин от нескольких миллиметров до метров.

III. Зону плавных сдвижений — зону перемещений и деформаций, не сопровождающихся нарушением сплошности [29].

При проектировании зданий и сооружений на подрабатываемых территориях состояние территории или процесс сдвижения на данный отрезок времени характеризуются максимальным оседанием поверхности, максимальным горизонтальным сдвижением, наклоном поверхности и площадью мульды сдвижения.

Оседание земной поверхности при эксплуатации жидких и газообразных полезных ископаемых

В последние десятилетия значительное распространение приобрел процесс оседания территорий больших городов и районов эксплуатации жидких и газообразных полезных ископаемых (флюидов). Как показали исследования, оседания приурочены в геологическом отношении к молодым слабоуплотненным песчано-глинистым отложениям четвертичного времени или неогена, представляющим собой водоносные или нефте-газовмещающие толщи. Механизм этого процесса заключается в постепенном освобождении пустот в этих дисперсных грунтах от несжимаемой воды или слабосжимаемых флюидов, возрастании природного давления в пластах по мере понижения уровней полезных

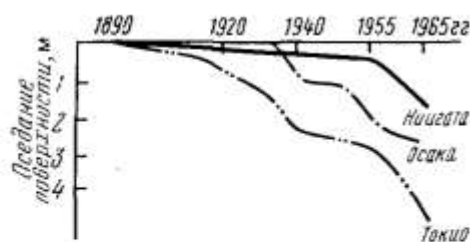


Рис. 99. Оседание земной поверхности под крупными городами Японии

ископаемых и уплотнения пород под действием собственной массы. Впервые эти явления были отмечены в связи с интенсивной откачкой подземных вод в японских городах Токио, Осака и Ниигата в 30-х годах нашего столетия (рис. 99). Здесь оседание поверхности достигло 18 см/год, а в отдельные годы составляло 50 см. Площадь, охваченная оседанием, была равна сотням квадратных километров, а наибольшее понижение отметок поверхности составило к 1961 г. 4 м. В связи с таким оседанием в приморском г. Осака пришлось построить 190 км морезащитных дамб.

Еще более интенсивно происходит оседание столицы Мексики — г. Мехико. Здесь водоснабжение построено на эксплуатации неглубоко залегающих водоносных горизонтов в аллювиальных отложениях (100—300 м). Суточный расход в последние годы достигал 800 тыс. м³. Первые признаки оседания поверхности были зарегистрированы в 1880 г., а к 1960 г. осадка некоторых участков земли составила 7 м. Это вызвало неравномерные деформации фундаментов зданий, их крен, нарушение работы подземных коммуникаций и пр. К таким же результатам приводит откачка из недр Земли нефти и газа. В США последствия эксплуатации флюидов сказываются в Калифорнии, Колорадо и в других местах.

В СССР отмечено опускание поверхности вблизи старейших нефтепромыслов Апшеронского полуострова за 50 лет на 2,5 м и резкое увеличение скорости осадки Газлинского месторождения природного газа [28].

Усиление сейсмической активности в связи с устройством водохранилищ

Появление сейсмических толчков в сейсмически малоактивных районах или резкое оживление сейсмической деятельности в связи с постройкой и заполнением водохранилищ было отмечено впервые в 1935 г. в связи с постройкой плотины Боулдер-Дам в США на р. Колорадо. Наиболее сильные точки совпали с максимальными уровнями наполнения водохранилища. В дальнейшем исследования показали, что на 10 из 60 построенных в США водохранилищ была зафиксирована так называемая «возбужденная» сейсмичность. Из других крупных водохранилищ, возведенных позднее, сильные землетрясения произошли

в Индии в 1967 г. (водохранилище на р. Койна), в Китае в 1962 г., в Греции (плотина Кремоста), в Африке на р. Замбези. В шести случаях возбужденные землетрясения достигали 5—6 баллов. Аналогичные явления отмечены при заполнении водохранилищ во Франции, Италии, Испании, Швейцарии, Югославии, Канаде, Бразилии, Японии, Австралии [28].

В СССР этот процесс изучался при строительстве и эксплуатации крупнейшей в мире плотины на р. Вахш высотой 303 м в Таджикистане. Этот район является одним из наиболее сейсмичных районов страны. К началу заполнения водохранилища в 1967 г. число землетрясений начало увеличиваться, составив 26 за квартал. В 1971 г. число землетрясений увеличилось до 40, а в последнем квартале 1971 г.— до 133, когда отметка воды в водохранилище достигла уровня 100 м.

В последние годы четко определилась взаимосвязь между сейсмической активностью и заполнением строящихся водохранилищ по крайней мере на 35 крупных объектах, расположенных как в сейсмически активных, так и в равнинно-платформенных областях. Однако нельзя не отметить, что такой связи в ряде других случаев не обнаружено. Большинство ученых считают, что основной причиной «возбужденных» землетрясений является изменение режима давления порово-трещинных вод. Дополнительная нагрузка от воды при заполнении водохранилища вызывает опускание его ложа, влияет на изменение порового давления в пластах и приводит к высвобождению сейсмической энергии, что вызывает землетрясение.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

При оценке показателей физико-механических свойств грунтов для инженерно-геологических целей исследователь сталкивается с определенными трудностями. В кажущемся однородном слое породы значения показателей их состава, состояния и свойств могут быть различными. Полученные результаты зависят от факторов, связанных с методами проходки разведочных выработок, хранением и транспортированием проб, способами подготовки проб к анализу, методами лабораторных и полевых исследований физико-механических свойств и т. д.

Однако главный фактор, оказывающий существенное влияние на разброс значений того или иного показателя, обусловлен внутренним строением горной породы, ее неоднородностью, связанной с литолого-генетическими особенностями.

Показатели свойств грунтов изменяются не только в одной отобранной пробе (монолите), но также по разрезу и по площади. Такое закономерное изменение называют пространственной неоднородностью, или изменчивостью [20].

Инженерно-геологическая изменчивость — это изменение значений показателей физико-механических свойств пород по глубине и по простиранию.

Рассмотрим основные закономерности, присущие инженерно-геологической изменчивости, зависимость последней от условий формирования горных пород и влияния ее на опробование и обобщение значений показателей свойств.

И. В. Коломенский [17] предлагает выделить три типа инженерно-геологической изменчивости горных пород.

1. Скачкообразная незакономерная изменчивость, при которой свойства пород меняются независимо от координат пространства.

2. Скачкообразная закономерная изменчивость, при которой наблюдается определенная связь изменения показателя с координатами пространства. Например, на междуречных площадях юга Украины, сложенных лёссовыми породами, содержание глинистых частиц увеличивается по глубине и с севера на юг. Аналогичная изменчивость прослежена и для грунтов, слагающих пониженные участки (поды) на лёссовых территориях. Для подовых грунтов отмечено увеличение глинистости от периферии пода к его центральной части [21].

3. Функциональная изменчивость, которая наблю-

дается при искусственных воздействиях на грунты. В данном случае имеется функциональная взаимосвязь показателя с координатами пространства. Так, при укладке грунта в тело плотин, насыпей, дамб плотность его сложения является функцией затраченной на уплотнение работы (проходы катков, трамбование и т. д.).

Инженерно-геологическая изменчивость свойственна всем генетическим типам грунтов и обуславливается различными факторами. При формировании осадочных пород их свойства определяются составом исходного материала, характером транспортировки, условиями седиментации и др. В этом случае изменчивость тесно связана с региональными изменениями среды, в которой проходят процессы диагенеза и постгенетические преобразования.

Такой тип изменчивости Н. В. Коломенский называет региональным. Он указывает на трудности выявления региональной инженерно-геологической изменчивости при работе на небольших участках, так как в этом случае колебания частных значений показателей свойств грунтов оказываются значительно меньше резких сглаженных средних значений.

Кроме региональной инженерно-геологической изменчивости существует временная инженерно-геологическая изменчивость, которая имеет место при оценке изменения показателя по глубине. Здесь идет речь об изменчивости значений показателя свойств грунта, образовавшегося в различное время.

Установление типов инженерно-геологической изменчивости и учет влияния различных геологических факторов на тот или иной тип существенно отражаются на выборе параметров системы инженерно-геологического опробования.

При различной инженерно-геологической изменчивости применяются разные способы определения параметров системы опробования. В случае, когда на исследуемом участке установлена скачкообразная незакономерная инженерно-геологическая изменчивость или на ограниченной площади может быть принята за такую, применяется приближенно-статистический способ установления числа проб (см. гл. 34).

Размещение выработок должно быть равномерным, но не закономерным (не по правильным геометрическим сеткам и линиям).

При закономерной инженерно-геологической изменчивости (или когда в сопредельных районах проведены инженерно-геологические исследования) применяется способ интерполяции и экстраполяции, что сводит к минимуму число отбираемых проб.

Если установлена функциональная инженерно-геологическая изменчивость, то для определения необходимого числа проб применяются различные методы математической статистики (см. гл. 19).

Наиболее простой из этих методов рекомендует ГОСТ 20522—75.

Число частных определений устанавливают по формуле

$$n = t_{\alpha}^2 \frac{v^2}{\rho^2}; \quad (29.1)$$

обозначения к формуле (29.1) см. в (19.5).

В случае, если отсутствуют опытные данные о коэффициенте вариации v и показателе точности среднего значения ρ , значения их могут быть приняты по табл. 39.

Таблица 39

Значения коэффициента вариации v и показателей точности оценки среднего значения характеристики ρ

Характеристика грунта	v	ρ
Плотность частиц грунта	0,01	0,001
Плотность грунта	0,05	0,015
Природная влажность	0,15	0,05
Влажность на границе текучести и раскатывания	0,15	0,05
Модуль деформации (по данным полевых и лабораторных испытаний)	0,30	0,10
Сопротивление срезу в лабораторных условиях при одном значении уплотняющего давления	0,20	0,10
Временное сопротивление при одноосном сжатии скальных грунтов	0,40	0,15

Глава 30

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В отличие от капиталистических стран изыскания, проектирование и строительство в СССР проводятся по единому государственному плану.

Потенциально развивающееся строительство в нашей стране требует постоянного совершенствования инженерно-геологических изысканий, внедрения в производство высокопроизводительного оборудования, улучшения технологии изыскательских работ. В этой связи разработаны и продолжают разрабатываться рациональные требования по обеспечению проектов строительства качественной инженерно-геологической информацией, полученной на основе положений, заключенных в современных нормативных документах, регламентирующих проведение инженерно-геологических изысканий.

Основным таким документом является СНиП II-9-78 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».

Инженерно-геологические изыскания представляют собой производственный процесс, выполняемый для получения информации, необходимой при проектировании и строительстве объектов.

Основными задачами инженерно-геологических изысканий являются:

- 1) обоснование технической возможности и экономической целесообразности строительства объектов в данном районе;
- 2) сравнение возможных вариантов расположения проектируемого объекта и выбор оптимального из них;
- 3) обеспечение компоновки зданий и сооружений проектируемого объекта по выбранному варианту;
- 4) обоснование расчетных схем взаимодействия оснований и среды зданий и сооружений;
- 5) осуществление авторского надзора за проведением строительных работ.

Выполняемые изыскания должны быть направлены на изучение геологического строения территории, состава, состояния и физико-механических свойств грунтов, гидрогеологических и геоморфологических условий, выявление неблагоприятных физико-геологических процессов и явлений, прогнозирование изменения природной обстановки при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Детальность инженерно-геологических исследований определяется стадией проектирования.

Стадии проектирования

Инженерно-геологические изыскания, выполняемые для обоснования проектов строительства, неразрывно связаны со стадиями проектирования. В этой связи можно говорить об этапе инженерно-геологических изысканий как о законченном комплексе работ, объемы и методы которых определяются стадией проектирования. В соответствии с СН 202—81 выделяют предпроектные и проектные стадии.

Предпроектные стадии включают в себя схемы различного назначения: развития и размещения отраслей народного хозяйства; развития и размещения производительных сил и др.

Проектирование может быть двухстадийное — проект и рабочая документация и одностадийное — рабочий проект.

В одну стадию проектируются предприятия, здания и сооружения, строительство которых будет осуществляться по типовым и повторно применяемым проектам, а также для технически несложных объектов. В две стадии осуществляется проектирование крупных и сложных объектов.

Указанные выше схемы, а также подобные им схемы комплексного использования территорий составляют основу для перспективной оценки возможности освоения природных богатств региона или же размещения крупных народнохозяйственных объектов.

На стадии схемы подтверждаются практическая необходимость и экономическая целесообразность проектирования и строительства объектов, реконструкции предприятий, зданий или со-

ружений, железных и автомобильных дорог, линий электропередач, связи, нефте- и газопроводов.

Схема определяет основные технико-экономические показатели и стоимость строительства или реконструкции объектов. Стоимость строительства, определенная на стадии схемы, не должна быть изменена при последующих стадиях проектирования.

При рабочем проектировании решаются следующие вопросы: 1) экономика производства; 2) технологическая схема производства, обеспечивающая достижение высокой производительности; 3) транспортные схемы поступления сырья и выпуска готовой продукции; 4) обеспечение жилищно-бытовых условий работающих; 5) организация строительства и его сметная стоимость; 6) применение автоматизированных систем управления; 7) природно-охранные мероприятия; 8) качество выпускаемой продукции, оценка ее новизны и эффективности в народном хозяйстве; 9) специализация и кооперация производства и связь с другими смежными областями народного хозяйства, а также другие специальные вопросы применительно к особенностям объекта.

В проекте помимо указанных вопросов рабочего проекта должны быть рассмотрены и уточнены решения, принятые в схеме, в части: а) рекомендуемой технологии производства, выбранного оборудования и связанных с ним планировочных, строительных и других решений; б) потребности производства в исходном сырье, полуфабрикатах, материалах, энергии, воде, топливе и других ресурсах; в) технико-экономических показателей и стоимости всего строительства.

Рабочие чертежи разрабатываются и выдаются после утверждения проекта на весь объект, на отдельные строительные этапы или определенный вид работ. На данной стадии широко применяются типовые рабочие чертежи. Особое внимание обращается на разработку монтажных планов, отдельных сооружений и узлов конструкции.

В зависимости от видов строительства (см. гл. 36) изменяются объемы и методы производства инженерно-геологических изысканий на данной стадии.

Состав и условия проведения изысканий

Состав инженерно-геологических изысканий зависит от стадии проектирования объекта и природных условий территории.

К составу инженерно-геологических изысканий относятся: сбор, изучение и обобщение данных о природных условиях района строительства по материалам прошлых лет; инженерно-геологические рекогносцировка, съемка, разведка и опробование (последнее выполняется при рекогносцировочных, съемочных и разведочных работах).

В главах 31—34 детально изложено содержание указанного состава инженерно-геологических изысканий. Сроки выполнения работ, их стоимость и технологические особенности непосред-

ственно связаны с экономическими и природными условиями территории, на которой предполагается строительство объекта.

Экономические условия территории определяют: пути сообщения, энергетическая база, наличие воды, рабочей силы и др. Зависимость методов производства работ и сроков их выполнения от указанных экономических факторов очевидна.

Пути сообщения и энергетическая база влияют на подбор бурового оборудования и снаряжения изыскательских подразделений. Наличие или отсутствие источников водоснабжения определяет технологию производства разведочных работ и возможность организации опытно-фильтрационных исследований и др.

Важен также учет природных условий: климата, рельефа, геологического строения и гидрогеологических условий.

Приведенные факторы учитываются лишь в случае существенного их влияния на инженерно-геологическую оценку территории.

Методы получения инженерно-геологических данных

Особенности состава инженерно-геологических изысканий, влияние экономических и природных факторов на условия производства работ определяют многообразие методов получения инженерно-геологической информации. Эта информация может быть получена путем визуальной оценки объекта исследований или путем оперативного использования различных технических средств.

Визуальная оценка заключается в описании естественных обнажений пород и проб грунтов, извлеченных из буровых скважин и шурфов, дешифрировании аэрофотоснимков или же аэровизуальных наблюдениях.

При оперативном использовании технических средств проводятся буровые и горнопроходческие работы, зондирование, геофизические исследования, полевые опытные и лабораторные работы, стационарные наблюдения на объектах исследования и др.

Возможно и комплексное получение инженерно-геологической информации, когда наряду с визуальной оценкой используются различные технические средства (геоботанические исследования, обследование состояния зданий и сооружений и т. д.).

Применение тех или иных методов получения инженерно-геологических данных определяется стадией проектирования, сложностью инженерно-геологических условий, а также конструктивными особенностями сооружения или условиями его эксплуатации.

Более детально методы получения инженерно-геологических данных охарактеризованы в работе Н. В. Коломенского [17], а также в разделах II и IV настоящей книги.

Общий принцип проведения изысканий

Исходным документом, определяющим задачи инженерно-геологических изысканий, является техническое задание, выдаваемое

мое заказчиком (проектной организацией). Техническое задание составляется на основе требований СНиП II—9—78 и других нормативных документов с учетом стадии проектирования и конструктивных особенностей сооружения.

Техническое задание, направленное на решение комплекса вопросов при проектировании, содержит:

1) данные о местоположении объекта, его назначении и стадиях проектирования с краткой характеристикой параметров и конструкций зданий и сооружений с указанием возможных вариантов их расположения;

2) предполагаемые глубины заложения фундаментов и подземных частей сооружения и их планировочные отметки с предполагаемыми статическими и динамическими нагрузками;

3) перечень топографо-геодезических материалов и требования, предъявляемые к точности инженерно-геологических работ, к материалам гидрогеологических изысканий и инженерно-геологическому обоснованию проектов;

4) данные о необходимых строительных материалах и требования, предъявляемые к их качеству;

5) сроки и порядок представления отчетных материалов по этапам или в целом по объекту в зависимости от конкретных задач, стоящих перед проектировщиками.

К техническому заданию прилагается топографический материал с указанием контуров объекта или сооружений.

Инженерно-геологические изыскания выполняются на основании программы работ, составленной в соответствии с техническим заданием.

Программа работ составляется на весь объем изысканий, на какую-либо их часть или же на определенный вид работ. При таком подходе обобщенный и проанализированный материал, полученный на предыдущих этапах, служит основой для последующего планирования изыскательских работ и способствует внесению корректив в проектные решения. Как правило, программа является основным документом при составлении смет. Программа согласовывается с заказчиком и утверждается руководством изыскательской организации.

В программе работ определяются состав, объемы и методы производства работ в соответствии с существующими нормативными документами, сроки и очередность работ с учетом природных особенностей территории и технических возможностей изыскательской организации.

Для выполнения работ, предусмотренных программой, создаются изыскательские подразделения — отряды, партии или экспедиции в зависимости от объема работ. При экспедициях организуются лаборатории для изучения физико-механических свойств грунтов и химизма подземных вод.

Инженерно-геологические работы подлежат регистрации во Всесоюзном или территориальных геологических фондах.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКОГНОСЦИРОВКА

Инженерно-геологическая рекогносцировка — это обследование местности в целях получения данных об основных чертах ее инженерно-геологических условий. Она является основным видом инженерно-геологических работ, выполняемых при обосновании практической необходимости и экономической целесообразности строительства, а также для технико-экономического сравнения вариантов или выбора оптимального варианта.

Инженерно-геологическая рекогносцировка осуществляется по маршрутам, намеченным после предварительного осмотра территории с господствующих высот или после ознакомления с нею при помощи воздушного, наземного или водного транспорта.

В результате проведения рекогносцировки должны быть получены данные: о геологических и геоморфологических особенностях территории; об основных литолого-генетических типах грунтов и их физико-механических свойствах; об основных водоносных горизонтах с характеристикой условий их питания и дренирования; о развитии физико-геологических процессов и явлений и масштабах их проявления.

В районах с неблагоприятными физико-геологическими процессами и явлениями необходимо установить границы их проявления, выявить изменения в рельефе, используя топографический и аэрофотосъемочный материал, оценить эффективность работы защитных сооружений путем их детального обследования и наметить участки для проведения опытных и стационарных исследований и наблюдений.

Инженерно-геологическая рекогносцировка делится на три периода: подготовительный, полевой и камеральный.

В подготовительный период выполняются следующие работы:

- а) получение технического задания;
- б) сбор, систематизация и обобщение материалов предыдущих исследований, в том числе и аэрофотосъемочных;
- в) постановка задач, которые должны быть решены при рекогносцировочных исследованиях;
- г) выбор видов и объемов работ для данных природных условий;
- д) составление программы и сметно-финансового расчета;
- е) составление календарного графика и проведение организационно-технических мероприятий для производства работ.

В полевой период проводятся описания всех элементов геологической среды по наземным маршрутам, выбранным предварительно. Описание ведется по точкам наблюдения.

Точкой наблюдения считается естественное (скала, обрыв, овраг, промоина и др.) или искусственное (карьер, котлован, незакрепленные колодцы и другие горные выработки) обнажение

горных пород на поверхности или же проявление физико-геологических процессов (карст, оползень и др.), описанное в маршруте.

Описание точки наблюдения выполняется по такому плану:

- 1) номер и плано-высотная привязка на местности;
- 2) характер обнажения и его признак (естественный, искусственный, овраг, промоина и т. д.);
- 3) описание;
- 4) приуроченность к определенным формам рельефа;
- 5) литологическая характеристика пород с предположительной стратиграфо-генетической принадлежностью;
- 6) выявление элементов залегания пород (азимут и угол падения) и тектонических особенностей;
- 7) характеристика физико-геологических процессов и явлений, развитых вблизи точки;
- 8) наличие водоявлений;
- 9) отбор проб для различных видов исследований.

При описании пород необходимо обращать внимание на их прочность, устойчивость, трещиноватость (с обязательным замером элементов залегания трещин и характеристикой их генезиса), отношение к воде (растворимость, размокаемость, размываемость и т. д.).

Ведение всех записей сопровождается (по возможности) рисунками, профилями, абрисами расположения описываемых элементов и др.

Полевая книжка и маршрутная карта являются основными документами, отражающими рекогносцировочные маршруты.

В камеральный период составляется заключение, состоящее из схематической инженерно-геологической карты с колонкой и разрезами. К заключению прилагается карта фактического материала, на которой должны быть нанесены направления маршрутов, точки наблюдения и т. д.

По материалам инженерно-геологической рекогносцировки принимаются определенные проектные решения в том случае, когда рекогносцировка выполняется как самостоятельный вид работ. Эти материалы могут быть также использованы для планирования последующих инженерно-геологических работ.

Глава 32

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Инженерно-геологическая съемка — это комплекс работ, проводимый с целью общей оценки инженерно-геологических условий территории, предназначенной для строительства сооружений или осуществления других мероприятий.

Под инженерно-геологическими условиями понимается совокупность геологической обстановки, оказывающей влияние на строительство и эксплуатацию сооружений.

Состав работ

Состав работ при инженерно-геологической съемке и ее масштаб определяются программой работ с учетом сложности инженерно-геологических условий, видов строительства и типа проектируемых сооружений. Все работы выполняются в соответствии с нормативными документами, утвержденными для данного вида строительства.

Категории сложности инженерно-геологических условий при обосновании объемов работ при производстве инженерно-геологических съемок крупного масштаба или инженерно-геологической разведки устанавливаются на основе табл. 40.

Категории сложности инженерно-геологических условий для съемок среднего и мелкого масштабов устанавливаются на основании табл. 41.

—В состав инженерно-геологической съемки входят:

- 1) сбор, систематизация и анализ материалов изысканий прежних лет;
- 2) дешифрирование аэрофотоснимков;
- 3) составление предварительных инженерно-геологических карт на основе изученных материалов;
- 4) разбивка маршрутов и описание местности по маршрутам;
- 5) геофизические работы;
- 6) буровые и горнопроходческие работы;
- 7) полевые опытные работы (статическое и динамическое зондирование, вращательный срез, откачки, наливывы, нагнетания и др.);
- 8) лабораторные исследования;
- 9) стационарные наблюдения;
- 10) обследование состояния зданий и сооружений, находящихся на территории съемки;
- 11) специальные виды исследований, предусмотренные программой;
- 12) камеральная обработка материалов и составление отчета с графическими и текстовыми приложениями.

Следует иметь в виду, что состав работ при инженерно-геологической съемке может существенно меняться в зависимости от вида строительства и природных условий территории.

Например, в районах развития скальных грунтов для обоснования проектов гражданского строительства излишне проведение штампоопытов и зондировочных работ, а в ряде случаев и лабораторных исследований. Природными условиями определяется и общая методика производства инженерно-геологической съемки. Так, при линейных изысканиях на трассах большой протяженности при плохой проходимости местности (заболоченность, заросленность) съемочные работы по маршрутам нецелесообразны. В данном случае предпочтительнее метод «ключевых» участков, на которых выполняются основные виды работ, входящие в состав съемки.

Категории сложности инженерно-геологических условий при крупномасштабной съемке или разведке

Группа факторов	Категории сложности и их характеристика		
	I	II	III
Геоморфологическая	Строительная площадка (участок трассы) располагается в пределах одного геоморфологического элемента	Строительная площадка (участок трассы) располагается в пределах группы геоморфологических элементов одного и того же генезиса	Строительная площадка (участок трассы) располагается в пределах группы геоморфологических элементов разного генезиса
Геологическая	Поверхность геоморфологического элемента ровная или слабоаклонная	Поверхность геоморфологических элементов ровная или слабоаклонная	Поверхность геоморфологических элементов резко расчлененная
	В сфере влияния сооружений на грунты залегает не более двух различных по литологии слоев. Мощность слоев выдержана по простиранию	В сфере влияния сооружений на грунты залегает не более трех различных по литологии слоев. Мощность слоев изменяется по простиранию закономерно	В сфере влияния сооружений на грунты залегает более трех различных по литологии слоев. Мощность слоев резко изменяется по простиранию
Гидрогеологическая	Скальные грунты залегают с поверхности или перекрыты многоочным слоем нескольких грунтов, подлежащих сносу при подготовке оснований	Скальные грунты имеют неровную кровлю и перекрыты одним-двумя слоями нескольких грунтов	Линзовидное залегание слоев. Скальные грунты имеют резко расчлененную кровлю и перекрыты нескальными грунтами
	Грунтовые воды отсутствуют или имеют один выдержанный горизонт, уровень которого располагается ниже отметок заложения фундаментов	Уровень грунтовых вод залегает выше отметок заложения фундаментов. Имеется несколько горизонтов грунтовых вод, выдержанных по простиранию	Горизонты грунтовых вод не выдержаны по простиранию. В линзах и карманах грунтовые воды обладают местным напором
	Горизонты подземных вод, обладающих напором, отсутствуют	Имеется один выдержанный горизонт подземных вод, обладающих напором	Горизонты подземных вод, обладающих напором, не выдержаны по простиранию

Группа факторов	Категории сложности и их характеристика		
	I	II	III
Физико-геологических процессов и явлений	Физико-геологические процессы и явления, отрицательно влияющие на устойчивость проектируемых зданий и сооружений, отсутствуют	Физико-геологические явления и процессы, влияние которых необходимо учитывать при проектировании зданий и сооружений, имеют локальное распространение	Физико-геологические процессы и явления имеют повсеместное распространение. Имеются случаи деформации зданий, вызванные проявлением физико-геологических процессов

Примечания: 1. Установление категорий сложности инженерно-геологических условий проводится по совокупности коррелируемых между собой факторов. 2. В тех случаях, когда категория сложности повышена по одному, не коррелируемому с другим, фактору (по высокому стоянию уровня грунтовых вод, наличию деформаций зданий и сооружений и т. д.), следует проектировать дополнительно только те виды работ, которые обеспечивают выяснение влияния на проектируемые сооружения именно этого фактора

Таблица 41

Категории сложности инженерно-геологических условий при съемках среднего и мелкого масштабов

Категории сложности и их характеристика		
I	II	III
Однообразные осадочные породы. Стратиграфия простая. Маркирующие горизонты выражены ясно. Залегание пластов горизонтальное или очень пологое, моноклиналиное. Формы рельефа несложные, хорошо прослеживаемые. Подземные воды однородного химического состава и приурочены к пластам однородных пород. Резкие проявления физико-геологических процессов отсутствуют	А. Однообразные осадочные породы со слабо выраженными маркирующими горизонтами. Эффузивные и интрузивные породы ограниченного распространения. Взаимоотношения между осадочными и изверженными породами простые. Залегание пластов горизонтальное, моноклиналиное или в виде простых пологих складчатых структур. Формы рельефа эрозивно-аккумулятивные с многочисленными или неясно выраженными террасами. Резкие проявления физико-геологических процессов отсутствуют	А. Комплекс разнообразных пород сложного литологического состава. Метаморфические, эффузивные и интрузивные породы. Развита складчатая и разрывная нарушения. Преобладают горные или предгорные формы рельефа. Различные типы подземных вод со сложными условиями залегания

Категории сложности и их характеристика		
I	II	III
	Б. Районы I категории сложности, но с широким развитием физико-геологических явлений, влияющих на инженерно-геологические условия местности, или с широким развитием пород, отличающихся низкой несущей способностью, или с невыдержанными по простиранию, или по мощности водоносными горизонтами с неоднородным химическим составом вод	Б. Районы II категории со сложной, труднокартируемой тектоникой или с широким развитием физико-геологических явлений, влияющих на инженерно-геологические условия местности

Метод «ключевых» участков заключается в экстраполяции данных, полученных на «ключевом» участке, на значительные площади. Основная трудность выбора таких участков состоит в определении изменения оцениваемого параметра в пространстве.

Как правило, инженерно-геологическая съемка проводится при работе на перспективных вариантах строительства, а также на выбранном варианте.

Масштаб съемки и виды инженерно-геологических карт

Детальность инженерно-геологической съемки зависит от ее масштаба, который определяется стадией проектирования, категорией сложности инженерно-геологических условий, видом строительства и характером проектируемых сооружений.

Инженерно-геологические съемки в зависимости от масштаба подразделяются на мелкомасштабные — от 1:500 000 и мельче, среднемасштабные — от 1:200 000 до 1:25 000 и крупномасштабные — от 1:10 000 и крупнее.

Соответственно масштабу съемки и детальности содержания составляются карты:

- 1) обзорные мелкомасштабные — 1:2 500 000—1:500 000;
- 2) обзорные среднемасштабные — 1:200 000—1:100 000;
- 3) среднемасштабные — 1:50 000—1:25 000;
- 4) крупномасштабные, детальные — 1:10 000 и крупнее.

Инженерно-геологической картой называется обобщенное изображение на плоскости природных факторов, охарактеризованных в соответствии с требованиями проектирования и строительства инженерных сооружений [18].

Инженерно-геологические карты и разрезы к ним являются основным результирующим документом выполненных инженерно-геологических изысканий. Такие карты позволяют наиболее рационально разместить сооружения, наметить порядок производства работ при строительстве различных объектов, а также наметить мероприятия, направленные на борьбу с проявлениями нежелательных инженерно-геологических процессов.

Существует несколько типов инженерно-геологических карт, которые П. В. Коломенский объединяет в две группы: аналитические и синтетические.

Аналитические карты могут быть частные, общие и специализированные. На частных картах отражаются отдельные инженерно-геологические факторы, зависимость одних факторов от других (частные карты инженерно-геологических условий) или выделяются районы и участки с одинаковыми инженерно-геологическими особенностями — просадочностью, засоленностью и др. (частные карты инженерно-геологического районирования).

Общие инженерно-геологические карты содержат данные о геологическом строении и условиях залегания горных пород, элементах тектонических структур, гидрогеологических особенностях. На них показываються элементы геоморфологии и имеющие место физико-геологические процессы.

К специализированным картам относятся аналитические карты, на которых показаны те естественные факторы, которые оказывают существенное влияние на проектирование и строительство определенного вида (мелиоративное, гидротехническое и др.).

Синтетические инженерно-геологические карты дают суммарную оценку всех факторов, влияющих на инженерно-геологические особенности территории.

Эти карты могут быть специализированные и общие, или унифицированные. На специализированных картах в зависимости от потребности строительства и стадии изысканий детально освещаются только те факторы, которые оказывают существенное влияние на условия строительства и эксплуатации сооружений. Например, при инженерно-геологическом районировании для строительства дренажа определяющими являются водопроницаемость грунтов и уровенный режим подземных вод.

Для данного вида карт должен строго выдерживаться принцип последовательного инженерно-геологического районирования, разработанный И. В. Поповым. При этом выделяются такие таксономические единицы, как регионы, области, районы. Основными природными условиями их выделения являются: геологические структуры и характер слагающих эти структуры пород, гидрогеологические условия и современные физико-геологические процессы.

К унифицированным инженерно-геологическим картам относятся карты, составленные по единой методике и удовлетворяющие требованиям проектирования всех видов строительства [17].

Для унификации карт выявляются общие, наиболее важные

Классификация инженерно-геологических карт

Группа	Назначение	Масштаб	Способ составления	Вид
Регионального инженерно-геологического изучения территории СССР	А. Для выявления общих закономерностей формирования инженерно-геологических условий Б. Для разработки региональных и зональных норм и методов проведения инженерно-геологических работ	1 : 1 000 000 и мельче	Камеральным путем без полевых съемочных работ	Специализированные
Государственные инженерно-геологические	А. Для прогнозных оценок инженерно-геологических условий при хозяйственном освоении территории Б. Для предпроектных проработок по региональному использованию территории при ее хозяйственном освоении В. Для составления рабочих гипотез при планировании инженерно-геологических изысканий для решения проектных задач	1 : 1 000 000 1 : 20 000— 1 : 50 000 *	То же По результатам инженерно-геологической съемки	Унифицированные
Крупномасштабные инженерно-геологические	Для обоснования строительного проектирования	1 : 10 000 ** и крупнее	По результатам инженерно-геологической съемки По результатам инженерно-геологической разведки	Унифицированные Специализированные

* В сложных инженерно-геологических условиях масштабы соответственно увеличиваются до 1 : 1 000 000 и 1 : 25 000.

** В простых инженерно-геологических условиях масштаб 1 : 10 000 может быть заменен масштабом 1 : 25 000.

естественные факторы, которые должны быть отражены на инженерно-геологической карте, независимо от сложности естественных условий и вида строительства.

К числу таких факторов Н. В. Коломенский относит:

1) состав пород, условия их залегания, тектонические особенности;

2) гидрогеологические условия;

3) физико-геологические явления;

4) физико-механические свойства пород.

Детально характеризуя эти факторы, он особое внимание обращает на оценку инженерно-геологических типов пород, в основе которых лежат генетические типы.

Для проработки проектных решений на основе инженерно-геологических изысканий составляются инженерно-геологические разрезы, которые представляют собой вертикальное сечение земной коры с отображением тех факторов, которые оказывают решающее влияние при строительстве сооружений.

При построении инженерно-геологических разрезов для отображения строения грунтовых толщ необходимо выдерживать десятикратное соотношение вертикального и горизонтального масштабов с тем, чтобы иметь возможность изображения отдельных слоев мощностью до 0,5 м.

Направление инженерно-геологических разрезов определяется пространственным изменением факторов, оказывающих влияние на инженерно-геологическую оценку территории.

По своему назначению различают карты:

1) инженерно-геологических условий, составляемые для всех видов наземного строительства и используемые для общей оценки природных условий строительства объекта;

2) инженерно-геологического районирования, которые составляются как для общих, так и для специальных целей на основе общности инженерно-геологических условий выделяемых площадей;

3) специальные, составление которых осуществляется применительно к требованиям конкретного объема строительства.

В табл. 42 помещена классификация инженерно-геологических карт по назначению, масштабам и способам составления [11].

Производство съемочных работ

Все виды работ по проведению инженерно-геологической съемки выполняются в три периода: подготовительный, полевой и камеральный.

Подготовительный период

В подготовительный период должна быть намечена общая схема производства съемочных работ.

1. Получение технического задания и анализ предварительных проектных решений.

2. Сбор и систематизация материалов предыдущих исследований с дешифрированием аэрофотоматериалов.

3. Сопоставление предварительных проектных решений с данными, полученными по результатам сбора материалов.

4. Определение основных задач для проведения полевых работ, определение площади съемки и глубины изучения толщи пород.

5. Выбор методов проведения полевых работ и их рационального комплексного применения. Разработка требований к технологии производства полевых работ.

6. Составление программы, сметно-финансовых расчетов, графиков проведения работ, разработка организационно-технических мероприятий по обеспечению работ.

7. Выполнение организационно-технических мероприятий.

До начала съёмочных работ по материалам предыдущих исследований необходимо определить:

1) категорию сложности инженерно-геологических условий (см. табл. 40 или 41);

2) степень обнаженности местности (хорошая — наличие частых крупных обнажений преимущественно в горных районах с сильно расчлененным рельефом; удовлетворительная — недостаточное число обнажений с привлечением горно-буровых работ; плохая — слаборасчлененный рельеф и почти полное отсутствие обнажений);

3) условия проходимости местности;

4) степень дешифрируемости аэрофотоматериалов (хорошая при дешифрировании более 60 % картируемых элементов; средняя — от 30 до 60 %; плохая — менее 30 %).

В процессе сбора, систематизации и обобщения прорабатываются материалы геологических и гидрогеологических съемок, результаты инженерно-геологических исследований для различных видов строительства и т. д. Из работ, содержащих фактический материал, делаются выписки, снимаются кальки и др. Все данные наносятся на карту изученности района или на схематическую литолого-генетическую карту. Составляются каталоги (или перфокарты) всего имеющегося материала, в том числе результатов лабораторных и полевых исследований физико-механических свойств грунтов, геофизических данных, колонок буровых скважин, геологических разрезов и др.

Дешифрирование аэрофотоматериалов выполняют в три этапа. На первом этапе в камеральных условиях выявляются характерные взаимосвязи ландшафта, отраженного на фотоматериалах, и особенностей геологической среды (распространение горных пород, развитие физико-геологических процессов и т. д.). На втором этапе при выполнении полевых работ эти взаимосвязи конкретизируются. На третьем этапе производится окончательное дешифрирование.

При постановке основных задач обращается особое внимание на тщательное изучение тех инженерно-геологических особенно-

стей, которые будут являться определяющими при проектировании и строительстве объектов.

Выбор видов и методов производства работ при инженерно-геологической съемке основывается на применимости их в конкретных инженерно-геологических условиях.

Завершается подготовительный период составлением программы работ и плана организационно-технических мероприятий по обеспечению выполнения съемки в установленные сроки.

Полевой период

В полевой период описываются и изучаются все элементы геологической среды, влияющие на оценку инженерно-геологических условий территории строительства. Съёмочные работы начинаются с описания местности по маршрутам, направленным по возможности вкост простирания слоев и основных структурно-тектонических линий. Это позволяет выявить особенности тектонического строения и характерные черты геологического разреза. Маршруты должны также пересекать основные геоморфологические элементы.

Выбор числа точек наблюдения и разведочных выработок. Основой для инженерно-геологической съемки служат точки наблюдений, число которых изменяется в зависимости от масштаба съемки, категории сложности инженерно-геологических условий, а также наличия геологической основы необходимого масштаба (табл. 43).

Для обоснования строительного проектирования при отсутствии геологических карт требуемого масштаба числа точек наблюдения при инженерно-геологических съемках масштаба 1 : 25 000—1 : 5 000 приведено в табл. 44.

Описание точек наблюдения ведется в полевом дневнике карандашом на одной стороне листа, вторую оставляют для чертежей и рисунков. Нанесение точек наблюдения на карту производится инструментально или визуально. Основные опорные обнажения, тектонические элементы, пункты водоявления и разведочные выработки привязываются инструментально. Характерные обнажения, геоморфологические элементы и физико-геологические явления фотографируются. Из всех литологических разновидностей отбираются образцы для изучения литологического состава, петрографических особенностей и при необходимости химического состава, а также для определения физико-механических свойств.

После проведения маршрутов намечаются места размещения картировочных выработок, если установлено, что описания местности недостаточно для создания четкого представления об инженерно-геологических условиях территории.

Геофизические работы. При инженерно-геологических съемках все большее значение приобретают геофизические исследования, электро- и сейсморазведка, электрический и радиоактивный картаж.

Необходимое число точек наблюдений и разведочных выработок при инженерно-геологической съемке масштаба 1 : 200 000—1 : 50 000

Масштаб	Категория сложности инженерно-геологических условий	Число точек на 1 км ²	Число выработок при обнаженности		
			хорошей	удовлетворительной	плохой
1 : 200 000	I	0,5	0,005	0,05	0,15
		0,2	0,002	0,02	0,07
	II	0,6	0,006	0,05	0,18
		0,3	0,003	0,03	0,09
	III	1,1	0,011	0,11	0,33
		0,56	0,005	0,05	0,15
1 : 100 000	I	1,0	0,02	0,1	0,35
		0,6	0,01	0,05	0,15
	II	1,5	0,03	0,5	0,84
		0,15	0,07	0,22	0
	III	2,20	0,05	0,22	0,7
		0,96	0,022	0,11	0,33
1 : 50 000	I	2,3	0,05	0,30	0,90
		1,27	0,023	0,06	0,35
	II	3,0	0,06	0,40	1,0
		1,94	0,03	0,09	0,4
	III	5,30	0,10	0,5	1,6
		3,49	0,05	0,15	0,75

Примечание. В числителе — необходимое число точек наблюдений или выработок при отсутствии геологических карт требуемых масштабов; в знаменателе — число точек наблюдений или выработок при наличии геологических карт требуемого масштаба.

Наиболее часто применяются методы электроразведки — вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) и электропрофиллирование.

При помощи этих методов решаются следующие задачи [11]:

- 1) выделение слоев различного литологического состава и определение элементов их залегания;
- 2) картирование рельефа коренных пород и установление мощности рыхлых отложений и коры выветривания;
- 3) определение строения погребенных долин и характера составляющих их отложений;
- 4) прослеживание зон тектонических нарушений;
- 5) выявление и картирование закарстованных зон и отдельных крупных карстовых пустот;

Таблица 44

Необходимое число точек наблюдений при инженерно-геологической съемке масштаба 1 : 25 000—1 : 5 000

Масштаб съемки	Категория сложности инженерно-геологических условий	Число точек на 1 км ²	Число разведочных выработок при обнаженности		
			хорошей	удовлетворительной	плохой
1 : 25 000	I	6,0	0,3	1,2	2,4
	II	8,0	0,4	1,6	3,0
	III	10,0	0,5	2,0	4,0
1 : 10 000	I	14,0	0,7	3,0	6,0
	II	26,0	1,3	5,5	11,0
	III	34,0	1,7	6,8	14,0
1 : 5 000	I	47	9	15	23
	II	59	18	26	32
	III	74	30	37	45

- 6) картирование зон повышенной трещиноватости;
- 7) изучение формы и строения оползневых тел, а также мощности гравитационных накоплений у подножий склонов;
- 8) установление глубины залегания уровня грунтовых вод;
- 9) определение распространения и мощности мерзлых грунтов, а также в некоторых случаях оценки их льдистости, криогенной текстуры и температуры;
- 10) установление глубины залегания жильных льдов и их элементов.

Применение методов электроразведки наиболее эффективно в породах, значительно различающихся по величине удельного электрического сопротивления, которая зависит от состава пород, пористости, трещиноватости, степени водонасыщения и минерализации подземных вод.

Сейсмические исследования позволяют не только изучить структуру и строение массивов пород, мощность покровных отложений, но и определить упругие и деформационные характеристики скальных пород, коэффициент бокового отпора и др., что очень важно при строительстве туннелей различного назначения и оценки грунтов как основания сооружений при гидротехническом строительстве.

Применение электрического, сейсмического, магнитного и радиоактивного каротажа способствует уточнению геологического разреза буровых скважин, изучению минерализации подземных вод, качества цементационных завес, проведению геотермических исследований и т. д.

Буровые и горнопроходческие работы направлены на изучение геологического разреза на основании поднятого керна, отбора образцов для последующего изучения, а также выполнения поле-

вых исследований и специальных наблюдений. Типы оборудования и особенности технологии практически не отличаются от применяемых в геологоразведке, однако организация работ имеет свои специфические особенности. Это отбор проб слабых грунтов, подготовка выработок к проведению опытных исследований (вращательный срез, прессиометрия и др.), наблюдение за урочным режимом и т. д.

Полевые опытные работы выполняются в основном при крупномасштабной инженерно-геологической съемке и включают исследование грунтов штампами, прессиометрию, вращательный срез, статическое и динамическое зондирование и опытные гидрогеологические работы (откачки, наливов, нагнетания). Особенности производства зондировочных работ изложены в главе 18, а гидрогеологических исследований — в соответствующих курсах и указаниях.

Стационарные наблюдения проводятся в районах с неблагоприятными физико-геологическими процессами и явлениями. Выбор пунктов стационарных наблюдений производится на основании инженерно-геологической рекогносцировки или съемки.

В состав стационарных входят наблюдения:

1) в районах развития многолетнемерзлых грунтов — за температурным режимом, ходом сезонного промерзания и оттаивания, формированием верховодки и ее режимом;

2) в районах развития карста — за режимом подземных и поверхностных вод;

3) в районах развития оползней — за динамикой оползней, состоянием грунтов, слагающих тело оползня, режимом подземных вод в пределах оползневого склона и участках местности, прилегающих к нему, а также за состоянием имеющихся противооползневых сооружений;

4) в районах развития селей — за скоростью накопления рыхлого материала в очагах зарождения селей и руслах водотоков, режимом влажности рыхлых образований в пределах площади бассейна, гидрологическим режимом водотоков, динамикой и параметрами селевых потоков (расход, скорость, концентрация твердой фазы, объем селевого выноса);

5) в районах переработки берегов морей, озер и водохранилищ — за режимом подземных и поверхностных вод, размывающим действием воды, скоростью отступления берегов и изменением прибрежных глубин, скоростью и направлением ветра.

Лабораторные работы. Для сравнительной оценки участков строительства или мест размещения отдельных сооружений выполняется комплекс лабораторных работ по изучению состава и свойств грунтов, определяются гранулометрический состав, пластичность, консистенция, пористость, состав водорастворимых солей, минералого-петрографический состав, заторфованность и др.

Описание отбора проб для лабораторных исследований приведено в главе 8, а методы определения — в разделе II.

Обследование состояния зданий и сооружений выполняется с целью получения данных об интенсивности физико-геологических процессов и эффективности применяемых защитных мероприятий. Большое значение этот вид работ имеет в сейсмических районах и районах распространения многолетней мерзлоты.

Камеральный период

Камеральная обработка материалов выполняется в течение всего процесса съемочных работ. Это так называемая текущая обработка материалов.

После окончания полевых работ обрабатываются полевые и лабораторные данные. Составляются инженерно-геологические карты, строятся разрезы и колонки выработок, графики взаимосвязи показателей свойств грунтов, обрабатываются фотоматериалы и т. д.

Камеральный период завершается составлением отчета о выполненных инженерно-геологических исследованиях (см. гл. 35).

Помимо изложенных выше положений, которыми следует руководствоваться при производстве инженерно-геологической съемки, существуют дополнительные требования, выполнение которых обязательно в определенных районах со сложными инженерно-геологическими условиями [33].

Глава 33

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ РАЗВЕДКА

Инженерно-геологическая разведка — это комплекс работ, проводимый на завершающих этапах инженерно-геологических исследований. Она начинается тогда, когда становятся известны контуры сооружения, определены его конструктивные элементы и режим эксплуатации.

Целью инженерно-геологической разведки является получение количественных исходных данных для расчета оснований и фундаментов сооружений или их среды и прогноза изменения геологической среды в процессе строительства и эксплуатации сооружений [36].

Основными задачами инженерно-геологической разведки являются:

- 1) изучение геологического строения, гидрогеологических условий и физико-геологических процессов, развитых в пределах участка строительства;
- 2) определение физико-механических свойств грунтов, их водного и температурного режима;
- 3) выделение инженерно-геологических элементов как основных структурных единиц инженерно-геологической модели;
- 4) составление инженерно-геологической модели основания и среды сооружений;

5) установление обобщенных значений показателей физико-механических свойств грунтов применительно к выделенным инженерно-геологическим элементам или ко всей инженерно-геологической модели.

Помимо этих общих задач для различных видов строительства решаются и частные вопросы, связанные с воздействием на грунт отдельных элементов и узлов сооружения или с особенностями его эксплуатации (динамическое воздействие на грунты в основании мостов при линейном строительстве, выщелачивание и суффозия грунтов при мелиоративном и гидротехническом строительстве и др.).

Решение указанных задач позволит дать инженерно-геологическую оценку участка строительства и прогнозировать изменение инженерно-геологических условий в период строительства и эксплуатации объекта или отдельных его сооружений.

Методическая последовательность производства работ при инженерно-геологической разведке следующая [36]:

- а) анализ материалов, полученных на предыдущих этапах изысканий, применительно к назначению и конструктивным особенностям проектируемого сооружения или отдельных его частей;
- б) установление границ сферы взаимодействия сооружения с геологической средой;
- в) формулирование задач инженерно-геологической разведки;
- г) установление системы инженерно-геологической разведки, в том числе системы опробования, и выбор параметров этих систем;
- д) выбор методов производства инженерно-геологической разведки, в том числе методов опробования;
- е) производство полевых и лабораторных работ;
- ж) текущая камеральная обработка получаемых результатов;
- з) уточнение границ сферы взаимодействия сооружения с геологической средой, корректировка принятой системы инженерно-геологической разведки, ее параметров, а также методов производства работ;
- и) окончательная камеральная обработка материалов, составление инженерно-геологической модели основания или среды сооружения, разработка рекомендаций проектировщикам и строителям;
- к) составление общего заключения об инженерно-геологических условиях участка строительства.

Выбор системы инженерно-геологической разведки и ее параметров

Система инженерно-геологической разведки заключается в пространственном размещении точек производства всех видов работ, входящих в ее состав. Расстояния между точками являются параметрами этой системы.

Комплекс инженерно-геологических карт с соответствующими разрезами и пояснительной запиской, которые дают четкое представление об инженерно-геологической обстановке территории (участка строительства), образуют инженерно-геологическую модель.

Выбор системы инженерно-геологической разведки и ее параметров зависит от вида строительства, назначения и конструкции сооружения, сложности инженерно-геологических условий, а также от степени изученности территории. Вид строительства (линейное, промышленное, мелиоративное и т. д.) и назначение сооружения определяют систему инженерно-геологической разведки, т. е. размещение разведочных выработок в пространстве. При линейном строительстве пространственное расположение выработок подчинено направлению выбранной трассы, при гидротехническом оно приурочено к долине реки и ее бортам, при мелиоративном — ограничено контурами мелиорируемых площадей и т. д.

Параметры инженерно-геологической разведки, т. е. местоположение выработок, устанавливаются в зависимости от конструктивных особенностей сооружения. Выработки должны размещаться в местах возможных концентраций нагрузок от сооружения или их динамических проявлений.

Кроме вида строительства, назначения и конструкции сооружения система инженерно-геологической разведки и ее параметры зависят также от условий залегания грунтов, обладающих специфическими свойствами (просадочность, набухание и др.), и характера развитых физико-геологических процессов.

Если основание сооружения характеризуется сложным геологическим строением (наличие линз, прослоев, значительных изменений мощности и др.), то система инженерно-геологической разведки и ее параметры должны обеспечить выделение инженерно-геологических элементов и их качественное опробование. В этом случае параметры системы помимо конструктивных особенностей сооружения определяются также и общими геологическими условиями [36].

Большое влияние на выбор системы инженерно-геологической разведки и ее параметров оказывает степень изученности инженерно-геологических условий. Если по материалам ранее выполненных изысканий для крупномасштабной инженерно-геологической съемки возможно построение инженерно-геологической модели и число определений показателей физико-механических свойств достаточно для характеристики выделенных инженерно-геологических элементов, то при разведке проверяется только правильность ранее принятых решений.

При инженерно-геологической разведке большое значение имеет опробование, которое проводится таким образом, чтобы для каждого выделенного инженерно-геологического элемента получить значения показателей физико-механических свойств грунтов с заданной доверительной вероятностью (см. главы 19

и 33). Когда установлены условия взаимодействия сооружения с геологической средой, выбрана система и параметры инженерно-геологической разведки и опробования, приступают к выбору методов производства работ.

Выделение инженерно-геологических элементов

Инженерно-геологический элемент — это часть массива грунтов (слой, часть слоя), однородная по возрасту, литологическому составу, показателям состояния и физико-механическим свойствам.

Основой выделения инженерно-геологического элемента являются показатели физико-механических свойств грунтов, характеризующих генетически однородное геологическое тело. Объем инженерно-геологического элемента зависит от того, какой показатель, физико-механических свойств грунтов положен в основу его выделения в процессе разведки. Выбор определяющего показателя тесно связан с инженерно-геологическими особенностями участка, видом строительства и характером сооружения.

Так, например, грунты одного и того же возраста, генезиса и состава, находящиеся в зонах аэрации и насыщения, будут обладать различными физико-механическими свойствами. Поэтому они не могут быть объединены в один инженерно-геологический элемент.

Наличие обособленного геологического тела, отличного по составу от окружающих пород, при разведке больших массивов для целей мелиорации не окажет существенного влияния на усредненное значение показателя, характеризующего массив. В случае же строительства отдельно стоящего здания или сооружения в месте распространения указанного геологического тела (линза, прослой) необходимо выделять его в самостоятельный инженерно-геологический элемент. Объем этого элемента будет изменяться в зависимости от цели, которая стоит перед исследователями.

Из сказанного можно сделать вывод о возможности подразделения элементов на региональные и локальные.

Н. В. Коломенский [17] считает, что под региональным инженерно-геологическим элементом следует понимать геологические тела (пласты, прослой, линзы и т. д.), генетически однородные, в пределах которых значения индивидуальных показателей носят случайный характер, а включенные в них геологические тела, инородные по генезису и свойствам, имеют неизмеримо малую протяженность по сравнению с размерами сооружения.

Локальные инженерно-геологические элементы выделяются для отдельно стоящих зданий или сооружений на участках, занимающих небольшие площади.

Выделение инженерно-геологических элементов — процесс сложный и трудоемкий. Оно осуществляется в течение инженерно-геологической разведки и должно базироваться на стро-

гом соблюдении единства расчетной структурно-механической модели. Для того чтобы соблюсти это условие, необходимо проверить соответствие принятого инженерно-геологического расчленения требованиям расчетной схемы при проектировании объекта или отдельных сооружений, оценить однородность выделенных элементов разреза по учитываемым в расчете механическим свойствам и установить единые характеристики механических свойств пород в пределах этих элементов.

Правильность выделения инженерно-геологического элемента проверяют на основе оценки пространственной изменчивости характеристик, используя при этом следующие показатели свойств грунта:

1) для крупнообломочных грунтов — гранулометрический состав и дополнительно общую влажность и влажность заполнителя для крупнообломочных грунтов с глинистым заполнителем;

2) для песчаных грунтов — гранулометрический состав, коэффициент пористости и дополнительно влажность для пылеватых песков;

3) для глинистых грунтов — характеристики пластичности (пределы и число пластичности), коэффициент пористости и влажность.

Могут иметь место случаи, когда выделенный инженерно-геологический элемент нуждается в дальнейшем расчленении. В этом случае применяется метод, основанный на сравнении средних значений и среднеквадратических отклонений (см. гл. 19).

Устанавливая границы между инженерно-геологическими элементами, необходимо:

а) учитывать положение уровня грунтовых вод;

б) устанавливать участки распространения грунтов, обогащенных растительными остатками, просадочных, набухающих и засоленных;

в) выявлять зоны с различной степенью выветрелости в скальных и нескальных элювиальных грунтах, а также зоны с различным числом включений обломочного материала в аллювиальных и флювиогляциальных грунтах.

Установление нормативных и расчетных значений показателей физико-механических свойств по каждому выделенному инженерно-геологическому элементу производится согласно рекомендациям, изложенным в главе 19.

Последовательность работ

Работы, связанные с инженерно-геологической разведкой, выполняются в три периода: 1) подготовительный; 2) полевой; 3) камеральный.

В подготовительный период решаются вопросы, связанные с методикой работ и их организационно-техническим содержанием. Эти вопросы находят свое отражение в программе

работ, которая составляется на основе полученного технического задания на проведение разведки. В этом задании указываются назначение объекта и характеристика конструктивных особенностей различных сооружений, а также дается точная привязка к местности каждого сооружения и его элементов.

Программа состоит из трех основных частей: методической, организационно-технической и сметно-финансовой.

В методической части дается обоснование методов производства работ и их объемов. Для составления этой части программы выполняются анализ и обобщение имеющегося материала по инженерно-геологической изученности объекта с целью построения инженерно-геологической модели, оценивается сложность инженерно-геологических условий и определяются условия взаимодействия сооружения с геологической средой и сфера этого взаимодействия. На основе решения этих вопросов формулируются задачи инженерно-геологической разведки, которые позволяют определить систему инженерно-геологической разведки и выбрать основные ее параметры. Иными словами, определяются расположение разведочных выработок, их глубина, места опробования и места постановки специальных полевых исследований.

В организационно-технической части дается расчет трудовых и материальных затрат, производится выбор необходимого оборудования и материалов и составляется их спецификация. В этой части отражаются особенности формирования партий и отрядов и организация их быта, материально-технического и энергетического снабжения. Составляется план-график производства разведочных работ и оговариваются особые условия по правилам их производства.

Сметно-финансовая часть содержит стоимостные расчеты всех затрат на производство работ.

На завершающем этапе подготовительного периода комплектуются разведочные партии и отряды, производится подбор и транспортировка к месту производства работ необходимого оборудования, материалов, инструмента и различного снаряжения. Выбирается место базирования изыскательского подразделения и оборудуются служебно-бытовые, подсобные и соответствующие складские помещения (склады горюче-смазочных материалов, оборудования, снаряжения и хранилище для проб горных пород).

В полевой период выполняются основные объемы работ, позволяющие оценить инженерно-геологические условия территории (участка) в пределах размещения объекта строительства.

На первоначальном этапе полевого периода выполняются инженерно-геодезические изыскания, позволяющие наметить на местности контуры будущего объекта и отдельных сооружений, в пределах которых возможны различные условия воздействия сооружения или отдельных его элементов на геологическую среду.

На последующих этапах выполняются основные виды работ, очередность которых определяется принятой программой.

В полевой период проводится текущая камеральная обработка фактического материала, которая заключается в построении инженерно-геологических колонок, разрезов, дешифрировании материалов геофизических работ и зондирования, составлении накопительных ведомостей результатов лабораторных исследований и др.

Уточняются границы выявленных инженерно-геологических элементов и окончательно оформляются результаты полевых и опытных работ.

После завершения работ по каждому конструктивному элементу или сооружению в целом все разведочные выработки привязываются.

В камеральный период производится завершающая обработка всех материалов и составление заключения об инженерно-геологических условиях участка, которое должно содержать графическую инженерно-геологическую модель участка строительства (карты, разрезы и др.) и пояснительную записку с рекомендуемыми расчетными значениями показателей свойств грунтов для каждого выделенного инженерно-геологического элемента.

При составлении пояснительной записки особое внимание обращается на обоснование прогноза изменения геологической среды при строительстве и эксплуатации сооружения и выбор системы защитных мероприятий.

Окончательно утверждается расчетная структурно-механическая модель на основе выбранной инженерно-геологической модели и особенностей элементов и узлов сооружения.

Состав работ

В состав работ при производстве инженерно-геологической разведки входят:

- 1) проходка разведочных выработок с применением методов статического и динамического зондирования;
- 2) геофизические исследования;
- 3) лабораторные и полевые работы по определению показателей свойств грунтов, а также гидрогеологических и гидрохимических характеристик подземных вод;
- 4) полевые опытные работы;
- 5) стационарные наблюдения;
- 6) дополнительные исследования по специальным программам (изучение просадочности, набухания, засоленности и др.);
- 7) составление отчетных документов по результатам разведки.

Исходя из особенностей объекта строительства, сложности инженерно-геологических условий территории и ее изученности, инженерно-геологическая разведка может включать все указанные виды работ или какую-то их часть, что оговаривается в программе работ.

Проходка разведочных выработок

Разведочные выработки проходятся с целью изучения состава и состояния грунтов, условий их залегания, выявления гидрогеологических особенностей, оценки физико-геологических процессов, разделения толщи грунтов на инженерно-геологические элементы, опробования и производства полевых определений показателей физико-механических свойств грунтов.

Основными типами разведочных выработок являются буровые и горнопроходческие. Каждый из них позволяет решать конкретные задачи, исходя из поставленных целей и общих инженерно-геологических условий территории (участка) строительства.

К *буровым* разведочным выработкам относятся буровые скважины различных способов бурения. Различают следующие способы бурения: колонковый, шнековый, ударно-канатный кольцевым и сплошным забоем и вибрационный. Способы бурения разделяются на разновидности. Например, при колонковом способе бурения можно бурить скважины с промывкой водой, промывкой глинистым раствором, продувкой воздухом, промывкой соевым охлажденным раствором и без промывки.

Выбирая способ производства буровых работ, следует учитывать особенности геологического строения, а также необходимую точность в установлении границ слоев различного литологического состава.

В процессе инженерно-геологической разведки выбранный способ бурения должен не только обеспечить ведение качественной геологической документации, но и давать возможность проводить опробование согласно существующим требованиям (см. гл. 34). Здесь немаловажную роль играет еще и правильно определенный тип буровой установки для проходки выработок.

Горнопроходческие выработки обеспечивают высокую точность отражения геологического разреза и качественное опробование горных пород. Выбор вида горнопроходческой выработки зависит от ее назначения и инженерно-геологических условий территории участка, площадки (табл. 45).

Помимо разведочных выработок, приведенных в табл. 45, при гидротехническом, подземном и других видах строительства проходятся скважины-шахты и смотровые скважины диаметром 850—1300 мм на глубину до 150 м. Эти выработки проходятся специальными агрегатами, позволяющими получать керн диаметром 750—1140 мм и высотой 1800—1850 мм.

При проходке разведочных выработок в районах с неблагоприятными физико-геологическими процессами необходимо учитывать и дополнительные требования.

1. В районах распространения лессовых (просадочных) грунтов: проходка скважин должна проводиться «всухую»; глубина разведочных выработок определяется мощностью просадочной толщи; в основании сооружений выработки, как правило, прохо-

Виды горных выработок и условия их применения при инженерно-геологической разведке

Вид горных выработок	Максимальная глубина, м	Условия применения
Закопушки	0,6	Для вскрытия грунтов при мощности перекрывающих отложений не более 0,5 м
Расчистки	1,5	Для вскрытия грунтов на склонах при мощности перекрывающих отложений не более 1 м
Канавы	2,0	Для вскрытия крутопадающих слоев грунтов при мощности перекрывающих отложений не более 1,5 м
Шурфы и дудки	20,0	Для вскрытия грунтов, залегающих горизонтально или моноклиinally
Шахты	Определяется программой	В сложных инженерно-геологических условиях
Штольни	То же	То же
Скважины	„	В различных условиях

дятся на всю мощность просадочной толщи или до уровня грунтовых вод.

2. В районах распространения многолетнемерзлых грунтов: способ проходки разведочных выработок должен обеспечить получение образцов грунтов без нарушения естественного температурного режима и режима влажности; при бурении скважин по твердомерзлым и пластичномерзлым грунтам запрещается использовать промывочные жидкости и сжатый воздух без предварительного охлаждения; бурение должно проводиться укороченными рейсами, с пониженным числом оборотов снаряда и диаметром, превышающим диаметр отбираемых образцов в 1,5—2 раза.

3. В районах развития карста: общее число выработок должно обеспечить изучение распределения карстовых форм по площади и глубине; места заложения выработок следует определять с учетом результатов геофизических работ; глубина выработок определяется сферой влияния проектируемых сооружений с учетом возможного влияния карста на проектируемые сооружения и получения характеристик всей зоны активного карста; диаметры и конструкция скважин должны обеспечить проведение в них в случае необходимости опытных работ; при проходке буровых скважин особое внимание должно быть обращено на фиксирование зон провалов инструмента и характер циркуляции или поглощения промывочной жидкости, а также на наличие и характер газопроявлений.

4. В районах развития оползней: выработки должны размещаться по створам, пересекающим оползневой склон по линии максимального уклона и охватывающим все характерные геоморфологические элементы; расстояния между выработками должны обеспечивать построение достоверного геологического разреза с детальностью, позволяющей проследить все особенности геологического строения оползневого склона; глубина выработок должна определяться необходимостью вскрытия ложа оползня и изучения состава и свойств пород, залегающих в его основании; конструкция выработок должна обеспечить возможность получения керн, опробования и последующего перекрытия всех водоносных горизонтов, находящихся как в теле оползня, так и в зоне несмещенных пород, залегающих вблизи поверхности скольжения, а также отбора образцов грунта необходимого размера для производства лабораторных исследований.

5. В районах развития переработки берегов морей, озер и водохранилищ: большинство выработок должно закладываться по створам, ориентированным перпендикулярно к берегу; не менее трех выработок в каждом створе должно располагаться в пределах акватории, в том числе одна — на урезе воды водоема; расстояние между створами не должно превышать 300 м, а между скважинами на створе — 100 м; глубина скважин определяется их положением над урезом воды и глубиной залегания ослабленных зон легкоразмываемых или слабопрочных грунтов и т. п., а в приурезовой зоне — глубиной размывающего воздействия волн и течений.

Все разведочные выработки после окончания работ должны тщательно тампонироваться. Ликвидационный тампонаж скважин осуществляется специальным цементом, цементно-глинистым или глинистым раствором. Шурфы, дудки, канавы и расчистки засыпаются грунтом. Горнопроходческие выработки, пройденные в лесовых просадочных грунтах, засыпаются с послойным трамбованием.

Геофизические исследования

В настоящее время при проведении инженерно-геологической разведки все чаще внедряются геофизические методы исследований грунтов, которые в сочетании с другими видами работ позволяют уточнить положение в пространстве границ слоев различного состава, определить показатели некоторых свойств скальных грунтов в массиве, проследить границы выделенных инженерно-геологических элементов и др. Применение геофизических методов даёт лучшие результаты в случае, если на исследуемой площадке развиты грунты, обладающие различными показателями физических свойств.

Выбор метода исследования зависит от инженерно-геологических условий и задач, которые ставятся при планировании работ. Как правило, геофизические методы применяются в комп-

лексе с буровыми, горнопроходческими и опытными полевыми и лабораторными работами. В зависимости от поставленных задач выбирается комплекс геофизических методов, позволяющих уточнить пространственную инженерно-геологическую модель.

Наибольший эффект при проведении инженерно-геологической разведки достигается в случае применения электроразведки, которая обладает более высокой разрешающей способностью в сравнении с другими геофизическими методами. Отчетными материалами по результатам электроразведочных работ являются геоэлектрические карты и разрезы.

Лабораторные и полевые работы по определению показателей свойств грунтов и подземных вод

Цели и задачи проведения полевых и лабораторных методов исследования показателей физико-механических свойств грунтов детально изложены в разделе II. Здесь уместно обратить внимание на то, что выбор метода — полевого или лабораторного — зависит от инженерно-геологических условий территории участка, конструктивных особенностей фундамента сооружения и режима эксплуатации сооружения. Полевые методы позволяют изучать показатели свойств грунтов на сравнительно больших объемах, соизмеримых с основаниями будущих сооружений. При этом структура грунта не подвергается нарушению, как это имеет место при отборе проб для лабораторных исследований. Однако наличие значительных подготовительных работ, затруднения при монтаже довольно сложного оборудования и большая стоимость опыта ограничивают возможность изучения грунтов полевыми методами в массовых количествах. Лабораторные исследования позволяют получить большое число показателей физико-механических свойств грунтов с меньшей затратой средств. В настоящее время принято совмещать оба вида исследований, проводя корреляцию получаемых данных при их обработке. Изучение гидрогеологических и гидрохимических характеристик подземных вод при инженерно-геологических изысканиях позволяет прогнозировать изменение природной обстановки в условиях строительства и эксплуатации сооружений.

При мелиоративном и гидротехническом строительстве изучаются практически все гидрогеологические и гидрохимические параметры. Для гражданского строительства ограничиваются изучением уровня режима и некоторыми гидрохимическими характеристиками. В общем случае производство гидрогеологических исследований осуществляется в соответствии с рекомендациями, приведенными в табл. 46. Знание общего геологического строения и гидрогеологических условий территории позволяет рационально использовать указанные виды работ для получения максимально возможной информации при решении конкретных вопросов инженерно-геологической разведки.

Таблица 46

Виды гидрогеологических исследований при инженерно-геологической разведке

Гидрогеологические параметры	Вид гидрогеологических работ	Условия применения
Коэффициент фильтрации, водопроницаемости	Одиночные и кустовые откачки из скважин	Водоносные грунты
	Откачки воды из шурфов	То же
Коэффициент недостатка насыщения и водоотдачи	Одиночные и кустовые наливы воды в скважины	Водоносные слабопроницаемые и сухие грунты
	Наливы воды в шурфы	Сухие грунты
Коэффициент упругой водоотдачи	Одиночные и кустовые нагнетания воздуха в скважины	Сухие и мерзлые крупнообломочные и скальные грунты
	Нагнетания воды в скважины	Водоносные и сухие скальные трещиноватые грунты
Активная пористость	Стационарные наблюдения за уровнем подземных и поверхностных вод	Водоносные грунты
	Кустовые откачки из скважин	Сухие грунты
Коэффициент уровнепроводности и пьезопривольности	Стационарные наблюдения за уровнем подземных вод	Водоносные грунты
	Индикаторные методы	Сухие грунты
Коэффициент перетекания	Кустовые нагнетания и наливы воды в скважины	Водоносные грунты
	Кустовые откачки воды из скважин	Сухие грунты
Удельное водопоглощение	Кустовые нагнетания воды в скважины	Водоносные и сухие грунты
	Кустовые нагнетания воздуха в скважины	Сухие мерзлые рыхлообломочные и сухие скальные грунты
Удельное водопоглощение	Стационарные наблюдения за уровнем воды в скважинах	Водоносные грунты
	Кустовые откачки воды из скважин	Водоносные грунты, разделенные пластом слабопроницаемых грунтов
Удельное водопоглощение	Наливы воды в скважины	Водоносные и сухие грунты
	Нагнетание воды в скважины	Водоносные и сухие скальные грунты

Гидрогеологические параметры	Вид гидрогеологических работ	Условия применения
Удельное воздухопоглощение Гидравлическое сопротивление дна водоемов параметров гидравлической связи поверхностных и подземных вод	Нагнетание воздуха в скважины Кустовые откачки воды из скважин Стационарные наблюдения за уровнем подземных и поверхностных вод	Сухие скальные грунты Водоносные грунты То же

Стационарные наблюдения и специальные исследования

Стационарные наблюдения проводятся для изучения динамики инженерно-геологических процессов и их взаимосвязи с природными и техногенными факторами в районах развития процессов и явлений, неблагоприятных для строительства, а также при необходимости для решения специальных теоретических вопросов. В каждом конкретном случае инженер-геолог должен четко представлять себе цели и задачи этих наблюдений, которые изменяются в зависимости от природных условий территории участка.

В районах развития многолетнемерзлых грунтов стационарные наблюдения ведутся за температурным режимом грунтов, ходом сезонного промерзания и оттаивания, формированием верховодки и ее режимом и при необходимости климатическими факторами.

При изучении оползней организуется наблюдение за их динамикой, изменениями состояния грунтов, режимом грунтовых вод, а также состоянием имеющихся противооползневых сооружений.

В селеопасных бассейнах рек наблюдают скорость накопления рыхлого материала и его влажность, расход поверхностного водотока, наличие твердого стока, оценивают метеорологические особенности территории. Обращается особое внимание на концентрацию твердых частиц в селе, расход и скорость селевых потоков и их объем за один вынос, частоту проявления и др.

Наблюдения в районах переработки берегов морей, озер и водохранилищ направлены на изучение режима подземных и поверхностных вод, скорости размыва берегов, а также метеорологических особенностей.

В районах развития просадочных, набухающих, засоленных грунтов наряду со стационарными наблюдениями ведется изучение свойств этих грунтов по специально составленным программам.

Завершающим этапом инженерно-геологической разведки являются обработка полученных данных и составление инженерно-геологического заключения (см. главы 19 и 35).

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПРОБОВАНИЕ ГРУНТОВ

Опробование является составной частью инженерно-геологических исследований — рекогносцировки, съемки и разведки.

Инженерно-геологическое опробование — это комплекс последовательных операций по определению состава, состояния и свойств пород [17]. В состав опробования входят установление систем пространственного размещения точек отбора образцов или пунктов проведения полевых исследований, отбор образцов грунтов, лабораторных и полевых исследований свойств грунтов, обработка материалов исследований. Целью опробования являются получение характеристик физико-механических свойств грунтов, изучение пространственной изменчивости этих характеристик в массиве, прогноз изменения состава, состояния и свойств в пространстве и во времени при строительстве и эксплуатации сооружений.

На отдельных этапах инженерно-геологических исследований целевое назначение опробования различно.

При инженерно-геологической рекогносцировке опробование направлено на выявление основных литолого-генетических типов пород на исследуемой территории путем визуального описания проб, отобранных из естественных обнажений или искусственных горных выработок, проходимых в небольшом объеме. Отбор проб для лабораторных исследований обычно минимален и проводится в случае, когда трудно классифицировать грунты по визуальному описанию.

Опробование при инженерно-геологической съемке служит для изучения пространственной изменчивости физико-механических свойств грунтов для предварительного выделения инженерно-геологических элементов. Оно большей частью проводится на ключевых участках. В случае, когда на исследуемой территории развиты неблагоприятные физико-геологические явления и процессы, опробование должно быть направлено на определение прямых показателей физико-механических свойств грунтов, используемых в расчетах устойчивости сооружений.

При инженерно-геологической разведке основная цель опробования — получение обобщенных значений показателей физико-механических свойств применительно к расчетным схемам устойчивости сооружений, а также прогноз изменения этих свойств в пространстве и во времени.

Задачами инженерно-геологического опробования на стадии разведочных работ являются [36]:

- 1) установление параметров системы опробования;
- 2) отбор образцов из предварительно выделенных инженерно-геологических элементов;
- 3) установление перечня необходимых для проектных расчетов прямых определений показателей свойств грунтов;

- 4) выбор метода (способа, схемы) определения каждого показателя;
- 5) определение прямых показателей физико-механических свойств грунтов полевыми и лабораторными методами;
- 6) обработка результатов этих определений и окончательное выделение инженерно-геологических элементов;
- 7) вычисление обобщенных значений прямых показателей физико-механических свойств для каждого инженерно-геологического элемента;
- 8) установление гарантированных значений показателей с заданной вероятностью;
- 9) прогноз изменения состояния грунтов при строительстве и эксплуатации сооружений;
- 10) определение показателей свойств грунтов с учетом прогнозируемого изменения их состояния;
- 11) введение поправок в обобщенные или гарантированные значения показателей свойств грунтов на прогнозируемое изменение их состояния.

Выбор системы опробования

Под системой инженерно-геологического опробования подразумевается расположение в пространстве точек отбора образцов.

Системы инженерно-геологического опробования могут быть площадными, когда выработки размещаются в углах правильных или неправильных геометрических сеток, и линейными, когда это размещение приурочено к линейнопротяженным объектам. Выбор системы опробования определяется обычно видом строительства. Так, при инженерно-геологических исследованиях для обоснования проектов массового гражданского строительства применяется в основном площадная система опробования. При проектировании железных и автомобильных дорог, трубопроводов и линий электропередач и других линейных сооружений система опробования — линейная.

Для некоторых видов строительства система опробования может меняться в зависимости от стадии проектирования. Так, при региональной инженерно-геологической оценке мелиорируемых земель применяется площадная система опробования, направленная на выявление геологических структур, изучение гидрогеологических условий и установление закономерностей инженерно-геологической изменчивости. В этом случае размещение точек опробования проводится по неправильной геометрической сетке, так как геологические тела не располагаются геометрически правильно [17].

При инженерно-геологических изысканиях для обоснования проектирования, связанного с конструктивными особенностями сооружений (насосные станции, магистральные и распределительные каналы и др.), используется как площадная, так и линейная система опробования.

Комбинированная система опробования применяется на различных стадиях и при гидротехническом строительстве. При выборе створа плотины выработки размещаются по линиям, а при компоновке узлов различных сооружений используется площадная система опробования.

В случае, когда контуры сооружения четко определены, применяется площадная система опробования по правильной геометрической сетке. Аналогичная система опробования имеет место в некоторых случаях при разведке карьеров строительных материалов.

Выбор параметров системы опробования

Как указывалось выше, параметрами системы опробования являются интервал и шаг опробования.

Интервалом опробования называется расстояние между точками отбора проб в геологоразведочных выработках. Шаг опробования — расстояние между этими точками в пространстве. Следовательно, выбор параметров системы опробования (т. е. установление числа проб) состоит в определении интервала и шага опробования.

Н. В. Коломенский [18] рассматривает четыре способа выбора параметров системы опробования.

1. **Нормативный способ.** На основании инструкций и методических указаний даются рекомендации по установлению интервала и шага опробования.

2. **Приближенно-статистический способ.** Сущность его заключается в построении графика в координатах; среднее значение показателя — нарастающее число определений. Вначале разброс средних значений будет значительным, затем он уменьшается, не выходя за пределы практических требований. Число проб, установленное различными исследованиями при использовании данного метода, не превышает 30.

3. **Способ интерполяций и экстраполяций** применим при наличии данных о показателях свойств грунтов на соседних участках. Учитывая характер изменчивости пород, можно вычислить значение показателя между двумя участками. Данный способ весьма приближенный и применяется на ранних стадиях проектирования.

4. **Контрольный способ** основан на приемах математической статистики, позволяющих проверить достаточность минимального числа определений для получения обобщенных и расчетных значений показателей с определенной точностью и надежностью.

Выбор метода отбора проб

Важным этапом инженерно-геологического опробования является отбор проб. Существуют три основных метода отбора проб: точечный, бороздовый и валовый.

1. Точечный метод — основной метод отбора проб. Пробы отбираются из разведочных выработок или естественных обнажений различными способами: обуриванием, забивкой, задавливанием, вырезанием и т. д. (см. гл. 8). Этот метод применяется при изучении грунтов ненарушенного сложения, когда необходимо сохранить естественное состояние грунта. Точечный метод служит для химико-минералогических, петрографических и различных специальных исследований (фильтрационные свойства, физико-химические особенности и др.).

2. Бороздовый метод применяется при изучении состава грунтов, их засоленности, прочности и деформируемости в нарушенном сложении в случае использования грунтов как материала при строительстве плотин, насыпей, дамб. Он может быть использован также при оценке инженерно-геологической изменчивости.

3. Валовый метод заключается в том, что в качестве пробы используется весь объем породы, извлеченной из выработки. С его помощью изучаются несвязные обломочные и песчаные, а также элювиальные грунты.

В табл. 47 показана возможность применения различных способов отбора проб для исследований.

Таблица 47

Выбор методов опробования при инженерно-геологических изысканиях

Свойства породы	Метод отбора		
	точечный	бороздовый	валовый
Плотность частиц	+	+	+
Гранулометрический состав	+	—	+
Плотность при нарушенной структуре	+	+	+
Плотность при естественной структуре	+	+	+
Влажность	+	+	+
Пластичность	+	+	+
Содержание солей	+	+	+
Содержание органических веществ	+	+	+
Набухание при нарушенной структуре	+	+	+
Набухание при естественной структуре	+	—	—
Коэффициент фильтрации при нарушенной структуре	+	+	+
Коэффициент фильтрации при естественной структуре	+	—	—
Сопротивление раздавливанию	+	—	—
Просадочность	+	—	—
Сдвигающие усилия при нарушенной структуре	+	+	+
Сдвигающие усилия при естественной структуре	+	—	—
Сжимаемость при нарушенной структуре	+	+	+
Сжимаемость при естественной структуре	+	—	—

Обработка и подготовка проб к анализу

В зависимости от вида грунта различают подготовку проб скальных, связных и несвязных грунтов.

Пробы скальных грунтов предназначены для определения прочности на сжатие, плотности, коэффициента размягчения, водопоглощения, морозостойкости, истираемости, теплопроводности, теплоемкости, плотности частиц и т. д. Для большинства видов испытаний готовятся кубики с размерами сторон 50 и 100 мм. При испытании цилиндрических образцов должно выдерживаться соотношение: высота образца равна удвоенному его диаметру.

Связные грунты подготавливаются к анализу двумя способами. В первом случае из какого-либо участка монолита отбирается наиболее характерный для данной пробы образец. Отбор образцов производится путем вырезывания, задавливания, обуривания и т. д. Во втором случае высушенная на воздухе проба измельчается и делится на четыре части – кватруется. Отбирается четвертая часть и снова кватруется. Кватрование производят до объема образца, необходимого для производства испытания: гранулометрического состава, пластичности и т. д.

Крупнообломочные и песчаные несвязные грунты перед проведением испытания могут высушиваться для последующего отсева на грохотах или могут рассеваться под водой. Испытания заполнителя ведутся в соответствии с рекомендациями гл. 11.

Глава 35

КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ И СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

При инженерно-геологических изысканиях камеральные работы ведутся непрерывно и направлены на систематизацию материалов, получаемых при полевых и лабораторных исследованиях. В камеральных условиях составляются инженерно-геологические разрезы и карты, колонки разведочных выработок и обрабатываются материалы опытных работ.

На основе камеральных проработок уточняются система размещения выработок и их опробование для более достоверного обоснования границ выделенных инженерно-геологических элементов. В камеральный период выполняются работы по обобщению значений показателей свойств грунтов для получения их нормативных и расчетных величин. Завершающим этапом камеральных работ является составление отчета по выполненным инженерно-геологическим исследованиям и инженерно-геологической записки к проекту строительства.

В камеральных условиях иногда приходится составлять инженерно-геологическое заключение по материалам проведенных изысканий на стадии рабочего проектирования, а также экспертные заключения.

Отчетные материалы

Отчет состоит из текста, графических и табличных приложений. Текстовая часть отчета состоит из общей и специальной частей. Общая часть включает несколько разделов.

1. Введение, в котором описываются задачи, поставленные перед изыскателями, виды и объемы предполагаемых и фактически выполненных работ, планово-экономические показатели, указываются сроки производства работ и ответственные исполнители.

2. Обзор материалов ранее выполненных работ. В этом разделе приводится краткая история геологической, гидрогеологической и инженерно-геологической изученности. Рассматриваются все работы, которые были выполнены для изучения грунтовых условий территории.

3. Общие административные сведения о районе (местоположение, экономика и т. д.).

4. Физико-географический очерк (описание климата, рельефа и гидрографии).

5. Геоморфологический очерк, в котором дается описание строения, возраста и генетических особенностей основных элементов рельефа.

6. Геологический очерк, характеризующий основные тектонические структуры, стратиграфию пород, состав и мощность отложений. Излагается история геологического развития района.

7. Гидрогеологический очерк. В нем выделяются основные типы подземных вод, дается описание основных водоносных горизонтов с детальной оценкой водосодержащих пород, приводятся данные о режиме и химизме подземных вод, условиях питания и разгрузки, взаимосвязи различных водоносных горизонтов.

8. Развитие инженерно-геологических процессов. Детально описываются современные экзогенные процессы и их влияние на условия строительства. Освещаются деформации сооружений в результате этих процессов.

9. Полезные ископаемые. Излагаются данные о месторождениях полезных ископаемых и влияние строительства на их эксплуатацию. Оцениваются месторождения строительных материалов для нужд строительства проектируемых объектов.

Специальная часть состоит из следующих разделов:

1. Вводный раздел. Описываются назначение и конструктивные особенности сооружения.

2. Методика инженерно-геологических исследований. Описываются методы получения инженерно-геологической информации, рациональность их использования применительно к конкретным природным условиям. Обосновываются выбор расчетных схем и особенности их применения.

3. Физико-механические свойства пород. Основным содержанием раздела должно являться обоснование выделенных литолого-генетических типов пород и инженерно-геологических элементов с детальной характеристикой их состава, состояния и свойств.

4. Сравнение конкурирующих вариантов размещения объектов строительства. Здесь дается сравнительная оценка природных условий для каждого участка и обосновывается выбор наиболее благоприятного.

5. Инженерно-геологические условия сооружений. Для каждого сооружения в пределах выбранного участка дается детальная характеристика основания с прогнозом поведения сооружения в период его эксплуатации.

Отчет содержит следующие графические приложения:

- 1) обзорная карта района работ;
- 2) карта фактического материала в масштабе проводимых исследований или генерального плана проектируемых работ;
- 3) инженерно-геологическая карта или комплекс карт (геологическая, гидрогеологическая, геоморфологическая и карта развития инженерно-геологических процессов);
- 4) сводная стратиграфо-литологическая колонка;
- 5) схематические инженерно-геологические разрезы. Кроме графического материала в отчет входят описание разведочных выработок и их сводная ведомость, а также сводные ведомости показателей физико-механических свойств пород и химического состава воды.

Инженерно-геологическое заключение

Составление инженерно-геологического заключения является конечной целью производства изысканий для любого вида строительства на стадии рабочего проектирования и обычно направлено на решение вопросов, связанных с выбором инженерно-геологической модели, которая впоследствии преобразуется проектировщиком в расчетную модель основания сооружения или его среды.

Согласно рекомендациям по производству инженерно-геологической разведки инженерно-геологическое заключение состоит из пояснительной записки, графических приложений и таблицы нормативных и расчетных значений показателей свойств грунтов по каждому инженерно-геологическому элементу.

Пояснительная записка состоит из:

- 1) введения, включающего наименование объекта и его местоположение, вид работ и сроки выполнения, указываются заказчик данных изысканий и основной состав исполнителей;
- 2) краткого описания природных условий территории с детальным изложением тех инженерно-геологических особенностей, которые будут оказывать существенное влияние на условия строительства сооружений или их эксплуатацию;
- 3) обоснования выделенных инженерно-геологических элементов, являющихся основой для инженерно-геологической оценки грунтовых условий с детальной характеристикой пород, принимающих участие в строительстве данного элемента;
- 4) обобщения показателей состава, состояния и физико-механических свойств грунтов по каждому выделенному инженерно-

геологическому элементу; на основе обобщения материалов производится вычисление нормативных и расчетных значений показателей свойств грунтов;

5) детальной характеристики различных инженерно-геологических процессов, необходимой не только при проектировании противооползневых, противоселевых, противопаводковых и других мероприятий, но также и при строительстве в районах, где могут проявляться эти процессы;

6) прогноза изменения геологической среды при воздействии на нее различных строительных объектов при их эксплуатации. В нем даются рекомендации по выработке защитных мероприятий при строительстве и эксплуатации сооружений;

7) расчетной модели основания, построенной на основе инженерно-геологической модели и конструктивных особенностей сооружения.

Графические приложения представляют собой инженерно-геологическую модель, состоящую из комплекса карт, инженерно-геологических разрезов и т. д.

Экспертные инженерно-геологические заключения составляются по материалам выполненных работ и направлены на выявление причин, вызвавших деформации сооружений, или на рациональное применение тех или иных методов и видов работ при инженерно-геологических исследованиях.

Глава 36

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

В последние годы в нашей стране изданы различные пособия и рекомендации, в которых на основе накопленного опыта работ излагаются основные требования по выполнению инженерно-геологических изысканий для конкретных видов строительства.

Рассмотрим особенности инженерно-геологических изысканий для промышленного, гражданского, гидротехнического, мелиоративного и линейного строительства.

Изыскания для промышленного строительства

Изыскания проводятся для изучения инженерно-геологических условий, определяющих особенности строительства и эксплуатации сооружений, а также для прогноза изменения этих условий. Они выполняются на разных стадиях проектирования: изыскания для выбора площадки; изыскания на выбранной площадке для разработки генерального плана промышленного предприятия; изыскания под отдельные сооружения и отдельные здания [14].

Выбор площадки

Выполняется для сравнительной оценки инженерно-геологических условий площадок, являющихся вариантами размещения строительных предприятий. На данной стадии собираются, систематизируются и анализируются имеющиеся материалы для получения данных об инженерно-геологических условиях района с целью составления программы инженерно-геологических работ. Основным видом работ является инженерно-геологическая рекогносцировка. В процессе рекогносцировки кроме обычных маршрутов могут выполняться: проходка мелких шурфов, расчисток канав, бурение скважин, зондирование и геофизические работы. Объем всех работ должен быть минимальным и в то же время достаточным для суждения о природных условиях строительной площадки. Большое значение на данной стадии приобретает использование материалов аэрофотосъемки (дешифрирование аэрофотоснимков).

Число выработок зависит от геоморфологических условий и составляет для каждого геоморфологического элемента от 1 до 3. Классификационные показатели свойств грунтов определяются по ограниченному числу проб, отобранных из пройденных выработок и естественных обнажений. Их число для каждого литолого-генетического типа изменяется от 3 до 5. Из каждого водоносного горизонта отбираются 2—3 пробы для определения химического состава воды.

Особое внимание при рекогносцировке следует обращать на наличие деформаций существующих сооружений. В результате сбора, систематизации и анализа материала и рекогносцировочного обследования площадки составляется отчет, в котором находят отражение данные о физико-географических условиях, геологическом строении и развитии физико-геологических процессов, даются рекомендации о возможном размещении сооружений и намечается дальнейшее направление инженерно-геологических изысканий.

К отчету прилагаются:

- 1) схематическая карта с указанием перспективных и оптимального вариантов масштаба не мельче 1 : 25 000;
- 2) карта фактического материала (линии маршрутов, естественные обнажения и искусственные выработки и др.);
- 3) схематическая геолого-литологическая карта и геологические разрезы;
- 4) результаты лабораторных исследований проб грунтов.

Изыскания на выбранной площадке

Производство инженерно-геологических изысканий на данной стадии направлено на получение исходных данных для составления генерального плана промышленного предприятия с учетом возможного изменения природных условий при строительстве и

эксплуатации зданий и сооружений. При этом выполняются различные виды работ — инженерно-геологическая съемка, бурение, проходка выработок, геофизические, полевые, опытные и лабораторные исследования. Основным видом работ является инженерно-геологическая съемка, масштаб которой принимается, исходя из категории сложности инженерно-геологических условий (см. гл. 32) и класса сооружений. Наиболее распространены масштабы 1 : 10 000, 1 : 5 000 и реже 1 : 25 000 (при изучении факторов, влияющих на эксплуатацию объектов). Число точек наблюдения при съемке принимается, исходя из табл. 48.

Таблица 48

Выбор числа точек наблюдений при изысканиях на выбранной площадке

Масштаб инженерно-геологической съемки	Число точек наблюдений на 1 км ²	Число горных выработок в общем числе точек наблюдений на 1 км ²	Расстояние между горными выработками, м
1 : 25 000	6—12	2—4	—
1 : 10 000	25—40	9—16	500—300
1 : 5 000	50—100	25—50	250—150

Минимальное число точек наблюдения принимается при простых, а максимальное — при сложных инженерно-геологических условиях (см. табл. 40).

Проходка горных выработок выполняется с целью изучения состава и свойств грунтов, условий их залегания, гидрогеологических условий и физико-геологических процессов. Горные выработки обеспечивают отбор проб, проведение полевых опытных работ и способствуют разделению толщи на инженерно-геологические элементы.

В сложных инженерно-геологических условиях допускается съемка в более крупном масштабе, нежели это предусмотрено в табл. 48.

Размещение выработок в пределах контуров площадок производится в направлении, перпендикулярном к основным геоморфологическим элементам, с учетом геологоструктурных особенностей. Их глубина обычно не превышает 30 м. И лишь на участках строительства особо ответственных объектов атомной энергетики, металлургических предприятий и др., в сложных инженерно-геологических условиях глубина выработок может достигать 50 м.

Геофизические работы выполняются при значительных размерах исследуемой территории и способствуют рациональному размещению разведочных выработок, предварительному расчленению толщи пород, установлению глубины залегания подземных вод, коррозионных свойств грунтов. Основным методом геофизических исследований является электроразведка.

Полевые опытные работы направлены на уточнение границ распространения инженерно-геологических элементов, определение показателей прочности и деформируемости грунтов в усло-

виях естественного залегания, а также их водопроницаемости. Они включают зондирование (статическое и динамическое), сдвиговые и штамповые испытания, определение водопроницаемости пород в шурфах и скважинах. Число опытов обосновывается программой работ. Методика проведения полевых опытных работ изложена в главах 16—18. В некоторых случаях организуются стационарные наблюдения за проявлением физико-геологических процессов, режимом и химизмом подземных вод. Детальность стационарных наблюдений и их периодичность обосновываются программой работ.

Задачей лабораторных исследований является определение физико-механических свойств грунтов в целях их количественной оценки и уточнения границ распространения инженерно-геологических элементов, а также химического состава подземных вод. В некоторых случаях проводятся минералого-петрографические исследования. Состав лабораторных работ приведен в разделе II.

По результатам исследований составляется отчет об инженерно-геологических условиях площадки, к которому прилагаются карты инженерно-геологических условий и инженерно-геологического районирования. В текстовой части отчета излагается целевое назначение изысканий, указываются методы и объемы работ, обоснование инженерно-геологического районирования, а также даются рекомендации по выработке защитных мероприятий и инженерной подготовке территории.

Изыскания под отдельные здания

Инженерно-геологические изыскания производятся в целях уточнения и детализации предыдущих изысканий в пределах контуров зданий и сооружений для получения исходных данных при составлении расчетных схем и расчетов устойчивости.

Основным видом исследований на данном этапе является инженерно-геологическая разведка. Следует иметь в виду, что для зданий и сооружений III и IV классов инженерно-геологические изыскания не выполняются без соответствующего обоснования в программе работ.

Разведочные выработки размещаются по осям и контурам сооружений. Число их назначается, исходя из плановых размеров зданий и сооружений. Минимальное число выработок с учетом ранее пройденных равно трем. Расстояние между выработками зависит от категории сложности инженерно-геологических условий: простой (100—50 м), средней сложности (50—30 м) и сложной (30—20 м).

При наличии в основании слабых грунтов расстояние между скважинами может быть уменьшено при соответствующем обосновании. Глубина выработок, определяемая мощностью активной зоны и типом фундамента, принимается по табл. 49.

В случае применения свайных фундаментов выработки должны быть на 5—10 м глубже нижних концов висячих свай.

Выбор глубины выработок в зависимости от типа фундамента и нагрузки на опоры

Фундаменты на опорах		Фундаменты ленточные	
Нагрузка на опору, кН	Глубина выработок, м	Нагрузка на фундаменты, кН	Глубина выработок, м
До 500	4—6	До 100	4—6
До 1 000	5—7	До 200	6—8
До 2 500	7—9	До 500	9—12
До 5 000	9—13	До 1000	12—17
До 10 000	11—15	До 2000	17—20
До 15 000	12—18		
До 50 000	18—25		

Опытные работы выполняются для уточнения показателей прочности и деформируемости грунтов в местах заложения наиболее ответственных зданий и сооружений.

После проведения инженерно-геологических изысканий составляется отчет (см. гл. 35).

Изыскания для гражданского строительства

Выполняются применительно к двум видам проектирования:

- а) проект застройки микрорайонов и комплексов общественных зданий;
- б) проект строительства жилых и общественных зданий.

Обоснование проектов застройки

Инженерно-геологические изыскания для данного вида проектирования должны обеспечить принципиальную оценку инженерно-геологических условий территории без учета конструктивных особенностей отдельных зданий и сооружений и выполняются в три периода (предполевой, полевой и камеральный).

В предполевой период производятся сбор, изучение и анализ материалов изысканий прошлых лет в целях выявления данных о природных условиях территорий, развития физико-геологических процессов и наличии строительных материалов. Особое внимание обращается на сбор сведений об имеющихся деформациях зданий и сооружений и причинах, которыми они вызваны. В этот период составляется программа изыскательских работ, в которой излагается целевое назначение инженерно-геологических изысканий, приводится краткая характеристика природных условий и проект производства работ с обоснованием их объемов и сроков выполнения. К программе прилагаются план расположения проектных выработок и график выполнения работ.

В полевой период выполняют инженерно-геологическую съемку, буровые и горнопроходческие работы, полевые опытные работы при сложных инженерно-геологических условиях, геофизические исследования и лабораторные работы.

Масштаб инженерно-геологической съемки принимается 1 : 5 000—1 : 25 000 в зависимости от сложности геологического строения и размеров территории, что оговаривается в программе работ. Объемы и методы работ выбранного масштаба не отличаются от изложенных выше для промышленного строительства на стадии проекта.

Обоснование проектов строительства жилых и общественных зданий (проект привязки)

Материалы, полученные при проведении изыскательских работ, должны обеспечить оценку инженерно-геологических условий площадки и позволить определить тип фундамента, его размеры и глубину заложения. Для этих целей устанавливаются литологическое строение, гидрогеологические условия и физико-механические свойства грунтов в пределах контура здания или комплекса зданий на глубину 3 м от активной зоны. Расстояния между выработками изменяются от 20 до 50 м. При наличии прослоев и линз слабых грунтов эти расстояния могут быть сокращены. Для зданий повышенной этажности предусматривается проведение опытных работ по определению несущей способности. Проводятся работы с целью выявления коррозионной активности грунтов, агрессивности подземных вод и др. По материалам изысканий решаются вопросы выбора конструктивных мероприятий при данных инженерно-геологических условиях. Составляется проект организации работ нулевого цикла с расчетом его стоимости.

Изыскания для гидротехнического строительства

Объемы и методы инженерно-геологических изысканий для обоснования проектов гидротехнического строительства определяются инженерно-геологическими условиями района, особенностями сооружения и стадией проектирования.

Изыскания выполняются применительно к двум этапам: предпроектному и проектному.

Предпроектный этап

Работы, выполняемые на предпроектном этапе, направлены на изучение вопросов, связанных с комплексным использованием водных артерий для нужд народного хозяйства. Выясняются вопросы практической необходимости и экономической целесообразности строительства сооружений.

Целью изысканий, выполняемых в две очереди, являются оценка инженерно-геологических условий бассейна для комплексного использования реки и выбор объекта строительства.

В первую очередь проводят сбор и систематизацию материалов, рекогносцировочные обследования, составляют предварительное заключение, программу инженерно-геологических изысканий, а также осуществляют инженерно-геологические изыскания, в состав которых входят общее обследование долины, изучение участков гидроузлов и чаш водохранилищ.

На основе изучения материалов составляется обзор инженерно-геологической изученности территории и дается описание природной обстановки, включающей геологическое строение, гидрогеологические и геоморфологические условия. Места, где предполагается размещение сооружений, характеризуются более детально. В ряде случаев приводятся данные о прочности, деформируемости и водопроницаемости пород, развитии многолетней мерзлоты, а также наличии строительных материалов.

Вторая очередь включает инженерно-геологические исследования на всем участке долины реки для выбора участков возможного размещения гидроузлов. Основным видом работ является инженерно-геологическая съемка различных масштабов в зависимости от сложности инженерно-геологических условий.

При гидротехническом строительстве выделяют следующие категории сложности инженерно-геологических условий [16].

I. Простые условия, не требующие ограничения нагрузок от сооружений, улучшения состояния и свойств пород.

II. Сложные условия, требующие ограничения нагрузок или улучшения состояния и свойств пород.

III. Весьма сложные условия, требующие проведения сложных мероприятий по улучшению состояния и свойств пород и принятия специальных конструктивных решений. Такие условия имеются в горно-складчатых и сейсмически активных областях, в районах интенсивного развития карста, залегания легкорастворимых пород и распространения многолетней мерзлоты.

Масштаб инженерно-геологической съемки определяется категорией сложности и особенностями гидроузла (табл. 50).

Таблица 50

Выбор масштабов съемки при гидротехническом строительстве

Категория сложности инженерно-геологических условий	Масштаб съемки для		
	долины реки	гидроузлов первой очереди	гидроузлов второй очереди
I	1 : 200 000	1 : 25 000	1 : 50 000
II	1 : 100 000	1 : 10 000	1 : 25 000
III	1 : 50 000	1 : 5 000	1 : 10 000

В случае возникновения вопросов, которые не могут быть решены методами геологической съемки, выполняются специальные исследования — гидрогеологические, геофизические и т. д.

Инженерно-геологической съемкой покрываются не только участок реки, где намечается сооружение гидроузла, но также и ее притоки до выклинивания подпертого уровня.

Число точек наблюдения на 1 км² съемки принимается согласно табл. 51.

Таблица 51

Выбор числа точек наблюдения при инженерно-геологической съемке для гидротехнического строительства

Масштаб съемки	Категория геологической сложности	Число точек на 1 км ²	Число разведочных выработок при обнаженности		
			хорошей	удовлетворительной	плохой
1 : 100 000	I	1	0,02	0,1	0,35
	II	1,5	0,03	0,15	0,5
	III	2,2	0,05	0,22	0,7
1 : 50 000	I	2,3	0,05	0,3	0,9
	II	3	0,1	0,4	1
	III	5,3	0,5	1	1,6
1 : 25 000	I	10	1	1,5	3
	II	16	2	3,0	5
	III	22	3	4,5	7
1 : 10 000	I	28	4	6	9
	II	34	6	9	12
	III	40	8	12	15
1 : 5 000	I	40	10	15	20
	II	70	17	26	35
	III	100	25	37	50
1 : 2 000	I	200	50	75	100
	II	350	87	128	175
	III	500	125	187	250
1 : 1 000	I	600	150	225	300
	II	1150	287	430	575
	III	1500	375	560	750

При этом следует иметь в виду, что назначение дополнительных выработок при увеличении их числа в связи с возрастанием сложности инженерно-геологических условий является процессом творческим.

Выработки необходимо располагать по створам, приуроченным к местам наиболее вероятного размещения плотин. Расстояние между выработками в зависимости от геоморфологического строения и категорий сложности инженерно-геологических условий может быть принято, исходя из рекомендаций табл. 52.

Глубина выработок назначается, исходя из общих геолого-структурных особенностей и гидрогеологических условий участка.

При проектировании бетонных плотин со сложными инженерно-геологическими условиями предусматривается проходка што-

Таблица 52

Выбор расстояний между выработками в зависимости от категории сложности

Категория геологической сложности	В долинах, м	
	равнинных	горных
I	300	150
II	250	100
III	200	75

лен, с помощью которых выявляются характер трещиноватости пород и их сохранность, а также характер тектонических условий.

Гидрогеологические исследования в скважинах направлены на выяснение фильтрационных свойств грунтов основания плотины, режима и химизма подземных вод. Эти исследования должны обеспечить получение информации, необходимой для принятия проектных решений о возможных фильтрационных потерях, осуществлении противофильтрационных мероприятий и качестве строительных материалов. На данном этапе работ выполняется также комплекс лабораторных определений показателей свойств грунтов.

По результатам работ составляется инженерно-геологическая карта всего изучаемого участка, на которой выбираются места возможного размещения гидроузлов.

Большую роль при оценке инженерно-геологических условий играют геофизические исследования.

1. Вертикальное электрическое зондирование решает задачи, связанные с определением литологических границ осадочных пород, границ и мощностей изверженных пород, оконтуриванием участков многолетней мерзлоты.

2. Электропрофилирование служит для выявления зон тектонических нарушений, повышенной трещиноватости и закарстованных зон.

3. Магниторазведка — для определения границ и мощности основных и кислых интрузивных пород, выявления зон тектонических нарушений.

4. Сейсморазведка — для выявления зон тектонических нарушений, повышенной трещиноватости и закарстованных зон.

Буровые и горнопроходческие работы выполняются по всем рассматриваемым в схеме вариантам размещения гидроузла. Комплекс разведочных выработок в совокупности со съемочными и геофизическими работами должен обеспечить построение инженерно-геологических разрезов для выяснения общих инженерно-геологических условий.

Выбор типа выработок и способа их проходки обосновывается, исходя из целей и инженерно-геологических условий на исследуемой площади. Основание плотин, как правило, разведывается

скважинами и шурфами. При высоте плотины до 25 м глубина скважины обычно равна двойному напору, а при высоте плотины 100 м и более это соотношение равно 1 : 1.

При небольшой (3—5 м) мощности покровных образований условия залегания коренных пород в примыканиях выясняются путем проходки траншей, расчисток и шурфов.

При проектировании высоконапорных гидроузлов в горных районах применяется проходка штолен, с помощью которых оцениваются трещиноватость пород, потери в примыканиях, параметры цементационной завесы, прочность, деформируемость и т. д.

Размещение выработок определяется геологоструктурными особенностями участка.

В скважинах и шурфах при необходимости выполняются гидрогеологические исследования, а также отбираются пробы для определения показателей физико-механических свойств грунтов каждого выделенного инженерно-геологического элемента.

В процессе съемки выясняются наличие строительных материалов и их ориентировочные запасы.

В обоснование схемы комплексного использования реки составляется записка об инженерно-геологических условиях (см. гл. 35).

Проектный этап

Работы на данном этапе выполняются для инженерно-геологического обоснования проекта (рабочего проекта) и составления рабочей документации [13].

Инженерно-геологические изыскания для обоснования проекта (рабочего проекта). Изыскания выполняются для выбора варианта расположения гидроузла на одном из изученных участков и для наиболее рационального размещения сооружений по выбранному варианту и составления проекта организации работ.

При наличии схемы комплексного использования реки решение о выборе варианта расположения гидроузла принимается на основании ранее выполненных изысканий.

Инженерно-геологические изыскания выполняются по выбранному варианту в пределах контуров сооружений гидроузла и включают инженерно-геологическую съемку, буровые и горнопроходческие работы, гидрогеологические исследования и изучение физико-механических свойств грунтов.

Масштаб съемки выбирается, исходя из категории сложности инженерно-геологических условий: для первой категории отвечает масштаб 1 : 10 000, для второй — 1 : 5000, для третьей — 1 : 2000.

Площадь съемки должна обеспечить полную характеристику структурных особенностей выбранного участка для оценки наиболее рационального размещения сооружений и прогноза развития физико-геологических процессов, возможных при строительстве и эксплуатации гидроузла.

В районах с сейсмической активностью свыше 6 баллов проводятся специальные сейсмологические исследования для последующего микросейсмического районирования участка. При строительстве в районах развития многолетней мерзлоты изучается ее режим.

Буровые и горнопроходческие работы проводятся по оси плотины и осям сооружений в количестве, позволяющем выполнить построение геологических разрезов для наиболее характерных участков основания сооружений.

Расстояния между выработками принимаются, исходя из табл. 53.

Таблица 53

Выбор расстояний (в м) между инженерно-геологическими выработками

Категория сложности инженерно-геологических условий	Для бетонных сооружений		Для земляных сооружений	
	в равнинных долинах	в горных долинах	в равнинных долинах	в горных долинах
I	60	50	150	100
II	50	40	100	75
III	40	30	75	50

Глубина выработок назначается из необходимости изучения горных пород в зоне активного воздействия сооружений и оценки гидрогеологических условий.

Гидрогеологические исследования должны обеспечить изучение фильтрационных свойств грунтов для расчета потерь из водохранилища и учета фильтрационного давления, а также проектирования противофильтрационных мероприятий.

Изучение физико-механических свойств грунтов осуществляется в лабораторных и полевых условиях. Число определенных классификационных показателей для каждого из выделенных инженерно-геологических элементов принимается не менее 20.

Для определения прочности и деформируемости пород число определений не должно быть менее 10.

Для плотин с напором более 25 м в полевых условиях выполняется не менее трех опытов по определению сжимаемости и сопротивления сдвигу. В скальных массивах осуществляется проходка штолен для изучения состояния пород в массиве и выявления анизотропии их физико-механических свойств.

Инженерно-геологические изыскания для составления рабочей документации. Изыскания на данной стадии проектирования выполняются для обоснования, доработки и уточнения проектных решений по конструкциям сооружений и условиям работ. Они включают буровые и горнопроходческие работы, опытно-фильтрационные исследования, изучение физико-механических свойств грунтов.

Буровые и горнопроходческие работы направлены на уточнение данных, полученных на более ранних стадиях изысканий, и выполняются в пределах контуров сооружений.

Число выработок назначается, исходя из конструктивных особенностей сооружений. Глубина их определяется мощностью активной зоны, глубиной устройства противофильтрационных завес и т. д. При опытно-фильтрационных работах уточняются мощность и глубина противофильтрационных завес, водопиток в строительный котлован, а также условия водоотлива, дренажа и др.

Для уточнения запасов строительных материалов намечается дополнительная разведка карьеров для оценки половин их запасов по категории А.

Изучение физико-механических свойств дополняет имеющиеся данные с целью уточнения расчетных значений их показателей. Выполняются как лабораторные, так и полевые исследования. Обращается особое внимание на те грунты, которые в период строительства под воздействием процессов выветривания могут менять свои свойства.

После окончания изысканий результаты исследования оформляются в виде сводной записки, если проводился большой объем инженерно-геологических исследований. Если же уточнялись отдельные вопросы, то составляется записка по данному конкретному участку с небольшими графическими приложениями (геологические разрезы, профили водопоглощения и др.).

Изыскания для мелиорации земель

Вопрос проектирования и строительства мелиоративных систем решается на основе комплексных схем использования земельных и водных ресурсов территорий. При составлении схем уточняются границы мелиоративных систем, устанавливаются параметры системы и отдельных ее сооружений, обосновываются необходимость и целесообразность первой очереди строительства. Непосредственно проектирование мелиоративных систем и сооружений осуществляется в две стадии (проект и рабочая документация) или в одну (рабочий проект).

В соответствии с этим инженерно-геологические изыскания для обоснования проектов мелиоративного строительства разделяются на региональные (схемы комплексного использования) и строительные (проект, рабочая документация и рабочий проект).

Обоснование схемы комплексного использования земель

Региональные изыскания выполняются в соответствии с генеральным планом развития СССР или союзных республик в пределах крупных территорий с целью их орошения, осушения и обводнения.

При региональных изысканиях изучается широкий круг вопросов, позволяющих:

1) оценить природные условия территории и прогнозировать их изменение при мелиоративном освоении земель;

2) выяснить гидрогеологические особенности площадей с целью получения расчетных гидрогеологических параметров (динамика, химический состав, режим) для проектирования оросительной сети, системы дренажа и расчета водно-солевого баланса;

3) установить наличие и особенность распространения литолого-генетических типов пород с детальной характеристикой их состава, состояния и свойств.

Для решения поставленных задач выполняются следующие виды работ: сбор и систематизация фондовых и литературных материалов по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям на данной территории; комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка; разведочные работы; опытно-фильтрационные работы; полевые инженерно-геологические исследования; геофизические исследования; водно-балансовые исследования; лабораторные работы; камеральные работы.

Кроме этого, собирается материал по существующим оросительным системам (опыт строительства и эксплуатации системы и ее сооружений, работа балансовых станций и т. д.).

Основой региональных инженерно-геологических исследований является комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка масштаба 1 : 100 000 — 1 : 200 000, на топографической основе — на одну ступень крупнее. Обычно съемочные работы выполняются на готовой геологической основе.

Особенность комплексной съемки для мелиоративного строительства заключается в необходимости изучения покровных образований до регионального водоупора на всю мощность зоны аэрации и водонасыщения. Подробно изучаются условия залегания, литологический состав и физико-механические свойства грунтов.

Створы водозаборных сооружений (гидроузлов) в зависимости от сложности инженерно-геологических и гидрогеологических условий разведываются в масштабе 1 : 10 000 — 1 : 25 000, чаши водохранилищ — в масштабе 1 : 50 000 — 1 : 200 000 и трассы магистральных каналов — в масштабе 1 : 25 000 — 1 : 100 000.

Съемочные работы сопровождаются проходкой разведочных выработок — опорных и картировочных, назначение которых — изучение геологического строения и гидрогеологических условий территории, производство опытных работ, а также поиск и разведка строительных материалов. При готовой геологической основе опорные выработки, как правило, не проходятся.

Картировочные выработки делятся на глубокие (более 100 м), средние (20—100 м) и мелкие (до 20 м). Способ производства буровых работ зависит от конкретных геологических условий. Предпочтительнее колонковый и ударно-канатный способы.

Наряду с буровыми скважинами проходятся шурфы, канавы и расчистки, а в сложных геолого-гидрогеологических условиях

при проектировании плотин и ирригационных тоннелей на скальном основании предусматривается проходка штолен и реже шахт (см. гл. 36).

Опытно-фильтрационные работы заключаются в осуществлении опытных откачек из скважин, нагнетаний в скважины, наливов в скважины и шурфы. При этом выясняются фильтрационные свойства пород и их водопроницаемость, водоотдача, коэффициенты пьезопроводности (для напорных вод), величины удельных водопоглощений, недостаток насыщения пород, зона капиллярной каймы (капиллярный вакуум) и др. Выбор методов зависит от природных условий территории.

Опытные инженерно-геологические исследования в полевых условиях направлены на получение информации о составе, состоянии и свойствах грунтов определенного литолого-генетического типа и инженерно-геологического элемента. Основными видами полевых опытных работ являются динамическое и статическое зондирование, вращательный срез, штампоопыты в шурфах и скважинах, опытное замачивание площадок, котлованов и др.

При геофизических исследованиях, проводимых в комплексе со съёмочными работами, выясняются геологоструктурные особенности территории и гидрогеологические условия.

Постановка водно-балансовых исследований определяется необходимостью изучения особенностей питания, движения и разгрузки грунтовых вод и формирования их химического состава во взаимосвязи с поверхностными и напорными водами, параметров для составления водно-солевого баланса, а также получения данных для прогноза изменения грунтовых вод под влиянием орошения. При водно-балансовых исследованиях количественно оцениваются величины инфильтрации, испарения, транспирации и т. д. путем постановки специальных наблюдений на балансовых участках. Элементы баланса также определяются за счет использования уравнений неустановившегося движения грунтовых вод.

Лабораторные определения показателей состава, состояния и свойств грунтов выполняются с целью выделения инженерно-геологических элементов, прогноза изменения этих показателей и составления водно-солевого баланса.

На основе изысканий проводится инженерно-геологическое, а также гидрогеолого-мелиоративное районирование с обоснованием мероприятий по горизонтальному и вертикальному дренажу.

Объемы работ определяются площадью массива и категорией сложности гидрогеологических условий. На 75—100 км² проходятся одна опорная скважина до регионального водоупора и один шурф глубиной до 20 м. Для второй категории сложности объем работ увеличивается на 15 %, а для третьей — на 25 %.

Во всех опорных скважинах выполняются опытные откачки. Водоносные горизонты в других скважинах опробываются опытными откачками в количестве 30 % от общего числа скважин; 50 % откачек рекомендуется проводить из кустов с одной или двумя наблюдательными скважинами.

Наливы в шурфы проводятся при мощности зоны аэрации до 10 м — не менее трех для каждого инженерно-геологического элемента.

Во всех пройденных выработках отбираются пробы грунтов для производства лабораторных исследований и последующей статистической обработки по каждому выделенному инженерно-геологическому элементу.

Обоснование проекта

При этих изысканиях уточняются и детально изучаются природные условия территории, охарактеризованные при региональных исследованиях. На основе региональных исследований составляется программа по инженерно-геологическому обоснованию проекта.

Состав работ по производству изысканий включает:

- 1) комплексную гидрогеологическую и инженерно-геологическую съемку;
- 2) проходку разведочных выработок;
- 3) полевые опытные гидрогеологические и инженерно-геологические исследования;
- 4) геофизические исследования;
- 5) режимные наблюдения;
- 6) исследования на опытных участках;
- 7) разведку строительных материалов;
- 8) лабораторные исследования;
- 9) обработку материалов и составление отчета.

Комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка выполняется в масштабе 1 : 50 000, а для районов со сложными геологическими условиями — в масштабе 1 : 25 000, на топографической основе — на один порядок крупнее.

Границами съемки служат естественные рубежи — крупные водные артерии, геоморфологические структуры и др. Площадь съемки обычно превышает в полтора-два раза площадь, намечаемую под орошение (осушение), что должно обосновываться программой работ.

При изучении геоморфологических условий описываются морфологические типы и формы рельефа, характеризуются современные процессы рельефообразования (просадки, оползни, оврагообразование и др.) и прогноз их развития.

Особое внимание обращается на детальную оценку четвертичных отложений. Изучаются литолого-генетические особенности грунтов на всю мощность зоны аэрации до регионального водупора. Подробно описываются физико-механические свойства грунтов, которые могут быть основанием, средой или материалом для различных сооружений. Изучаются просадочные свойства, засоленность, фильтрационные особенности и т. д.

При оценке гидрогеологических условий основной задачей являются выявление всех водоносных горизонтов, развитых до ре-

гонального водоупора, и изучение особенностей их формирования, условий залегания, взаимосвязи, режима и химического состава.

Освещая инженерно-геологические условия системы, следует учитывать особенности строительства сооружений (насосных станций, каналов и др.). Наблюдения при оценке инженерно-геологических условий заключаются в опробовании выработок и описании особенностей, встреченных разведочными выработками пород, обследовании существующих строительных котлованов, выемок, горных выработок, а также в детальном освещении физико-геологических явлений и приуроченности их к определенным генетическим типам пород.

Проходка разведочных выработок на массиве осуществляется по створам в направлении фацальной изменчивости пород в таком расчетом, чтобы охарактеризовать основные геоморфологические элементы, все генетические типы пород и водоносные горизонты. Задавая выработки, следует учитывать размещение трасс каналов и сооружений. Из общего числа разведочных выработок опорные скважины (если проходка их осуществлялась при региональных исследованиях) составляют 5—10 %, глубокие и средние 20—30 % и мелкие 50—70 %; 20—30 % мелких выработок должны составлять шурфы. Все разведочные выработки опробовываются для изучения физико-механических свойств пород, а также их засоленности. Пробы на засоленность отбирают дифференцированно в зависимости от глубины: до глубины 1 м через 0,2 м и далее через 1 м. При однородном строении толщ допускается отбор проб на засоленность через 2 м.

Полевые опытные гидрогеологические и инженерно-геологические работы. Для определения гидрогеологических параметров проводятся пробные и опытные одиночные и кустовые откачки, опытные нагнетания и опытные наливы в шурфы и скважины. Опробовываются все встреченные водоносные горизонты. Число точек опробования может достигать 70 % от общего числа выработок, встретивших подземные воды.

Для изучения особенностей фильтрации воды из каналов проводятся опытные наливы в котлованы.

Инженерно-геологические работы заключаются в производстве статического и динамического зондирования, определении прочности и деформируемости грунтов штампами в шурфах и скважинах, методами прессиометрии, вращательного среза в шурфах (см. главы 16—18).

Геофизические исследования выполняются для детального определения формы и размеров геологических структур и зон тектонических нарушений, расчленения геологического разреза, определения глубины залегания подземных вод, плотности и влажности грунтов и др. В качестве основных используются методы электро-разведки и сейсморазведки, а также ядерные методы исследования.

Размещение геофизических профилей по площади производится через 1500—2500 м при съемке масштаба 1 : 50 000 и через 500—1500 м для масштаба 1 : 25 000. Точки на профиле располагаются через 500—1000 и 250—500 м при съемках масштабов 1 : 50 000 и 1 : 25 000 соответственно.

Режимные наблюдения, организованные при региональных изысканиях, расширяются на стадии проекта для составления прогнозов изменения режима подземных вод и водно-солевого баланса под воздействием орошения. Выработки для режимных наблюдений размещаются по створам, пересекающим основные геоморфологические элементы. Расстояния между режимными скважинами равны для песчаных пород 150—200 м и для суглинисто-песчаных 250—350 м, когда площади орошения располагаются вдали от реки на расстоянии более 1000 м, и через 25, 50, 100, 200, 300 м, когда площади проектируемого орошения непосредственно примыкают к воде. В режимных скважинах ведутся комплексные наблюдения за изменением уровня, химического состава, температуры и т. д. В первый год наблюдения ведутся 10 раз в месяц для грунтовых вод и 5 раз в месяц для напорных вод. В последующие годы наблюдения сокращаются до трех и одного раза в месяц.

Исследования на опытных участках. Организация опытных участков связана с необходимостью детального изучения водно-солевого баланса, просадочности, условий применения дренажа и т. д. Опытным участкам должны отвечать природные условия, характерные для значительных площадей массива. На участках для определения водно-солевого баланса оборудуется режимная сеть скважин с соответствующим их опробованием в процессе бурения. При исследованиях изучаются: состав и свойства пород зоны аэрации и насыщения, запасы влаги и солей и их миграция, метеорологические характеристики и нормы полива и т. д. Итогом исследований на опытных участках должен быть прогноз изменения водно-солевого баланса под влиянием орошения (осушения). Условия применения дренажа обычно уточняются на участках по изучению водно-солевого баланса. В результате исследований устанавливается целесообразность применения дренажа и определяются параметры для расчета и моделирования условий эксплуатации системы.

При изучении просадочности грунтов на участке производится детальное расчленение толщи грунтов методами статического и динамического зондирования с дополнительной проходкой шурфов на всю мощность просадочной толщи с последующим отбором монолитов через интервал в 1 м с двойной повторностью. Площадки для опытного замачивания размером не менее мощности просадочной толщи размещаются в местах возможного расположения сооружений.

Разведка строительных материалов выполняется с целью оценки промышленных запасов материалов и разделяется на предварительную и детальную.

На стадии предварительных исследований проводятся разведочные работы и опробование грунтов для их утверждения по категории В, а также выделяются участки для детальных исследований.

При детальной разведке объемы работ должны обеспечить утверждение запасов по категории А, а также выяснение условий по эксплуатации месторождений.

В процессе *лабораторных работ* должны быть детально изучены физико-механические свойства грунтов в объемах, достаточных для статистической обработки в целях получения расчетных значений их показателей (см. раздел II).

Камеральные работы являются завершающим этапом работ, в процессе которого обрабатываются все полевые материалы. В результате обработки данных составляется отчет с графическими и табличными приложениями. Отчет состоит из общей и специальной частей. Общая часть посвящается характеристике природных условий территории. В специальной части помещаются данные об инженерно-геологической оценке территории с прогнозом возможного засоления, заболачивания, просадочности и т. д.; освещаются вопросы водоснабжения и использования подземных вод для целей орошения; обосновывается применение дренажа и рекомендуются месторождения для разработки строительных материалов.

Для проверки аналитических расчетов различных мелноративных мероприятий проводится моделирование на аналоговых машинах.

Составление рабочей документации

На данной стадии изыскания направлены на решение задач, возникающих в процессе проектирования и строительства.

Объем изыскательских работ обосновывается программой, составленной на основе ранее проведенных исследований с учетом вопросов, возникающих при проектировании и требующих уточнения или дополнительного исследования.

Разведочные выработки закладываются в местах размещения сооружений, а также там, где предыдущие исследования выявили сложные гидрогеологические или инженерно-геологические условия. Глубина выработок определяется мощностью активной зоны и инженерно-геологическими особенностями (наличие просадочных грунтов, карста и др.).

На стадии составления рабочей документации продолжают режимные наблюдения и выполняются полевые опытные работы. Число опытных площадок устанавливается особо в каждом конкретном случае в зависимости от сложности инженерно-геологических условий.

В процессе строительства ведется документация вскрытых котлованов, тоннелей и т. д., на основании которой уточняется рабочая документация.

Рабочий проект

Выполняется для объектов, расположенных на участках с простыми инженерно-геологическими условиями площадью до 1500 га. Как правило, строительство таких объектов осуществляется по типовым и повторно применяемым индивидуальным проектам. Продолжительность строительства этих объектов обычно не превышает два года. В одну стадию проектируются массивы со сложными природными условиями площадью до 300 га и все сооружения, расположенные на этом массиве.

Инженерно-геологические изыскания в этом случае по характеру такие же, как и при двухстадийном проектировании, но выполняются только один раз и обеспечивают проектировщиков материалами, необходимыми для принятия проектных решений. Методы и объемы изысканий аналогичны вышеприведенным региональным и строительным, но в несколько уменьшенном объеме. Так, режимные наблюдения для массивов площадью до 1500 га обычно не проводятся. В очень редких случаях при сложных инженерно-геологических условиях они выполняются в течение одного года. Для лабораторных исследований отбирается ограниченное количество проб (до 5 % всех отобранных образцов).

Изыскания для линейного строительства

Объекты линейного строительства могут быть наземные (железные и автомобильные дороги, подъездные, трамвайные и троллейбусные пути), подземные (трубопроводы: нефтепроводы, газопроводы, водопроводы и др.), воздушные (линии электропередач, подвесные канатные дороги, трубопроводы на опорах и т. д.). Для каждого из указанных объектов характерны определенные особенности в проведении инженерно-геологических изысканий.

Инженерно-геологические изыскания для обоснования проектов линейного строительства выполняются в одну стадию (рабочий проект) или в две стадии (проект и рабочая документация). По крупным и сложным объектам при подготовке задания на проектирование составляют отраслевую схему целесообразности строительства объекта.

С инженерно-геологической точки зрения объекты линейного строительства характеризуются большой протяженностью при малой ширине полосы изысканий, что связано со значительным изменением геологической обстановки по трассе объекта.

Объекты наземного строительства

Инженерно-геологические изыскания для обоснования отраслевой схемы. Основной задачей для обоснования схемы является выбор наиболее экономичного варианта направления трассы дороги.

При составлении схемы возникает необходимость в сборе данных о природных условиях трассы, захватывающей, как правило, значительные площади. Для этих целей используется комплекс геологических и физико-географических карт масштаба 1 : 200 000—1 : 500 000. На основе этих карт детально изучается рельеф, уточняются морфологические и орографические характеристики для установления плана и профиля дорог; изучаются климатические, почвенные, геологические и гидрогеологические особенности, а также решается вопрос об использовании имеющихся строительных материалов или их поиске и разведке; выполняются рекогносцировочные обследования мест переходов через реки, крупные балки, а также мест размещения участков трассы, проходящих в сложных инженерно-геологических условиях (оползневые склоны, наличие слабых грунтов, заболоченные участки и т. д.). На этой стадии выясняются общие стоимостные показатели и трудовые затраты.

На основе проведенных работ составляется записка, в которой освещаются инженерно-геологические особенности выделенных районов с описанием физико-геологических процессов и указанием на возможное использование стройматериалов. В качестве графического приложения помещается инженерно-геологическая карта-схема масштаба 1 : 200 000—1 : 500 000.

Инженерно-геологические изыскания для обоснования проекта. На данной стадии изысканий уточняется основное направление трассы и производится ее разбивка на участки с идентичными или близкими инженерно-геологическими условиями.

Основной вид изысканий — инженерно-геологическая съемка, которой покрываются все намеченные варианты трасс, с подробным поикетным описанием притрассовой полосы. При расстоянии между вариантами более 5 км съемкой покрывается полоса шириной 1 км, прилегающая к трассе. В случае размещения трассы в пойме реки желательно проводить съемку коренных берегов.

В процессе инженерно-геологической съемки выделяются отдельно участки для индивидуального проектирования. К местам индивидуального проектирования относятся: оползни, осыпи, конусы выноса, селе- и лавиноопасные участки, растущие овраги на расстоянии ближе 50 м от трассы, закарстованные площади, участки с просадочными грунтами, выемки глубже 12 м, мокрые насыпи выше 12 м или возводимые на слабых грунтах, места образования палей, пучин, а также участки с повышенной снего- и песчаносностью.

Масштаб съемки 1 : 25 000—1 : 10 000. На участках со сложными инженерно-геологическими условиями производится укрупнение масштаба до 1 : 10 000—1 : 5000. Ширина полосы съемки в обычных средних условиях 300 м.

Площади месторождений полезных ископаемых, а также строительные площадки покрываются площадной инженерно-геологической съемкой масштаба 1 : 10 000—1 : 5000. Съемка сопровождается проходкой разведочных выработок [41].

Следует иметь в виду, что все рекомендации по части объемов работ ориентировочны, и в каждом конкретном случае принятие решений по производству инженерно-геологических изысканий зависит от особенностей проектируемого объекта.

На участках индивидуального проектирования наряду со съемочными и разведочными работами выполняются опытные исследования по специально составленным программам.

Большое значение при производстве инженерно-геологических изысканий для проектирования дорог приобретают аэрометоды, которые целесообразны для линий протяженностью более 100 км.

При поисках месторождений строительных материалов наряду с дешифрированием аэрофотоснимков применяются и геофизические методы.

Инженерно-геологические изыскания для составления рабочей документации. Задачей изысканий на данной стадии является детальное изучение инженерно-геологических условий трассы для получения информации при решении вопросов, связанных с проектированием профиля земляного полотна и организацией работ по его возведению.

В частности, должны быть обоснованы:

- 1) оценка основания для выбора типов фундаментов мостов и труб;
- 2) изучение основания станционных площадок;
- 3) проектирование карьеров строительных материалов;
- 4) выбор мероприятий, обеспечивающих устойчивость полотна дороги в неблагоприятных инженерно-геологических условиях, и др.

Для обоснования рабочей документации производится попикетное описание трассы на ширину 300 м в обе стороны от оси дороги. Детально изучаются геоморфологические условия, физико-геологические процессы, особенно в местах индивидуального проектирования. В целях наиболее рационального размещения разведочных выработок их число, конструкция, плановое размещение назначаются в соответствии с профилем земляного полотна, геоморфологией и инженерно-геологическими условиями.

На участках, сложенных слабыми грунтами, при проектировании насыпей высотой более 10 м намечаются два-три поперечника. При проектировании выемок глубиной более 10 м в водонасыщенных грунтах глубина скважин, их число и конструкция зависят от гидрогеологических условий. Обычно центральная скважина оборудуется для опытных работ по определению притоков воды в строительный котлован.

При прохождении трассы дороги по заболоченным участкам через каждые 50—100 м задаются поперечники с двумя-тремя скважинами, обеспечивающими изучение минеральных грунтов, подстилающих торфо-илистые образования на глубину до 3 м.

На косогорах, осложненных оползнями, задается не менее одного поперечника на оползневый цирк. Расстояние между скважинами на поперечнике 10—20 м. Крайние скважины обязательно

приурочиваются к несмещенным массивам. Глубина скважин должна обеспечить установление плоскости скольжения оползня.

Все разведочные работы сопровождаются отбором проб для определения показателей свойств грунтов в лабораторных условиях.

Инженерно-геологические изыскания на площадках и в местах искусственных сооружений. При изысканиях для проектирования средних и больших мостов методика и объем работ зависят от общего геологического строения территории и степени ее изученности. Площадки, намечаемые под размещение мостовых переходов, могут быть неизученные, недостаточно изученные и изученные. В первом случае, когда неизвестны общие геологические условия и отсутствуют данные о показателях состава и свойств грунтов, инженерно-геологические выработки размещаются с таким расчетом, чтобы в результате выполненных работ были не только выяснены общие геологические и гидрогеологические условия, но и произведено опробование основных типов пород, слагающих основание сооружений. Помимо скважин, назначаемых для выяснения общих условий площадки, под каждую мостовую опору закладывается выработка с целью отбора проб для лабораторных исследований. В каждом конкретном случае необходимо стремиться к получению максимальной информации при ограниченном объеме разведочных работ.

Во втором случае, когда известны общие геолого-гидрогеологические условия и отсутствуют данные о показателях физико-механических свойств, разведочные выработки закладываются так, чтобы опробовать каждый литолого-генетический тип грунтов, распространенный в пределах сооружения. В общем случае число разведочных выработок назначается в зависимости от параметров сооружения и категории сложности по табл. 54.

Таблица 54

Выбор числа точек наблюдения разведочных выработок

Длина пролета, м	Геологические условия	Число скважин при ширине опоры	
		до 15 м	более 15 м
До 100	Простые	1	2
	Сложные	2	3
Свыше 100	Простые	2	4
	Сложные	3	Назначаются в зависимости от местных условий

На изученных площадках проектные решения принимаются на основе материалов предыдущих инженерно-геологических исследований.

В местах размещения малых искусственных сооружений (труба, мост) обычно проходится одна выработка, глубина которой определяется общим геологическим строением.

Объем исследований по трассе тоннеля определяется категорией сложности инженерно-геологических условий. Обычно по оси тоннеля длиной до 200 м закладываются 3—5 скважины и при необходимости 1—2 поперечника. При длине тоннеля более 200 м скважины закладываются через 100—150 м. В местах размещения порталов, сложенных рыхлыми образованиями, задаются расчистки, совмещенные с проходкой шурфов, или по три буровых скважины. При строительстве тоннелей в горных районах проходят разведочные штольни, которые позволяют наиболее полно изучить условия залегания пород, степень их трещиноватости, а также дают возможность выполнить опытные работы по определению деформируемости пород, величины горного давления и т. п. При залеганиях тоннеля на глубинах более 300 м буровые работы не выполняются, а используются данные государственных геологических съемок с применением геофизических исследований.

На участках размещения стационарных узлов основное внимание обращается на наличие заболоченных участков, слабых, просадочных и насыпных грунтов. В районах многолетней мерзлоты изучается мощность толщи с сезонным оттаиванием. Размещение и число выработок определяются общим геологическим строением участка, формой и размерами сооружений и стационарного поселка.

Необходимым условием завершения изысканий являются поиск и разведка строительных материалов. Каждое месторождение разведывается с такой детальностью, чтобы оценка запасов толщи полезного ископаемого могла быть произведена по категории В.

Для подсчета запасов по категории В месторождение оконтуривается выработками, из которых отбирают пробы для лабораторных исследований. Число выработок и методы опробования должны обеспечить получение гарантированных запасов при детальном выяснении условий залегания месторождения. Размещение выработок производится в углах геометрических фигур для более точного подсчета запасов. Расстояние между выработками не должно превышать 100 м. Глубина их определяется мощностью залежи полезного ископаемого. Разведка начинается с оконтуривания месторождения с последующим сгущением сети выработок. При разведке скальных горных пород 30—40 % выработок вскрывают полную мощность месторождения, а остальные доводятся до кровли продуктивных пород.

Подземное строительство

Характерной особенностью трубопроводов являются их небольшие удельные нагрузки на основание и высокая чувствительность к развитию даже незначительных деформаций. Инженерно-геологические изыскания выполняются применительно к двум стадиям проектирования (проект и рабочая документация) или для обоснования одностадийного проекта (рабочий проект).

Инженерно-геологические изыскания для обоснования проекта включают следующий комплекс изыскательских работ:

1) сбор, систематизацию и анализ материалов о природных условиях и результатах изысканий прошлых лет;

2) инженерно-геологическое обследование намеченных вариантов трассы с дешифрированием аэрофотоснимков.

Инженерно-геологическая съемка выполняется для изучения: морфологических характеристик рельефа, пересекаемого трассой; физико-геологических явлений, развитых в пределах съемочной полосы; участков, требующих индивидуального проектирования (см. гл. 36); общих гидрогеологических условий по трассе; физико-механических свойств грунтов в лабораторных условиях.

Ширина полосы съемки в простых инженерно-геологических условиях составляет 100 м. При прохождении трассы в сложных условиях ширина полосы съемки, число и глубина разведочных выработок могут быть приняты по табл. 55.

Месторождения строительных материалов разведываются выработками в количествах, обеспечивающих подсчет запасов по категориям В и С.

Обычно при поисках грунтов в местах развития аллювиальных, флювиогляциальных и других генетических типов грунтов, имеющих в плане вытянутую форму, расстояние между выработками составляет 25—30 м, а на поперечниках — 100—200 м. Месторождения площадного распространения разведываются по сетке со сторонами 50—100 м.

Инженерно-геологические изыскания для составления рабочей документации. При этих изысканиях изучаются литолого-генетические особенности грунтов, их гидрогеологические условия и физико-механические свойства. Участки индивидуального проектирования детализируются в связи с особенностями проявления физико-геологических процессов и мероприятиями по защите от этих процессов; производится обследование действующих сооружений в полосе, примыкающей к трассе трубопровода. Геологосъемочные и разведочные работы выполняются с опробованием выработок для определения показателей свойств грунтов в лабораторных условиях. Масштаб съемки и объем работ ориентировочно принимаются по табл. 56. Переходы через реки, растущие овраги и большие ущелья изучаются по специальной программе. Резервные створы разведываются в полосе до 100 м. Расположение выработок в пойме через 100 м и не менее двух на каждом берегу.

В местах индивидуального проектирования устанавливаются: участки, сложенные просадочными грунтами; места развития оползневых процессов; наличие карстопроявлений и их интенсивность.

Инженерно-геологические изыскания для обоснования рабочего проекта. Одностадийные изыскания выполняются по трассам протяженностью до 50 км в простых инженерно-геологических условиях в составе и объемах, изложенных в гл. 35 с некоторым сокращением, что специально оговаривается в задании.

Объем инженерно-геологических изысканий для трубопроводов при обосновании проекта

Характер местности	Инженерно-геологическая съемка		Разведочные работы	
	Масштаб	Ширина полосы, м	Местоположение выработок и их среднее число	Глубина выработок, м
Простые инженерно-геологические условия (сухие равнинные участки, породы устойчивые)	1:50 000	300—500 (с дешифрированием аэрофотоснимков)	На каждом однородном геоморфологическом элементе по одной на 1 км ²	3—5
Водоразделы и склоны, сложенные рыхлыми песчано-глинистыми грунтами при неглубоком залегании грунтовых вод	1:25 000	500	То же, по две на 1 км ² . На переходах горных хребтов — по специальной программе	Ниже глубины промерзания на 3—4 м
Такие же, при глубине залегания грунтовых вод глубже 6 м	1:25 000	500	По две на 1 км ²	То же на 2—3 м
Болота	1:25 000	300—500	По сетке 100×100 м зондировочное бурение	Заглубление в минеральный грунт на 1 м
Сложные инженерно-геологические условия (косогоры, неблагоприятные физико-геологические явления)	1:10 000	400—500	По три-пять на поперечниках, разбиваемых через 100—200 м. В особо сложных условиях — по специальной программе	Устанавливается индивидуально

Объем инженерно-геологических работ для составления рабочей документации

Характеристика участков трассы	Инженерно-геологическая съемка		Разведочные работы при съемке	
	Масштаб	Ширина полосы, м	Местоположение и число выработок	Глубина выработок, м
Равнина со слабо развитой овражной и речной сетью; грунты однородные, устойчивые	1:50 000	100	Одна на километр	До 3
Равнина холмистая с хорошо развитой овражной и речной сетью; грунты неоднородные по составу	1:25 000	200	По оси трассы через 500 м	До 5
Степи сухие и полупустыни; грунты засоленные или макропористые	1:25 000	100	То же, через 300 м	3—5
Равнины заболоченные и залесенные; грунты неоднородные, грунтовые воды близко от поверхности	1:25 000	100—200	По сетке через 100 м в полосе 300 м в обе стороны от оси	На болотах до 10—15
Пересеченный моренный ландшафт, слабая заболоченность; грунты различного состава	1:25 000	200	Через 250 м контрольные шурфы для определения содержания валунов на 1 м ³ грунта	Ниже минерального грунта на 2 м
Районы с многолетнемерзлыми грунтами	1:10 000	300	Через 200 м	Ниже глубины промерзания на 3—4 м

Воздушное строительство

Состав работ при этих изысканиях определяется обычно стадией проектирования. Двухстадийное проектирование выполняется для линий электропередач (ЛЭП) напряжением выше 110 кВ, а по технически сложным объектам — выше 35 кВ. Проектирование в одну стадию проводят по всем линиям напряжением ниже 35 кВ, а для технически несложных объектов — по линиям напряжением 110 кВ и ниже.

Инженерно-геологические изыскания для обоснования проекта. На стадии проекта производят сбор и систематизацию материалов ранее проведенных изысканий, геологосъемочные и разведочные работы.

Инженерно-геологическая съемка в открытой и несложной местности проводится в масштабе 1:100 000—1:50 000 в полосе шириной до 300 м для ЛЭП напряжением до 220 кВ и полосой шириной 500 м для ЛЭП напряжением выше 220 кВ.

На участках с плохой естественной обнаженностью проводится одна выработка на 3—5 км трассы. Кроме того, на углах поворота, в местах переходов и на площадках линейных пунктов задаются дополнительно по одной выработке, а на площадках расположения ремонтных баз — пять.

При сложных инженерно-геологических условиях, когда необходимо обойти неблагоприятные участки, принимается масштаб съемки 1:25 000 с индивидуально устанавливаемой шириной полосы.

Проходка разведочных выработок сопровождается отбором проб для лабораторных определений показателей состава и свойств грунтов и воды.

Инженерно-геологические изыскания для составления рабочей документации. Для рабочего проектирования изыскания выполняются по трассе ЛЭП, привязанной на местности, и заключаются в производстве разведочных работ с целью уточнения распространения выделенных ранее инженерно-геологических элементов и показателей их физико-механических свойств. В процессе изыскания оконтуриваются и выделяются участки трассы, сложенные слабыми и просадочными грунтами, заболоченные участки и другие неблагоприятные места, где уровни грунтовых вод залегают выше фундамента опор. Выработки закладываются на каждом километре трассы (по две глубиной до 5 м), а также на углах поворота, в местах пересечения естественных преград и на неблагоприятных участках.

При бурении скважин непосредственно под опоры на продольный профиль наносятся разрезы выработок в масштабе 1:100—1:200.

Инженерно-геологические изыскания для рабочего проекта. Одностадийные изыскания выполняются в два этапа. На первом этапе проводят выбор направления трассы, а на втором — ее трассирование и закрепление на местности. Инженерно-геологиче-

ская съемка заменяется обследованием полосы шириной 100—200 м.

Для ЛЭП напряжением 35 кВ и выше выполняются все виды работ, предусмотренные при двухстадийном проектировании. Для ЛЭП напряжением ниже 35 кВ детально обследуются только места переходов через реки и болота. На участках, где нет естественных обнажений, на углах поворотов по трассе закладываются две выработки на 1 км трассы. Глубина выработок равна 4—5 м.

Во всех случаях особое внимание уделяется развитию неблагоприятных физико-геологических процессов и разрабатываются мероприятия по защите сооружений от их воздействия.

Глава 37

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕЙ

Изучение оползней служит для выявления степени их опасного воздействия на различные строительные объекты.

Объемы и методы инженерно-геологических изысканий в районах развития оползней определяются природной обстановкой, особенностями сооружений, стадиями проектирования и направлены на уменьшение интенсивности или полное прекращение оползневой деятельности. При этом изучаются состав горных пород и их состояние, генезис оползня, характер поверхности смещения, морфология оползня.

Исследование оползней ведется с привлечением геологических, геодезических и геофизических методов.

Геологические методы направлены на изучение естественноисторической обстановки, наличия и интенсивности проявления инженерно-геологических факторов и их влияния на условия формирования оползня. При использовании геодезических методов регистрируются оползневые подвижки, как быстро протекающие, так и медленные. В последнем случае необходимы длительные наблюдения. Очень важно применение аэрометодов, которые практически позволяют зарегистрировать оползневые подвижки. В данном случае необходимы натурные наблюдения и сопоставления их с аэрофотоснимками. Геофизические методы позволяют выявить глубину выветрелой зоны пород, установить с наибольшей степенью достоверности плановое положение оползня, а также определить такие важные характеристики пород, как модуль их упругости, трещиноватость пород и уровень грунтовых вод.

Материалы инженерно-геологических изысканий должны содержать характеристики:

1) геологического строения, тектонической нарушенности, блочности грунтового массива и имеющихся в нем поверхностей и зон ослабления, неотектоники, сейсмичности (с отражением результатов сейсмического микрорайонирования);

2) нормативных и расчетных значений показателей прочности и деформируемости, а также реологических свойств для всех выделенных инженерно-геологических элементов, особенно тех из них, которые определяют устойчивость склона (откоса);

3) гидрогеологических условий — наличия в грунтовом массиве водоносных слоев, числа источников и областей их питания, условий дренирования, наличия взаимосвязи между отдельными водоносными слоями, фильтрационных свойств водоносных грунтов, режима условий подземных вод и их температуры, химического состава подземных и поверхностных вод, влияния подземных вод на устойчивость склона (откоса);

4) экзогенных геологических процессов, способствующих возникновению и развитию оползней и обвалов, — абразии, эрозии, выветривания и др.;

5) деформаций грунтовых массивов с указанием их типов, масштабов и причин возникновения, границ оползневых и обвальных участков в плане;

6) типа, возраста, стадий и фаз развития, степени активности, режима подвижек, скоростей смещения, мощности и внутреннего стресса оползневых тел, очертания поверхности оползневого смещения.

В материалах изысканий должны содержаться также прогноз изменений инженерно-геологической обстановки и оценка влияния этих изменений на устойчивость склона (откоса).

Инженерно-геологические исследования выполняются применительно к трем стадиям проектирования: а) изыскания на стадии схемы; б) изыскания для проекта и составления рабочей документации; в) изыскания для рабочего проектирования.

На стадии схемы основной задачей является получение достоверных данных об общих геолого-гидрогеологических условиях территории. На данной стадии изучаются все топографо-геодезические материалы, обследуются имеющиеся сооружения и виды их деформаций. При отсутствии топографических карт масштаба 1 : 25 000 осуществляются съемочные или рекогносцировочные работы на территории, намечаемой для инженерно-геологических изысканий.

Съемка выполняется, как правило, в малоизученных районах со сложными инженерно-геологическими условиями. В процессе съемки осуществляется ряд работ: определяются типы оползней, их возраст и генезис, приуроченность к геологическим структурам; выясняется взаимосвязь геолого-геоморфологических и тектонических особенностей района; анализируется влияние гидрогеологических и гидрологических условий, а также изучаются преобладающие экзогенные процессы.

Масштаб съемки находится в зависимости от поставленных целей и задач. Достаточным является масштаб 1 : 25 000. В сложных инженерно-геологических условиях он может быть увеличен до 1 : 10 000 и даже 1 : 5000.

На стадии проекта необходимо получить данные для суждения об устойчивости склонов и прогноза их поведения в будущем. Все эти материалы нужны для последующих разработок по выбору противооползневых мероприятий, которые включают в себя общие принципиальные и частные вопросы.

Решением общих принципиальных вопросов устанавливаются причины нарушения устойчивости склонов с целью разработки расчетных схем и определения коэффициента устойчивости, а также возможность проектирования откосов с заданной степенью устойчивости.

К частным вопросам относится выбор наиболее эффективных противооползневых мероприятий.

На стадии проекта детально изучаются.

1) геологические условия, возраст, генезис залегания и литологический состав пород и т. д.;

2) гидрогеологические условия, которые порой оказываются решающими, так как их роль сказывается в дополнительном увлажнении оползневых масс, что приводит к снижению их вязкости и проявлению гидродинамического давления. При анализе гидрогеологических условий изучаются условия залегания водовмещающих пород и их фильтрационные свойства, условия питания и дренирования различных водоносных горизонтов, их режим и химический состав;

3) показатели состава, состояния и свойств горных пород. Необходимым условием является выделение инженерно-геологических элементов с вычислением нормативных и расчетных значений и прогноз их изменения;

4) обследуются существующие здания, сооружения и лесонасаждения для суждения о характере деформаций и выработки мероприятий по упрочнению склонов и откосов.

Для решения поставленных задач выполняется комплекс инженерно-геологических изысканий, основной составляющей которых является инженерно-геологическая съемка масштаба 1 : 25 000 1 : 10 000 (см. гл. 32), сопровождающаяся буровыми и горнопроходческими работами с последующими лабораторными определениями.

На данной стадии применяются также полевые методы исследования пород (геофизические, гидрогеологические), лабораторные определения состава и состояния пород, химического состава подземных и поверхностных вод, организуются наблюдения за различными физико-геологическими процессами и явлениями. При наличии долгосрочных наблюдений указанные виды работ могут быть значительно сокращены.

При производстве буровых и горнопроходческих работ число выработок на створе в зависимости от величины оползней и их инженерно-геологических типов может быть назначено в соответствии с табл. 57.

Число выработок может быть увеличено или уменьшено в зависимости от сплошности оползня.

Выбор числа выработок на створе

Оползни	Число выработок на различных типах оползней		
	выдавливания, сре- зания, скольжения	проседания	течения, осыпания, выплывания
Небольшие (менее 2500 м ²)	7—8	8—10	4—6
Средние (2500— 10 000 м ²)	8—12	10—12	6—8
Крупные (10 000— 20 000 м ²)	10—15	15—18	8—10
Очень крупные (20 000— 100 000 м ²)	15—20	18—22	10—15
Огромные (более 100 000 м ²)	20—30	25—33	15—20

При составлении рабочей документации уточняется геологическое строение, изучаются отдельные участки, устойчивость которых окажет существенное влияние на работу сооружений, большое внимание уделяется определению показателей сопротивляемости грунтов сдвигу в смещенной и несмещенной частях склона. Необходимо также получить данные о количественной оценке фильтрационных свойств горных пород, слагающих тело оползня и подстилающих его пород.

Размещение буровых и горнопроходческих выработок увязывается с конструктивными особенностями сооружения и определяется его формой и размерами. На этой стадии решаются вопросы по выработке противооползневых мероприятий, типу дренажных устройств, укрепительных сооружений и т. д.

Глава 38

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ

Изыскания в районах развития просадочных грунтов выполняются в соответствии с общими требованиями, предъявляемыми к оценке инженерно-геологических условий при различных видах строительства. Однако, учитывая специфические особенности просадочных грунтов (см. гл. 25), возникает необходимость в производстве специальных исследований, которые позволяют:

а) установить тип грунтовых условий по просадочности, для чего определяется относительная просадочность грунтов при природном давлении и выявляется зависимость относительной просадочности от прилагаемого внешнего (дополнительно к природному) давления;

б) определить начальное просадочное давление и величину начальной просадочной влажности;

в) оценить прочность и деформируемость грунтов при естественной влажности и в состоянии водонасыщения, близкого к полному, и др.

При необходимости можно определить удельное сцепление и внутреннее трение грунтов, уплотненных до заданной объемной массы их скелета. В процессе рекогносцировки и съёмочных работ устанавливается связь между формами рельефа и распространением толщ просадочных грунтов, изучаются просадочные формы рельефа (просадочные блюдца, поды, суффозионно-просадочные воронки и др.), их геометрические формы и размеры. Этими исследованиями визуально оценивается интенсивность процессов и прогнозируется их развитие. При оценке и прогнозе просадки грунтов большое внимание уделяется установлению генезиса и литологических особенностей просадочных грунтов, так как это позволяет выявить характер неоднородности толщ и наметить наиболее рациональную схему их опробования и последующего изучения.

Изучение причин деформаций зданий и сооружений дает возможность наметить мероприятия, направленные на повышение устойчивости сооружений.

Объем инженерно-геологических исследований определяется степенью изученности территории и категорией сложности инженерно-геологических условий, а также конструкцией и особенностями эксплуатации зданий и сооружений.

На больших площадях разведочные выработки располагаются через 100—200 м, а под отдельные здания и сооружения — через 50—100 м. В качестве разведочных выработок проходятся шурфы на всю мощность просадочной толщи. Для малоэтажных зданий глубина проходки половины намеченных выработок может быть уменьшена до 6 м. Каждый из шурфов опробуется путем отбора монолитов размером $20 \times 20 \times 20$ см через 1 м или из каждого слоя мощностью не менее 1 м. В скважинах производится последовательно отбор двух монолитов диаметром не менее 100 мм. Отбор монолитов из скважин допускается проводить только специальными грунтоносами, которые позволяют сохранить структуру и плотность грунтов. Методика опробования изложена в гл. 34. Отобранные монолиты детально исследуются в лабораторных условиях.

Наряду с лабораторными исследованиями при изучении просадочных грунтов применяются полевые методы исследований, включающие опытные замачивания для определения типа грунтовых условий и опытные нагрузки штампами.

Опытное замачивание проводится в котлованах с размерами сторон, равными мощности просадочной толщи, но не менее 15×15 м. До начала замачивания в котловане и за его пределами устанавливаются глубинные и поверхностные марки для наблюдения за деформацией толщи грунта. Поверхностные марки устанавливаются по периферийным частям котлована и за его пределами, а глубинные — в центре котлована. Расположение глубин-

ных марок по разрезу приурочивается либо к отдельным инженерно-геологическим элементам, либо к отдельным зонам толщи (5—7 м и т. д.) на всю ее мощность. Установленные марки тщательно нивелируются до начала опыта и в процессе его через 5—7 дней.

Опытное замачивание производится при непрерывной подаче воды до полного промачивания всей толщи. В целях ускорения замачивания устраивают дренирующие скважины, засыпаемые хорошо фильтрующим материалом.

За условную стабилизацию просадки принимается ее приращение не более 1 см за 10 дней.

Время, необходимое для промачивания толщи грунтов, определяется по формуле

$$T = \frac{m_3 H}{K_{\min}}, \quad (38.1)$$

где K_{\min} — минимальная величина коэффициента фильтрации слоев грунта (м/сут), входящих в просадочную толщу; m_3 — коэффициент, принимаемый равным при замачивании с поверхности дна котлована и наличии дренирующего слоя 1,2, при замачивании через скважины 0,8; H — мощность просадочной толщи, м.

Количество воды, необходимое для опытного замачивания котлована, рассчитывается по формуле

$$Q = \frac{(0,8\omega_n - \omega) \rho_d}{\rho_n} \left(v_1 + \frac{v_2}{2} \right), \quad (38.2)$$

где ω_n — средневзвешенное значение полной влагоемкости грунта; ω — средневзвешенное значение естественной влажности; ρ_d — средневзвешенное значение плотности сухого грунта; ρ_n — плотность воды (1000 кг/м³); v_1 — объем грунта в пределах замачиваемого котлована (в м³), равный площади котлована, умноженной на толщину замачиваемого слоя грунта; v_2 — суммарный объем грунта в пределах зон распространения воды в стороны от замачиваемого котлована.

Распространение зон промачивания грунта контролируется путем отбора проб на влажность или геофизическими методами в специально оборудованных скважинах.

Опытные нагрузки штампами выполняются при проведении изысканий под строительство новых предприятий, жилых кварталов и отдельно стоящих зданий и сооружений, а также при проектировании защитных мероприятий от просадочности на участках, где возможность развития просадочных деформаций доказана при ранее проведенных изысканиях. При испытаниях используются штампы площадью 5000 см² круглого или прямоугольного сечения, устанавливаемые непосредственно на глубине заложения фундамента или на 2—3 м ниже. Определенная при штамповых испытаниях величина начального просадочного давления и суммарная величина просадки при заданном давлении используются при расчете осадок зданий и сооружений.

На завершающей стадии инженерно-геологических исследований составляется отчет, в котором даются выводы об опасном влиянии просадочности на проектируемые сооружения и рекомендуются мероприятия, направленные на предупреждение возможных деформаций в результате замачивания.

К текстовой части прилагаются: карта просадочности грунтов при природном и дополнительных к нему давлениях; результаты полевых и лабораторных исследований грунтов; материалы натурных обследований зданий и сооружений.

Глава 39

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ В РАЙОНАХ ПЕРЕРАБОТКИ БЕРЕГОВ ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ

Строительство искусственных водоемов, как правило, вызывает изменение природной обстановки на больших площадях. В результате выполнения инженерно-геологических изысканий должны быть получены данные, позволяющие прогнозировать влияние строительного объекта в период строительства и эксплуатации сооружения на окружающую среду.

Основная задача изысканий при изучении переработки берегов — инженерно-геологическое обоснование проекта необходимых защитных мероприятий по предотвращению или уменьшению вредных последствий этого явления на основе обоснованного прогноза условий возникновения и интенсивности процесса переработки берегов в местах размещения различных хозяйственных объектов.

Объемы и методы изысканий для оценки абразии, вызываемой волновым воздействием и приводящей к выработке профиля равновесия берегов водохранилища, зависят от общих природных условий и стадии проектирования.

В общем случае вопрос переработки берегов должен изучаться на всех стадиях проектирования: а) схемы комплексного использования реки; б) проекта и рабочего проекта; в) при составлении рабочей документации, а также при строительстве и эксплуатации водохранилища.

При обосновании схемы комплексного использования реки оценка подтопления территорий и переработки берегов с привлечением специальных исследований выполняется в случае, если инженерно-геологическая съемка показала возможность негативного воздействия указанных процессов на важные строительные объекты. В этом случае размер переработки берегов устанавливается методом аналогий.

Основной объем изысканий для обоснования проекта защитных мероприятий выполняется на первом этапе исследований при обосновании проекта.

Основой прогноза переработки берегов по всей чаше водохранилища является инженерно-геологическая съемка, масштаб кото-

рой находится в тесной связи со сложностью природных условий и характером значимости народнохозяйственного объекта в зоне переработки.

Все объекты по народнохозяйственной значимости Г. С. Золотарев делит на три группы:

1) объекты, требующие обязательной специальной защиты (рудники, железнодорожные узлы, города и т. д.);

2) объекты, вопрос защиты которых может быть решен после производства инженерно-геологических изысканий на стадии схемы или проекта;

3) объекты, защита которых с точки зрения экономической целесообразности неэффективна.

Масштаб съемки выбирается в зависимости от значимости объекта: для объектов первой группы масштаб съемки 1:2000—1:5000, а для объектов второй и третьей групп — 1:5000—1:10 000.

Установлено, что для оценки влияния различных природных факторов в районах переработки берегов водохранилищ и озер наиболее целесообразна съемка масштаба 1:5000—1:10 000 [16].

Ширина полосы съемки должна быть не менее предполагаемого размыва в ближайшие 25—50 лет. Предполагаемый размыв берегового склона от уреза реки устанавливается ориентировочно при рекогносцировочных обследованиях, исходя из геоморфологических условий, общего геологического строения территории и возможного влияния физико-геологических процессов на формирование нового устойчивого профиля берегов водохранилища.

При изысканиях в пределах этих предполагаемых полос выполняются топографические работы, включающие составление поперечных профилей, расстояния между которыми в зависимости от характера объекта и рельефа склона изменяется в широких пределах от 150 до 500 м.

Разведочные выработки на поперечниках — буровые скважины, шурфы, канавы и расчистки — закладываются таким образом, чтобы их расположение и глубина позволили детально осветить геологическое строение берегового склона.

В целях выяснения гидрогеологических условий в каждой из пробуренных скважин фиксируется глубина появившегося и установившегося уровня грунтовых вод. Кроме того, на участках с характерными геолого-геоморфологическими условиями проводятся пробные откачки.

Во всех инженерно-геологических выработках отбираются пробы грунтов и воды для их изучения в лабораторных условиях. При необходимости или по специальному заданию организуются полевые исследования физико-механических свойств горных пород, слагающих берега водохранилища.

На стадии обоснования рабочей документации изыскания проводятся при уточненном нормальном подпертом уровне и выясненных гидрогеологических условиях применительно к конкретным народнохозяйственным объектам, которые требуют защиты.

В этой связи все инженерно-геологические изыскания выполняются на конкретных участках размещения защитных сооружений, для которых инженерно-геологические условия имеют важное значение для нормальной работы водохранилища и народнохозяйственных объектов, расположенных на его берегах.

Изыскания для обоснования рабочей документации включают производство буровых, горнопроходческих, опытно-фильтрационных, полевых и лабораторных работ. Здесь важна постановка режимных наблюдений и специальных исследований, связанных с влиянием волнового режима на устойчивость и размываемость береговых склонов. В отдельных случаях производится и специальное моделирование.

Виды и объемы работ диктуются режимом работы водохранилища, инженерно-геологическими особенностями участка, характером и интенсивностью изучаемых явлений и типами защитных мероприятий. Методы изысканий обычно определяются существующими требованиями, предъявляемыми к данному виду изысканий, и типом оборудования.

При строительстве и эксплуатации водохранилища организуются стационарные наблюдения, целью которых являются сопоставление прогнозируемых явлений с фактически наблюдаемыми, проверка эффективности запроектированных защитных мероприятий и внесение соответствующих изменений в принятые проектные решения. На этой стадии производятся установки наблюдательных реперов и пьезометров, которые позволяют вести наблюдения за изменением уровней грунтовых вод и регистрировать возможные деформации склона водохранилища. Стационарные участки оборудуются специальной контрольно-измерительной аппаратурой для наблюдения за гидрологическим режимом, динамикой береговых склонов и т. д.

При эксплуатации водохранилища желательно проводить маршрутную аэрофотосъемку в том масштабе, который был выбран при аэрофотосъемке чаши водохранилища до наполнения. Одновременно с маршрутной аэрофотосъемкой производятся рекогносцировочные обследования, при которых фиксируются участки интенсивной переработки берегов, устанавливаются активные факторы, а также намечаются эффективные защитные мероприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абелев Ю. М., Абелев М. Ю.* Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах. М., Стройиздат, 1968.
2. *Ананьев В. П., Коробкин В. И.* Инженерная геология. М., Высшая школа, 1973.
3. *Бобков В. Ф., Безрук В. М.* Основы грунтоведения и механики грунтов. М., Высшая школа, 1976.
4. *Бондарик Г. К.* Динамическое и статическое зондирование грунтов в инженерной геологии. М., Недра, 1964.
5. *Бондарик Г. К., Коренева С. Л., Горячева Д. С.* Методические рекомендации по определению деформационных и прочностных свойств глинистых пород методом прессиометрии. Сер. 163. М., 1971 (ВСЕГИНГЕО).
6. *Васильев А. М.* Основы современной методики и техники лабораторных определений физических свойств грунтов. М., Госстройиздат, 1953.
7. *Гомчарова А. В.* Основы искусственного улучшения грунтов. М., Изд-во МГУ, 1973.
8. *Зенкович В. П.* Морской берег. М., Гостехиздат, 1952.
9. *Исследование* реологических свойств грунтов. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Вып. 38. Л., Энергия, 1968.
10. *Инженерная геология СССР.* Т. 1—8. М., Изд-во МГУ, 1978.
11. *Инженерные изыскания в строительстве.* Справочник по общестроительным работам. М., Стройиздат, 1975.
12. *Инженерно-геологические изыскания для строительства гидротехнических сооружений.* М., Энергия, 1972.
13. *Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектов и смет на строительство предприятий, зданий и сооружений.* СН—202—81. М., Стройиздат, 1981.
14. *Инструкция по инженерным изысканиям для промышленного строительства.* СН—225—79. М., Стройиздат, 1979.
15. *Инструкция по инженерным изысканиям для линейного строительства.* СН—234—62. М., Стройиздат, 1963.
16. *Инструкция по составу и объему изысканий для гидроэнергетического строительства.* Н—34—64. Ч. 3. Инженерно-геологические изыскания. М., Госэнергоиздат, 1975.
17. *Коломенский Н. В.* Общая методика инженерно-геологических исследований. М., Недра, 1968.
18. *Коломенский Н. В.* Специальная инженерная геология. М., Недра, 1969.
19. *Коломенский Н. В., Комаров И. С.* Инженерная геология. М., Высшая школа, 1973.
20. *Комаров И. С.* Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях. М., Недра, 1972.
21. *Коротких И. В.* Оценка строительных свойств грунтов. Киев, Будивельник, 1979.
22. *Красников Н. Д.* Динамические свойства грунтов и методы их определения. М., Стройиздат, 1970.
23. *Ломтадзе В. Д.* Инженерная геология и инженерная петрология. Л., Недра, 1970.
24. *Ломтадзе В. Д.* Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л., Недра, 1977.
25. *Маслов Н. Н., Котов М. Ф.* Инженерная геология. М., Стройиздат, 1971.
26. *Маслов Н. Н.* Инженерная геология. М., Стройиздат, 1957.
27. *Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород.* Т. 1—2. М., Изд-во МГУ, 1968.
28. *Никонов А. А.* Человек воздействует на земную кору. М., Знание, 1980.
29. *Панюков П. Н.* Инженерная геология. М., Недра, 1978.
30. *Перечень единиц физических величин, подлежащих применению в строительстве.* СН—528—80. М., Стройиздат, 1981.

31. Попов П. В. Инженерная геология. М., Госгеолтехиздат, 1951.
32. Пешковский Л. М., Перескокова Т. М. Инженерная геология. М., Высшая школа, 1981.
33. Пособие по инженерным изысканиям для строительства. М., Стройиздат, 1974.
34. Приклонский В. А. Грунтоведение. Ч. 1. М., Госгеолтехиздат, 1955.
35. Разоренов В. Ф. Пенетрационные испытания грунтов. М., Стройиздат, 1980.
36. Рекомендации по производству инженерно-геологической разведки. М., Стройиздат, 1975.
37. Рипский Е. В., Фролов А. Ф. Исследование физико-механических свойств грунтов юга Украины. Киев, Изд-во КГУ, 1955.
38. Родионов Н. В. Карст европейской части СССР, Урала и Кавказа. М., Госгеолтехиздат, 1963.
39. Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1977.
40. Рубинштейн А. Я. Об особенностях интерпретации результатов испытаний песков динамическим зондированием.— Труды ПНИИС, т. 17, 1972, с. 29—45.
41. Северьянов Н. Н. Краткий справочник по изысканиям для линейного строительства. Л., Стройиздат, 1972.
42. Сергея Е. М. Инженерная геология. М., Изд-во МГУ, 1978.
43. Сипидин В. П., Сидоров Н. Н. Исследования грунтов в условиях трехосного сжатия. М., Госстройиздат, 1963.
44. Солонухин М. А. Инженерно-геологические изыскания для промышленного и гражданского строительства. М., Недра, 1975.
45. Трофименков Ю. Г., Воробков Л. Н. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. М., Стройиздат, 1974.
46. Фролов А. Ф. Инструкция по лабораторным исследованиям грунтов. Киев, Укрнипробудхоз, 1965.
47. Чаповский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. М., Недра, 1975.
48. Швец В. Б., Лушников В. В., Швец Н. С. Определение строительных свойств грунтов. Киев, Будивельник, 1981.
49. Щеглов А. В. Лаборант по механическим испытаниям строительных материалов. М., Высшая школа, 1974.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абразия 165, 188, 189, 191
Абразионный берег 191, 192
Агрегаты водостойкие 91
— водонепстойкие 91
Адсорбция 16
Аккумулятивный берег 191, 192
Аккумуляция 177, 179
Активная зона 238, 239
Активный тип сооружений 194
Аллювиальные грунты 11
- Базис коррозии** 209
Базис эрозии 181, 182, 209
База 231
Балльность 230, 231, 233, 237, 238
Бар 191
Барханы 177
Битуминизация 85
Боковое расширение 47
Булгунихи 173
Буны 194
- Вариационный ряд** 157
Влагоемкость 43, 60
Влажность 35
Водно-ледниковые грунты 11
Водные свойства дисперсных пород 14
— — твердых пород 60
Водопроницаемость 43, 61
Волшлом 194
Вращательный срез 132
Выборочная совокупность 156
Выветривание 165
Выпор 241
- Галерея** 209, 225
Генеральная совокупность 156
Геологическая деятельность морей 188
— — рек 165, 184, 186
Геологическая среда 4, 5, 164, 239
Геологические процессы и явления 5, 164, 165
Гидродинамическое давление 200, 204, 219
Гипоцентр 228, 230
Горное давление 242
Гранулометрический состав 23
График динамического зондирования 155
— рассеяния 157
Гроты 209
Грунт 7
Грунты делювиальные 8, 9
— засоленные 66, 69
— искусственные 87
— лагунного и морского происхождения 12
— особого состава и свойств 66
— техногенные 66, 75
— эолового происхождения 11

Давление набухания 42
 Дефляция 176, 179
 Деформационные свойства 45
 Деформация выпора 241
 — грунта 45, 49, 62, 64, 240
 Дисперсия 157
 Диагностические признаки 66, 67, 72, 204
 Дюны 177

Замораживание 85
 Землетрясения 226, 234, 238, 244
 Зона аэрации 36
 Зондирование статическое 152
 — динамическое 153

И
 Иды 66
 Инъектор 86
 Измененные грунты 87, 88
 Изменчивость скачкообразная, неупорядоченная 246
 — скачкообразная, упорядоченная 246
 — функциональная 246
 — региональная 247
 — временная 247
 Инженерная геология 4, 5
 Инженерно-геологические процессы и явления 164, 239
 Инженерно-геологический элемент 16, 22, 240
 Инженерная геодинамика 5

К
 Каверны
 Каменалы
 Карры
 Карст
 Карстопроявления
 Карстообразование
 Кинетическая энергия 179, 180, 186, 188, 194
 Классификация грунтов 9
 — грунтов по гранулометрическому составу 25, 26
 — — по консистенции 40
 — — по сжимаемости 50, 51
 — — по степени влажности 36
 — — по числу пластичности 38
 — воды в грунтах 29
 — минералов 18
 — осыпей по подвижности 224
 — песков по плотности 35
 — территорий по степени устойчивости против карста 211
 — фракций гранулометрического состава 23
 Классы искусственных грунтов 87
 — методов технической мелиорации 82
 Коагуляция 17
 Компрессионные свойства 49
 Компрессия 47
 Консистенция 37
 Консолидация 53
 Коррозия 176, 179
 Коэффициент изменчивости 157
 — пористости 34
 — фильтрации 44, 61
 Кривая нормального распределения 158
 Кривая обрушения 145
 Криолитозона 170

Крыльчатка 149
Курумы 225

Лёссовые грунты 71, 72, 206
Липкость 40
Льдистость 71

Магнитуда 231
Максимальная молекулярная влагоемкость 38
Математическое ожидание 157
Мерзлота 171
Мерзлые грунты (породы) 70, 170, 172
Мероприятия по борьбе с неблагоприятными процессами 168, 175, 179, 183, 186, 194, 199, 212, 219, 221, 225, 238
Метод влагосмкости сред 112
— высоких колонн 112
Методы определения плотности грунта:
— режущих колец 105
— гидростатического взвешивания 105
— шурфика 109
Методы определения влажности:
— песочной 36
— гигроскопический 111
Методы определения границ пластичности 38
Методы производства гранулометрического анализа
— ситовый 91
— двойного отмучивания 94
— пищеточный 91, 97
— ареометрический 100
— комбинированный 102
Механические свойства дисперсных грунтов 14, 45
— — твердых пород 62
Минералы 18
Мол 194
Модуль общей деформации 50, 64
— сжимаемости 50, 51
Момент сдвига 131
Монолит 77

Набухание 41, 241
Наледа 174
Начальное просадочное давление 73
Несущая способность 242
Номенклатура грунтов 12

Обвалы 222
Овраг 181, 182
Оврагообразование 165, 181
Озерно-болотные отложения 11
Оползневая поверхность скольжения 214
Оползневое тело 214
Оползневой вал выпора 214, 219
— цирк 215
Оползневые террасы 214
— уступы 214
Оползни 212
Осадки 239, 240
Оседание земной поверхности 243
Осыпи 223
Относительная просадочность 73, 241

Параметры инженерно-геологической разведки 238
 — системы опробования 281
 Парафинирование 32, 79
 Пассивный тип сооружений 194
 Пластичность 37
 Плоскостной срыв 180
 Плотность 31, 59
 Плывуны 204
 Показатели свойств 13
 Ползучесть 46, 219
 Пористость 33, 59
 Предвестники землетрясения 234, 235
 Прессиометрия 139
 Прибор ПРГ-1 113
 — ПНГ 115
 — УВТ 117
 Продольные грунты 11
 Просадка 72, 241
 Просадочность 72, 206
 Пространственная изменчивость 246
 Процессы и явления геологические 5, 164, 165
 Прочность дисперсных грунтов основания 35, 54, 242
 — твердых пород 62, 63
 Пучение морозное 173

Разведка 267
 Размокание 42
 Рекогносцировка 253
 Релаксация 46, 71
 Реологические свойства 46

Сбойное течение 186
 Сваи-шпильки 220, 221
 Свободное набухание 41
 Свойства твердых пород 58
 Сдвиг 57, 58
 Сдвигающее усилие 55
 Сдвижение горных пород 242
 Сейсмический толчок 230, 231, 232, 234, 237
 Сейсмическая поверхность 230
 Сейсмические волны 228
 Сейсмическое районирование 233, 235
 Сейсмическое ускорение 231, 237
 Сейсмичность 235, 244
 Сели 194, 195
 Сжатие грунта 48, 51
 Сжимаемость дисперсных грунтов 35, 47, 49, 51
 Система инженерно-геологической разведки 268
 — опробования 281
 Смолизация 80
 Солифлюкция 71, 174
 Сопротивление сдвигу 54, 56
 Состав инженерно-геологических изысканий 250
 Способы подготовки проб к анализу 91
 Стадии поведения грунта под нагрузкой 46
 Сталагмиты 209
 Сталактиты 209
 Структура 21
 Суффозия 201
 Суффозионная осадка 201, 202, 241
 Съёмка 254

Текстура 22
Термическое упрочнение 85
Термокарст 173
Тетраподы 194
Техническая мелиорация грунтов 81
Тиксотропность 17, 67, 204
Тип грунтовых условий 75
Типы грунтов генетические 7, 8
— оснований
Торфы 67
Трубка Спецгео 118

Удельное сопротивление зондированию 152, 153
— сцепление 55
Улучшенные грунты 87
Уплотнение грунтов 82, 83
Усадка 41, 241
Условная стабилизация 120

Физико-технические свойства 13
Физические свойства дисперсных грунтов 14, 31
Формирование свойств 14
Фракции 23

Цементация 86

Число пластичности 38

Экзогенные процессы и явления 164
Экспресс-методы 79
Электрохимическое закрепление 84
Элементы оползня 213, 214
Элювиальные грунты 8
Элювий 166
Эндогенные процессы и явления 164
Эоловые отложения и грунты 11
Эоловые процессы 176
Эпицентр 230
Эрозия ветровая 177
— струйчатая 180

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Раздел I. Основы грунтоведения	
Глава 1. Понятие о грунтах и процессах формирования их свойств	6
Объект изучения грунтоведения	6
Основные геолого-генетические типы грунтов	7
Понятие о номенклатуре грунтов оснований сооружений	12
Физико-технические свойства грунтов и их показатели	13
Процесс формирования физико-технических свойств осадочных грунтов	14
Основные составные части и фазное состояние дисперсных грунтов	16
Глинистые грунты как коллоидные системы. Их природа и основные свойства	16
Минеральный состав осадочных грунтов	18
Структура и текстура дисперсных грунтов	21
Гранулометрический состав осадочных грунтов	23
Классификация песчано-глинистых и грубообломочных грунтов по гранулометрическому составу	24
Глава 2. Вода и воздух в грунтах	28
Виды воды в грунтах	28
Воздух и газы в грунтах	30
Глава 3. Физические свойства дисперсных грунтов и их характеристики	31
Плотность грунта	31
Плотность сухого грунта	32
Плотность частиц грунта	32
Пористость	33
Влажность грунта	35
Глава 4. Свойства и состояние песчано-глинистых грунтов при взаимодействии с водой	37
Пластичность и консистенция	37
Липкость	40
Усадка	41
Набухание	41
Размокание	42
Водонасыщение	42
Водоотдача	43
Водопроницаемость	43
Глава 5. Деформируемость и прочность рыхлых и связанных песчано-глинистых грунтов	45
Механические свойства	45
Сжимаемость	47
Прочность	54
Глава 6. Основные свойства твердых пород	58
Общая характеристика	58
Физические свойства	58
Водные свойства	60
Механические свойства	62
Глава 7. Грунты особого состава, состояния и свойств	66
Общая характеристика	66
Илы	66
Торфы и заторфованные грунты	67
Засоленные грунты	69
Мерзлые грунты	70

Лессовые грунты	71
Техногенные грунты	75
Глава 8. Отбор, консервирование и хранение проб грунтов	77
Способы отбора монолитов	77
Консервирование и транспортировка монолитов	79
Условия хранения монолитов	80
Глава 9. Методы искусственного улучшения физико-технических свойств грунтов	81
Классификация методов технической мелиорации	81
Виды искусственных грунтов	87
Раздел II. Методы лабораторных и полевых исследований грунтов в инженерно-геологических целях	89
Глава 10. Цель и задачи лабораторных исследований физико-технических свойств грунтов	89
Глава 11. Методы гранулометрического анализа грунтов	91
Назначение гранулометрического анализа	91
Подготовка грунтов к анализу	91
Ситовый метод	92
Метод двойного отмучивания (метод Сабанина)	94
Пипеточный метод	97
Ареометрический метод	100
Полевой метод	100
Комбинированный метод	102
Глава 12. Методы определения показателей физических свойств грунтов	103
Определение плотности частиц грунта	103
Определение плотности грунта	105
Определение пористости песков	109
Глава 13. Методы определения некоторых характеристик влажности и показателей водно-физических свойств	110
Определение влажности грунтов	110
Определение границ пластичности глинистых грунтов	111
Определение максимальной молекулярной влагоемкости	112
Определение размокания грунтов	113
Определение набухания грунтов	114
Определение усадки грунтов	116
Определение угла естественного откоса песков	117
Определение коэффициента фильтрации песков	118
Глава 14. Методы определения показателей механических свойств грунтов	119
Определение деформационных свойств грунтов	119
Определение прочности грунтов	126
Глава 15. Методы полевых опытных инженерно-геологических исследований	131
Глава 16. Методы полевого испытания грунтов статическими нагрузками	133
Испытания грунтов пробной нагрузкой в шурфах	134
Испытания грунтов пробной нагрузкой в скважинах	137
Испытания прессиометрами в скважинах	139
Глава 17. Методы полевого испытания грунтов на сдвиг	143
Сдвиг по заданной плоскости	143
Сдвиг по произвольной плоскости	145
Сдвиг по заданной поверхности в буровых скважинах	149
Глава 18. Методы зондирования	151
Статическое зондирование	152
Динамическое зондирование	153
Зондировочно-каротажные работы	155

Глава 19. Основы методики обработки результатов лабораторных и полевых исследований физико-технических свойств грунтов	156
Цель и способы статистической обработки экспериментальных данных	156
Построение графиков рассеяния. Основные статистические характеристики	157
Установление нормальности распределения	158
Вычисление обобщенных статистических характеристик	160
Определение нормативных и расчетных значений показателей свойств грунтов	161

Раздел III. Основы инженерной геодинамики

Глава 20. Инженерная геодинамика и ее задачи	164
Глава 21. Процессы, связанные с действием климатических факторов	165
Выветривание	165
Криогенные процессы	169
Глава 22. Геологическая деятельность ветра	176
Виды ветровой деятельности	176
Формы, состав и свойства эоловых отложений	177
Мероприятия по защите от эоловых процессов	179
Глава 23. Процессы, связанные с деятельностью поверхностных вод	179
Плоскостной смыл, струйчатая эрозия и оврагообразование	180
Геологическая деятельность рек	184
Геологическая деятельность морей и озер	188
Сели	194
Глава 24. Процессы, связанные с деятельностью подземных вод	200
Суффозия	201
Пылуны	201
Глава 25. Процессы, связанные с совместной деятельностью поверхностных и подземных вод	205
Просадочность лёссовых грунтов	206
Карст	206
Глава 26. Процессы, связанные с совместным действием воды и силы тяжести на склонах	212
Оползни	212
Обвалы, камиспады и осыпи	221
Глава 27. Явления, связанные с сейсмичностью	226
Современные представления о причинах землетрясений	228
Оценка силы землетрясений	231
Прогноз землетрясений	233
Принципы антисейсмического строительства	235
Глава 28. Инженерно-геологические процессы и явления	238
Деформация грунтов в основании сооружений	239
Сдвигание горных пород при подземных работах	242
Оседание земной поверхности при эксплуатации жидких и газообразных полезных ископаемых	243
Усиление сейсмической активности в связи с устройством водохранилищ	244

Раздел IV. Методика инженерно-геологических изысканий

Глава 29. Инженерно-геологическая изменчивость горных пород	246
Глава 30. Инженерно-геологические изыскания при строительстве	248
Стадии проектирования	249
Состав и условия проведения изысканий	250
Методы получения инженерно-геологических данных	251
Общий принцип проведения изысканий	251
Глава 31. Инженерно-геологическая рекогносцировка	253
Глава 32. Инженерно-геологическая съемка	254

Состав работ	255
Масштаб съемки и виды инженерно-геологических карт	258
Производство съемочных работ	261
Глава 33. Инженерно-геологическая разведка	267
Выбор системы инженерно-геологической разведки и ее параметров	268
Выделение инженерно-геологических элементов	270
Последовательность работ	271
Состав работ	273
Глава 34. Инженерно-геологическое опробование грунтов	280
Выбор системы опробования	281
Выбор параметров системы опробования	282
Выбор метода отбора проб	282
Обработка и подготовка проб к анализу	284
Глава 35. Камеральные работы и составление отчета	284
Отчетные материалы	285
Инженерно-геологическое заключение	286
Глава 36. Инженерно-геологические изыскания для отдельных видов строительства	287
Изыскания для промышленного строительства	287
Изыскания для гражданского строительства	291
Изыскания для гидротехнического строительства	292
Изыскания для мелиорации земель	298
Изыскания для линейного строительства	305
Глава 37. Инженерно-геологические изыскания в районах развития оползней	314
Глава 38. Инженерно-геологические изыскания в районах развития просадочных грунтов	317
Глава 39. Инженерно-геологические изыскания в районах переработки берегов озер и водохранилищ	320
Список литературы	323
Предметный указатель	325