

СПРАВОЧНИК

по инженерной геологии

Издание третье
переработанное и дополненное

Ответственный редактор М. В. Ч у р и н о в



МОСКВА «НЕДРА» 1981

Справочник по инженерной геологии. — 3-е изд., перераб. и доп./Под ред. М. В. Чуринова. — М., Недра, 1981. 325 с.

Изложены теоретически обоснованные, подтвержденные практикой сведения, необходимые при проведении инженерно-геологических работ. Третье издание (2-е изд. — 1974) переработано и дополнено новыми материалами. Содержит минимум сведений из сопредельных наук, широко используемых в инженерной геологии. Рассмотрены современные геологические и инженерно-геологические процессы, их прогноз и охрана окружающей среды; инженерная геокриология и инженерно-геологическое картирование; полевые методы определения деформационных и прочностных свойств пород. Описаны особенности инженерно-геологических исследований, для различных видов строительства. Приведены оборудование и приборы, применяемые при инженерно-геологических работах.

Для инженеров-геологов, а также для широкого круга специалистов, работающих в области проектирования и строительства различных сооружений.

Табл. 106, ил. 79, список лит. — 178 назв.

Рецензент: д-р. геол.-минер. наук *Е. Г. Качугин*

© Издательство «Недра», 1974

С 20806—105
043(01)—81 17—81 3202000000

© Издательство «Недра», 1981,
с изменениями

В настоящее время в инженерной геологии получили широкое распространение новые полевые методы и методы обработки инженерно-геологической информации.

На различных стадиях инженерно-геологического изучения территории стали внедряться дистанционные методы аэрокосмических и инфракрасных съемок, способствующие скорейшему освоению новых промышленно-территориальных комплексов и решению крупных народно-хозяйственных задач.

Рациональное комплексирование полевых методов инженерно-геологических исследований, включающее ландшафтно-индикационные, аэрометоды и дешифрирование, геофизические, радиоизотопные, пенетрационнокаротажные, горнопроходческие, динамическое и статическое зондирование, опробование и другие, способствуют более глубокому и всестороннему изучению территории.

Разработанный ВСЕГИНГЕО новый принцип обработки полевых материалов инженерно-геологических исследований, основанный на расчленении толщ пород на инженерно-геологические элементы, оценке статистической однородности выделенных элементов, вычислении обобщенных и расчетных показателей и моделировании полей физико-механических свойств пород, изложен с достаточной детальностью в справочнике.

Анализ и обобщение обширного материала по инженерно-геологическому картированию позволили усовершенствовать принципы и методику составления инженерно-геологических карт общего назначения.

Большую роль в оценке инженерно-геологических условий играют современные экзогенные и инженерно-геологические процессы. Немалое значение при этом имеют их генетическая принадлежность, интенсивность проявления и пораженность ими территории. Методологические основы их прогнозирования только закладываются, поэтому в справочнике они изложены в общей форме.

Благодаря ежегодно возрастающему ускорению научно-технического прогресса происходит преобразование природы под воздействием деятельности человека. В связи с этим возникла необходимость разработки мероприятий по охране окружающей среды, краткие рекомендации которых освещены в справочнике.

В настоящее время накоплен обширный материал по инженерной геологии, полученный в связи с широким развитием строительства и эксплуатации сооружений. Это позволило авторам обобщить полученные данные в виде справочного материала по важнейшим направлениям и особенностям методики инженерно-геологических исследований общего и специального назначения для различных типов строительства. При этом учитывались утвержденные ГОСТ, строительные нормы и правила, выпущенные в последние годы.

Прогрессивным направлением в современном грунтоведении является преобразование пород, именуемое технической мелиорацией. Она применяется при всех видах строительства и содействует повышению прочностных свойств пород.

Использование современных способов мелиорации способствует приданию монолитности массиву горных пород, а также цементированию, окаменению, уплотнению их, повышению морозоустойчивости и понижению коррозионности. Преимущество перечисленных способов технической мелиорации детально освещено в справочнике.

Инженерно-геологическая наука развивается в тесном контакте со смежными науками. В справочнике приводятся главнейшие сведения и положения из сопредельных наук.

Единицы физических величин приведены в соответствии с рекомендациями «Международной системы единиц СИ».

В третьем издании Справочника принимали участие известные специалисты в различных областях инженерной геологии. Особо следует отметить работу В. П. Лазаревой по подготовке рукописи к изданию.

Авторы с благодарностью примут все критические замечания, которые следует направлять по адресу: 142452, Моск. обл., Ногинский р-н, пос. Зеленый, ВСЕГИНГЕО, Отдел региональной инженерной геологии и съемки.

Глава первая

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И СВЕДЕНИЯ ИЗ СОПРЕДЕЛЬНЫХ НАУК, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

I. МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТ

Метеорология. К основным метеорологическим элементам относятся: температура, атмосферное давление, влажность воздуха, скорость и направление ветра, облачность, атмосферные осадки, видимость, солнечная радиация, испарение и т. д.

Температура воздуха выражается в градусах Цельсия ($t^{\circ}\text{C}$) и является одной из важнейших характеристик теплового состояния воздуха.

Атмосферное давление — p — сила, действующая на единицу поверхности. Оно измеряется высотой ртутного столба в барометре. Высота ртутного столба, уравнивающего атмосферное давление, зависит от температуры воздуха и ускорения силы тяжести. «Нормальным» атмосферным давлением называется давление, равное давлению ртутного столба высотой 760 мм, находящегося при температуре $0,0^{\circ}\text{C}$ на широте 45° и на уровне моря. Атмосферное давление выражается в паскалях.

Влажность воздуха — содержание водяного пара в воздухе. Ее характеризуют: упругость водяного пара, дефицит влажности, относительная влажность, точка росы, абсолютная влажность, удельная влажность.

Упругость водяного пара e — это парциальное давление водяного пара, содержащегося в воздухе. Оно выражается, как и атмосферное давление, в паскалях.

Дефицит влажности α — разность между упругостью насыщения при данной температуре E и упругостью водяного пара, содержащегося в воздухе.

Относительная влажность r — отношение упругости водяного пара, содержащегося в воздухе, к упругости насыщения при данной температуре:

$$r = \frac{e}{E} \cdot 100\%.$$

Точка росы τ — температура, до которой нужно охладить воздух при постоянном давлении, чтобы содержащийся в нем водяной пар стал насыщенным. Разность между температурой и точкой росы называется дефицитом точки росы $D = t - \tau$.

Абсолютная влажность a — масса водяного пара, содержащегося в единице объема воздуха. Она выражается в кг/см^3 . Между абсолютной влажностью и упругостью водяного пара существует соотношение $a = 2,17 \cdot 10^{-3} \frac{e}{T}$ кг/м^3 , где e упругость водяного пара в Па; T — температура в К.

Удельная влажность q — масса водяного пара, содержащегося в единице массы влажного воздуха, $q = 0,622 \frac{e}{p}$ $\text{г/кг} = 622 \frac{e}{p}$ г/кг .

Скорость ветра принято выражать в м/с, а в некоторых случаях в км/ч, иногда в баллах по шкале Бофорта. Для обозначения направления ветра используют 16 румбов. В некоторых случаях направление ветра характеризуют азимутом точки, из которой дует ветер, выраженным в градусах, причем отсчет

ведется от севера через восток, так что северному ветру соответствует 0° (или 360°), восточному 90° , южному -180° , западному -270° .

Облачность — система водяных капель или ледяных кристаллов, взвешенная в атмосфере на некоторой высоте над земной поверхностью. В зависимости от интенсивности движения, термических и других факторов образуются облака, различные по внешнему и внутреннему строению. В зависимости от условий образования все облака разделяются на три класса — кучевообразные, волнистообразные и слоистообразные. Существует международная классификация облаков (дополненная В. В. Кузнецовым и П. А. Молчановым), в основу которой положен морфологический признак, т. е. внешний вид облаков. Согласно этой классификации, облака по высоте делятся на четыре семейства: облака верхнего яруса (перистые, перисто-кучевые, перисто-слоистые), расположенные на высотах более 6 км; среднего яруса (высококучевые, высокослоистые) — на высотах 2—6 км; нижнего (слоисто-кучевые, слоистые, слоисто-дождевые, круговодождевые) — от земной поверхности до высоты 2 км и семейство облаков вертикального развития (разорванные).

Атмосферными осадками называют все виды воды в жидком или твердом состоянии, выпадающей из облаков. Количество осадков выражается высотой слоя воды в миллиметрах, образованного в результате выпадения осадков на горизонтальной поверхности при отсутствии испарения, просачивания и стока, а также при условии, что твердые осадки полностью растаяли. Интенсивность осадков — количество их в миллиметрах, выпадающее в одну минуту. По интенсивности осадки делятся на слабые, умеренные и сильные. Жидкие осадки, интенсивность которых превышает 1 мм/мин, называют ливнями.

Поток радиации — это количество энергии, которое поступает в единицу времени на единицу поверхности. Радиация является одним из основных климатообразующих факторов. Сведения о ней широко используются при расчетах теплового баланса и ряда других показателей.

В метеорологии поток радиации выражают в Дж/м². Количество прямой радиации, приходящей в единицу времени на единицу поверхности, перпендикулярной к солнечным лучам, называется плотностью потока прямой радиации.

Испарение — обратный процесс конденсации водяного пара на поверхности. Количественно испарение характеризуется массой воды, испаряющейся в единицу времени с единицы поверхности. Эта величина выражается в кг/м²·с. Для практических целей скорость испарения выражается высотой (в миллиметрах) слоя воды, испарившейся за единицу времени. Слой воды высотой 1 мм, испарившейся с площади 1 м², соответствует массе ее в 1 кг. Испарение является важным фактором теплообмена между деятельной поверхностью и атмосферой. При изучении испарения важное значение приобретает испаряемость — испарение, максимально возможное в данной местности с определенной деятельной поверхности (почва, растительный покров, водоем и т. д.) при достаточном (оптимальном) количестве влаги и при существующих здесь метеорологических условиях. Испаряемость характеризует максимальное испарение, которое наблюдается в данной местности, т. е. ее тепловой баланс. Испарение с крупным водоемом приближается к испаряемости. В местностях с малым увлажнением почвы разность между испаряемостью и испарением может быть очень большой.

Испарение наблюдается с водной поверхности, с поверхности суши, с растительного покрова. Для наблюдений с водной поверхности применяется эвапариметр Вильда, а для наблюдений с поверхности суши — почвенный испаритель М. А. Рыкачева и В. Н. Попова. При наблюдениях с растительного покрова используется метод срезов А. А. Ничипоровича (в первые 10—15 мин срезанное растение испаряет столько же воды, сколько и на корню).

Величина испарения с водной поверхности за месяц подсчитывается по формуле Крицкого, Менкеля и Россинского:

$$U = 9(l_0 - l_{200})\sqrt{1 + 0,015\omega_{900}},$$

где l_0 — упругость насыщенного водяного пара, соответствующая температуре воды водоема; l_{200} — упругость водяного пара в воздухе на высоте 200 см над поверхностью земли; ω_{900} — скорость ветра на высоте 900 см. Значения l_{200} и ω_{900} принимаются по данным ближайшей метеорологической станции.

Для более точного определения величины месячного испарения с водной поверхности пользуются формулой Б. Д. Зайкова:

$$U = 0,2 (d_0 - d_{200}) (1 + 0,85v_{100}), \text{ мм,}$$

где d_0 — средняя месячная упругость насыщенного водяного пара, рассчитанная по температуре поверхности воды, мм; d_{200} — упругость водяного пара в воздухе на высоте 200 см от поверхности воды, мм; v_{100} — среднемесячная скорость ветра (м/с) на высоте 100 см.

Суммарную величину месячного испарения с поверхности речного бассейна можно определить по графикам Б. В. Полякова. Величина испарения определяется только для месяцев с отрицательными температурами, с учетом широтных зон, но без учета месячной суммы осадков.

При определении величины испарения по графикам вводятся поправочные коэффициенты на зоны. Например, для азиатской части СССР рекомендуются следующие поправочные коэффициенты:

Зоны	Коэффициент
Смешанный лес	1,10
Широта 62—64°	1,10—0,90
Широта 64—66°	0,90—0,85
Заполярье	0,85—0,80

Испарение с поверхности суши (по Б. В. Полякову) достигает следующих величин:

U, мм/мес	Темпера- тура, °С	U, мм/мес	Температура, °С
30	0	17	-5
27	-1	12	-7
24	-2	7	-10
22	-3	4	-15
20	-4	3	-20

Испарение с поверхности льда несколько ниже, чем с поверхности снега, но при температуре от 0 до минус 2 °С эти величины становятся практически одинаковыми.

Климат. Климатическое районирование СССР построено на основе климатической классификации, в которой климатические области выделены на основании количественных метеорологических показателей, соответствующих физико-географическим зонам. Физико-географические зоны в свою очередь определяются балансом радиационной энергии и распределения радиационного индекса сухости — отношения радиационного баланса к количеству тепла, необходимому для испарения годовой суммы осадков.

При переходе от одного широтного пояса к другому в ряде природных зон, соответствующих изменениям условий увлажнения, периодически повторяются признаки сходства наряду с различиями, определяемыми изменениями тепловых энергетических условий. Такая закономерность была названа периодическим законом географической зональности. Периодический закон географической зональности устанавливает определенную зависимость размещения географических зон от климатических факторов. Поэтому он может служить основой для построения физико-географической классификации климата.

На территории СССР выделяется 12 типов основных климатических зон, которые включают 31 тип климатических областей, различных по особенностям условий зимнего периода. На основе этой системы классификации климатов построена карта климатического районирования СССР (рис. 1).

Климатические условия каждой области характеризуются сочетанием трех показателей термических условий: увлажнения, зимы и теплого периода.

II. ТОПОГРАФИЯ И РЕЛЬЕФ

Топографическая карта с рельефом является основой, на которой составляются инженерно-геологические карты различных масштабов. На топографических картах рельеф обычно изображается в горизонталях, а местные предметы (ситуация) — в условных знаках.

Выбор сечения рельефа, т. е. того промежутка по высоте, через который горизонтالي проводятся на карте, зависит от масштаба карты и углов наклона

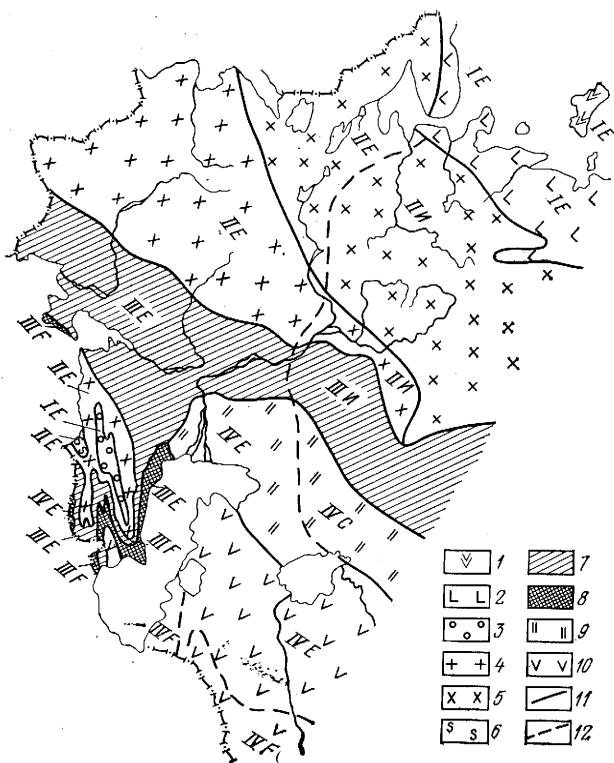


Рис. 1. Фрагмент схематической карты климатического районирования СССР м-ба 1 : 25 000 000.

Климат: I. Избыточно-влажный. Лето: 1 — очень холодное; 2 — холодное; 3 — умеренно теплое. II. Влажный. Лето: 4 — умеренно теплое; 5 — теплое; 6 — очень теплое. III. Недостаточно влажный. Лето: 7 — теплое, 8 — очень теплое. IV. Сухой. Лето: 9 — теплое, 10 — очень теплое, 11 — граница территорий с различным климатом. Зима (буквы на карте): С — умеренно суровая малоснежная, И — умеренно суровая снежная, Е — умеренно мягкая, Ф — мягкая; 12 — граница территорий с различной зимой

изображаемой местности. Величина сечения на картах разных масштабов не может быть одинаковой. Более того, на одной карте для изображения равнинных и горных районов целесообразно применять различное сечение рельефа. Для наглядного и выразительного изображения рельефа на картах используется гипсометрический способ, в котором горизонтали сочетаются с послойной гипсометрической окраской.

В СССР абсолютные отметки суши считают от нуля Кронштадтского футштока, превышающего на 1—2 см средний уровень Балтийского моря.

Масштабом называется степень уменьшения линий на карте относительно горизонтальных продолжений соответствующих им линий на местности. На картах обычно указывается только масштаб, характеризующий степень уменьшения земного эллипсоида, изображаемого на плоскости. Он бывает численным (например, 1 : 2 500 000) или линейным (в виде графика).

В настоящее время пользуются следующими масштабами:

Численными		Линейными	
1 : 1 000 000	1 : 50 000	1 см = 10 км	1 см = 500 м
1 : 500 000	1 : 25 000	1 см = 5 км	1 см = 250 м
1 : 200 000	1 : 10 000	1 см = 2 км	1 см = 100 м
1 : 100 000		1 см = 1 км	

Условные знаки, применяемые на географических картах, подразделяются на три основные группы: контурные, внемасштабные и линейные, контурные (иначе масштабные) знаки предназначены для изображения объектов в их действительном очертании в масштабе карты. Внемасштабные условные знаки, применяемые для изображения не выражающихся в масштабе карты объектов, обычно преувеличивают их действительные размеры. Линейные условные знаки применяются для изображения объектов линейного протяжения, таких, как реки, дороги, линии связи, границы и т. п. Они могут быть контурными и внемасштабными.

Проекция карты — это математический способ изображения поверхности земного эллипсоида на плоскости. Топографические и обзорно-топографические карты масштабов от 1 : 2000 до 1 : 1 000 000 служат целям географического и инженерно-геологического изучения земной поверхности, а также для решения широкого круга задач народнохозяйственного значения. К топографическим относятся карты масштабов 1 : 2 000 — 1 : 100 000, к обзорно-топографическим — масштабов 1 : 200 000 — 1 : 1 000 000.

Топографические и обзорно-топографические карты СССР масштабов от 1 : 500 000 и крупнее составляются отдельными участками в равноугольной поперечно-цилиндрической проекции Гаусса, вычисленной по элементам эллипсоида Красовского в пределах трех- и шестиградусных зон. Для карт масштабов 1 : 2000—1 : 5000 приняты трехградусные зоны, а масштабов 1 : 10 000—1 : 500 000 — шестиградусные.

Проекция Гаусса в пределах установленных зон обеспечивает изображение поверхности референц-эллипсоида на плоскости без существенных искажений. В ней отсутствует искажение углов и сохраняется подобие бесконечно малых фигур. Максимальные для территории СССР линейные искажения на широте $f = 36^\circ$ на краю шестиградусной зоны не превышают 0,001.

Проекция обеспечивает внутри установленных зон возможность одновременного нанесения трапеций и опорных пунктов в единой системе прямоугольных координат и исключает разрывы по границам соседних листов.

Карта масштаба 1 : 1 000 000, в отличие от других карт рассматриваемой группы, составляется в видоизмененной поликонической проекции и применяется в качестве многогранной. Каждый лист карты с размерами 4° по широте и 6° по долготе отдельно проектируется на плоскость. Листы карты масштаба 1 : 1 000 000 складываются без разрывов или по направлению меридианов или по направлению параллелей, т. е. по колоннам или поясам. К северу и югу от экватора пояса обозначаются заглавными буквами латинского алфавита. Счет колонн ведется с запада на восток, начиная от меридиана с долготой 180° от Гринвича; колонны обозначаются арабскими цифрами от 1 до 60.

Номенклатура листа карты масштаба 1 : 1 000 000 складывается из обозначения пояса и номера колонны. Например, лист, на котором расположена Москва, получает номенклатуру N-37 (рис. 2).

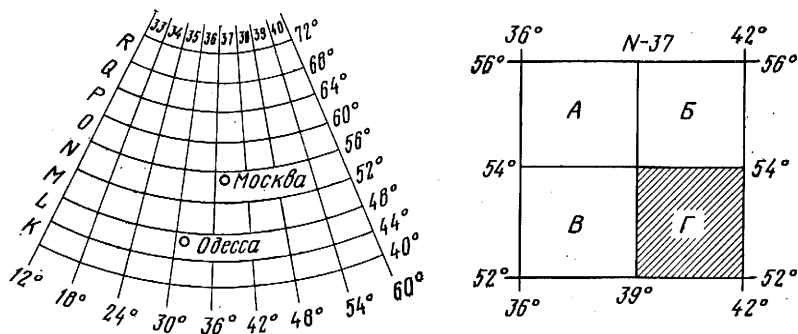
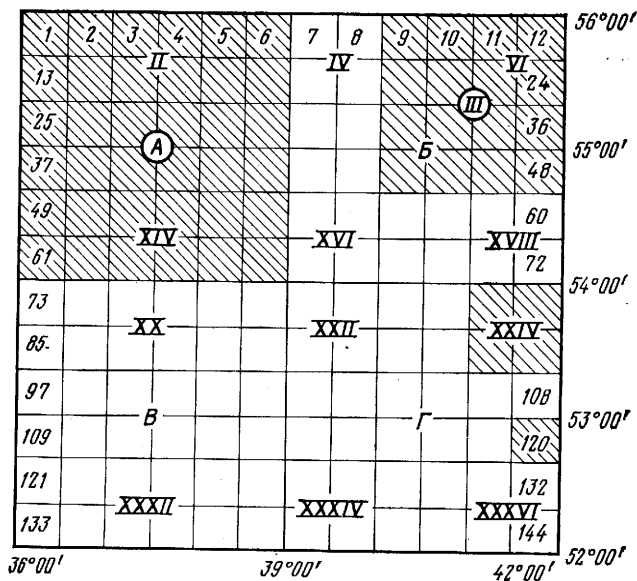


Рис. 2. Детализация международной разграфки листов

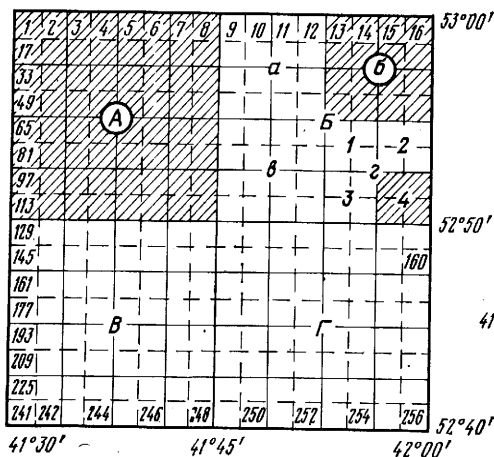
а

N-37



б

N-37-120



N-37-120 (160)

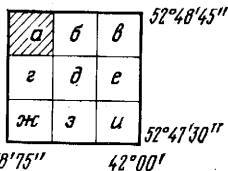


Рис. 3. Номенклатура и размеры трапеции топографических и обзорно-топографических карт

Разграфка листов карт м-бов: а — 1 : 500 000; 1 : 300 000; 1 : 200 000; 1 : 100 000 на листе миллионной карты; б — 1 : 50 000; 1 : 25 000; 1 : 10 000; 1 : 5000; в — 1 : 2000

Колонны листов совпадают с шестиградусными зонами проекции Гаусса. Средний меридиан каждого листа карты является осевым меридианом зоны. Номенклатура и размеры трапеции топографических и обзорно-топографических карт приведены в табл. 1 и на рис. 3.

Рельеф, представляя собой всю совокупность естественных неровностей земной поверхности, является одним из основных природных факторов, обуславливающих размещение вод, растительности и других элементов географической среды (табл. 2). Зная преобладающие углы наклона и относительные высоты характерных форм рельефа, можно установить для каждого масштаба карты несколько высот сечения, которыми и следует пользоваться в зависимости от особенностей местности и требований, предъявляемых к изображению рельефа (см. табл. 1). Это и принято на всех современных топографических картах СССР.

Таблица 1

**Номенклатура и размеры трапеций
топографических и обзорно-топографических карт**

Масштаб	Размер трапеций		Номенклатура
	Широта	Долгота	
1 : 1 000 000	4°	6°	N-37
1 : 500 000	2°	3°	N-37-A
1 : 300 000	1° 20'	2°	111-N-37
1 : 200 000	40'	1°	N-37-XXIV
1 : 100 000	20'	30'	N-37-120
1 : 50 000	10'	15'	N-37-120-A
1 : 25 000	5'	7' 30"	N-37-120-B-6
1 : 10 000	2' 30"	3' 45"	N-37-120-B-г-4
1 : 5 000	1' 15"	1' 52,5"	N-37-120-(160)
1 : 2 000	0' 25"	0' 37,5"	N-37-120-(160-a)

Таблица 2

Высота сечения рельефа для различных районов

Рельеф	Масштаб					
	1 : 2000	1 : 5000	1 : 10 000	1 : 25 000	1 : 50 000	1 : 100 000
Плоскоравнинный	0,5	0,5	1,0—2,5	2,5	10,0	20,0
Равнинный пере- сеченный и всхолмленный с преобладающи- ми углами на- клона до 6°	0,5—10	1,0—2,0	2,5	5,0	10,0	20,0
Горный и пред- горный, песча- ные пустыни	2,0	5,0	5,0	5,0	10,0	20,0
Высокогорный	—	—	—	10,0	20,0	40,0

Основные характеристики рельефа (по А. И. Спиридонову)

Структура	Тип рельефа		
	генетический	морфографический	морфометрический
Ненарушенная Слабо нару- шенная Складчатая Сбросовая Складчато- сбросовая	Морской абра- зионный, аккумуля- тивный, озерно- абразионный и аккумуля- тивный, озер- но-ледниковый, абразионный и аккумуля- тивный Водно-эрозион- ный и водно-акку- мулятивный	Равнинный Холмистый Увалистый Гривистый Грядовой Сопочный Горный Платообразный	Мелкий Средний Крупный Слабо расчле- ненный Среднерасчле- ненный Сильно расч- ленный
	Водно-ледниковый эрозионный и аккумуля- тивный	Западный	Пологосклон- ный Среднесклон- ный Крутосклон- ный
	Дефляционный и аккумулятивный Вулканический и аккумулятивный	Образный	Низменный
		Балочный Долинный	Возвышенный Нагорный

III. ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Геоморфологическое изучение местности с ее морфометрической, морфогенетической и морфографической характеристиками является необходимой составной частью инженерно-геологических исследований.

Вспомогательным материалом при составлении инженерно-геологических карт и карт районирования служат геоморфологические карты, разрезы и схемы соотношения различных генетических и возрастных элементов рельефа. Геоморфологические карты дают представление о распределении различных по форме, генезису и возрасту элементов рельефа.

Формами рельефа можно назвать природные тела, слагающие рельеф. Они состоят из элементов, которыми являются точки, линии и поверхности, ограничивающие формы рельефа (табл. 3—5).

IV. ГИДРОЛОГИЯ

Элементы характеристики рек. Площадь бассейна реки определяют по картам различного масштаба методом планиметрирования. Густоту речной сети находят из равенства

$$D = \frac{\sum L}{F},$$

где $\sum L$ — суммарная длина всех рек на данном участке, км; F — площадь участка, км².

Гидрографом реки называют хронологический график режима речного стока (график расхода). На графике по оси абсцисс откладывают время, по оси ординат расход, выраженный в кубических метрах в секунду или в сутки.

Морфологические комплексы рельефа (по А. И. Спиридонову)

Основные категории (превышения над ближайшими базами денудации), м	Морфографические категории	Морфометрические категории			
		по абсолютной высоте, м	по относительной высоте или глубине расчленения, м	по густоте расчленения (удаленности водоразделов от ближайших базисов денудации), м	по крутизне склонов, градус
Плоские равнины (до 10 м)	Волнистые, бугристые, гривистые, западинные, и пр.	Низменности: очень низкие равнины, 0—75, низкие равнины, 75—150	Очень мелко расчлененные, до 10 м Мелко расчлененные 10—25	Очень сильно расчлененные, менее 50	С очень пологими, 0—1 Со среднепологими 1—2
Холмистые равнины (10—100 м)	Грядовые, увалистые, сопочные, котловинные, долинно-балочные и пр.	Средневысотные равнины, 150—200 Возвышенности: низкие, 200—300, средневысотные, 300—400 высокие, 400—500 Нагорные равнины: низкие, 500—1000, средневысотные, 1000—2000, высокие, 2000—3000, очень высокие, более 3000	Средне расчлененные, 25—50 Глубоко (крупно) расчлененные, 50—75 Очень глубоко (очень крупно) расчлененные, 75—100	Сильно расчлененные, 50—100 Очень дробно расчлененные, 100—250 Дробно расчлененные, 250—500 Умеренно расчлененные, 500—1000	С пологими, 2—4 С пологопокатыми, 4—6 С покатыми, 6—8 С крутопокатыми, 8—10 С умереннокрутыми, 10—15 С крутыми, 15—30
Горы (более 100 м)	Островные, расчлененные на хребты и вершины, с плоскими, округлыми, острыми гребнями и пр.	Очень низкие, до 500 Низкие, 500—1000 Средневысотные, 1000—2000 Высокие, 2000—3000 Очень высокие, 3000—5000 Высочайшие, более 5000	Очень мелко расчлененные 100—250 Средне-расчлененные 250—500 Глубоко (крупно) расчлененные 500—750 Очень глубоко расчлененные 750—1000 С глубочайшими, более 1000	Слабо расчлененные, 1000—2000 Очень слабо расчлененные, более 2000	С очень крутыми, 30—45 С обрывистыми, более 45

Схема классификации рельефа суши по крутизне склонов
(по М. Ф. Скрибному)

Характеристика рельефа	Обобщенная характеристика рельефа	Характеристика рельефа водосбора	Класс рельефа	$\sin \alpha$	$\operatorname{tg} \alpha$	Угол наклона поверхности, градус
Равнины (0—7°)	Равнинный (0—1°)	Плоский Равнинный Волнистый	I	0—0,005	0—0,005	0—1/4
			II			
			III			
	Холмистый (1—7°)	Увалистый Холмистый Сильно холмистый	IV	0,04	0,04	2
			V			
			VI			
Горы (7—45°)	Гористый (7—24°)	Предгорный Гористый Горный	VII	0,2	0,21	12
			VIII			
			IX			
	Высотный (24—45°)	Высокогорный Высотный Островершинный	X	0,5	0,58	30
			XI			
			XII			

Коэффициент извилистости реки

$$\varphi = \frac{l}{L},$$

где l — длина реки по руслу, м; L — расстояние между точками по прямой, м. Речной сток бывает среднемесячный, среднесезонный, среднегодовой и среднелетний.

Объемы стока вычисляются расходами в расчетный отрезок времени (в с). Выражаются объемы в миллионах кубических метров или километров. Высота слоя тока определяется по формуле

$$A = \frac{Q - T}{F \cdot 1000} \text{ мм,}$$

где Q — расход, м³/с; T — расчетное время; F — площадь бассейна реки, км².

При отсутствии данных гидрометрических наблюдений многолетние нормы стока вычисляют по карте изолиний среднего модуля годового стока рек СССР, по методу аналогии по эмпирическим формулам М. А. Великанова, Д. Л. Соколовского и Б. В. Полякова и по методам, основанным на применении уравнения водного баланса.

При коротком или недостаточном сроке наблюдений многолетние нормы стока вычисляют по графикам связи.

V. ГЕОЛОГИЯ

Геохронологические схемы. При инженерно-геологическом картировании анализируются геологическое строение и состав пород в соответствии с геохронологическими схемами. Схемы показывают распространение различных по возрасту осадочных, метаморфических и магматических образований с учетом времени их формирования (табл. 6—8).

Шкала абсолютного возраста, полученная радиоактивными методами (по В. В. Белоусову)

Эра	Период	Отдел	Абсолютный возраст, млн. лет	
Кайнозой	Четвертичный Q	Плейстоцен	3	
	Неоген N	Плиоцен	10	
		Миоцен	15	
Палеоген P		Олигоцен	40	
		Эоцен	55	
		Палеоцен	70	
Мезозой	Мел K	Поздний	100	
		Ранний	136	
	Юра J		Поздний	155
Средний			175	
Ранний			190	
Триас T	—	225		
Палеозой	Пермь P	—	280	
	Карбон C	—	345	
	Девон D		Поздний	360
			Средний	370
			Ранний	395
	Силур S	—	430	
Ордовик O		Поздний	450	
		Ранний	500	
Кембрий E	—	570		
Протерозой	Поздний Pz Рифей	Поздний Средний Ранний	1000	
			1350	
	Средний Ранний	— —	1900	
			2600	
Архей	—A	—	>3500	

Классификация метаморфических пород

Типы метаморфизма		Исходные горные			
		Известняк	Мергель	Глинистый сланец	Песчаник
Локаль- ный	Контактово-термальный	Мрамор	Пироксено-плагиокла-зовый роговик	Роговик	—
	Контактово-метасоматический	Скарн		—	—
	Автометаморфизм	—	—	—	—
	Околожиль-ный	Скарн			
Регио- нальный	Катакластиче-ский	—	—	—	—
	Низкотемпера-турной ступени	—	—	Филит, серицит-овый сланец	—
	Среднетемпера-турной ступени	Мрамор	Зеленый сланец	Слюдяной сланец	Кварцит
	Высокотемпе-ратурной ступени	Мрамор	Амфиболит	Гнейс	Кварцит
	Плутонический или инъекцион-ный	—	—	Мигматит	—

Горные породы. Земную кору слагают горные породы, разнообразные по происхождению и составу. Обычно они состоят из нескольких минералов, реже — из одного минерала. Горные породы делятся на три группы: магматические, метаморфические и осадочные.

Магматические, или изверженные, породы образуются в результате застывания и кристаллизации магмы при внедрении ее в земную кору или при излиянии на поверхность в процессе извержения вулканов. Свойства магматических пород зависят от положения остывающих магматических тел по отношению к поверхности земли, от условий температуры и давления, от состава магмы, скорости ее застывания и т. д. При классификации магматических пород важнейшим признаком является их химический и минеральный состав.

(по Н. А. Заварицкому)

породы				Ультраосновные породы
Гранит	Кислые вулканические	Основные и средние вулканические	Габбро-диориты	
—	Роговик	Пироксено-плагиоклазовый роговик	—	—
—	—	Скарн	—	—
Грейзен	Вторичный кварцит	Пропилит		Серпентинит
Грейзен		—	—	Тальковые породы, лист-венит
Катаклазит, милонит	Порфиритоид	Катаклазит, милонит		—
Филлонит	Кварцево-серицитовый сланец	Зеленокаменные породы	—	—
Слюдяной сланец, очковый гнейс	Кварцево-слюдяной сланец	Зеленый сланец альбито-эпифитовый амфиболит	—	—
Гнейс	Гранулит	Амфиболит, эклогит	—	—
Мигматит		—	—	—

Метаморфические породы образуются из магматических и осадочных путем их глубоких изменений и преобразования под влиянием высокой температуры, давления и химически активных веществ. Различают несколько видов метаморфизма (см. табл. 7).

Контактный метаморфизм наблюдается на контакте внедрившейся магмы с вмещающими горными породами, изменение которых происходит под влиянием теплового воздействия высокотемпературного (свыше 1000°) расплава магмы в горячих источниках (гидротермальный метаморфизм).

Региональный метаморфизм проявляется на огромных площадях в подвижных зонах земной коры (геосинклиналях) под влиянием высокой температуры и большого давления.

Региональная унифицированная и корреляционная стратиграфическая схема четвертичных верхнеплиоценовых отложений Русской равнины (по Е. А. Зарриной и И. И. Красному)

Общая шкала		Унифицированная схема европейской части СССР 1964 г.		Проект региональной унифицированной схемы 1976 г.						
Система	Основные подразделения	Надгоризонты, горизонты		Индексы	Зона	Раздел	Подраздел	Звено	Горизонт	Индексы
Четвертичная (антропогенная)	Голоцен	Современный		Q_{IV}^{1-4}	Четвертичная (антропогенная)	Плейстоцен (ледниковый плейстоцен)	Голоцен	Современный		Q_{IV}^{1-4}
	Верхнечетвертичные отложения	Валдайский	Осташковский	Q_{III}^4			Верхний	Валдайское	Верхне-Валдайский	Q_{III}^4
			Молого-Шекснинский	Q_{III}^3					Средне-Валдайский	Q_{III}^3
			Калининский	Q_{III}^2					Нижне-Валдайский	Q_{III}^2
	Микулинский		Q_{III}^1	Микулинский			Q_{III}^1			
	Среднечетвертичные отложения	Среднерусский	Московский	Q_{II}^4			Средний	Среднерусское	Московский	Q_{II}^4
			Одинцовский	Q_{II}^3					Одинцовский	Q_{II}^3
	Днепровский		Q_{II}^2	Днепровский			Q_{II}^2			
	Лихвинский		Q_{II}^1	Лихвинское			Лихвинский	Q_{II}^1		
	Нижнечетвертичные отложения	Окский	Беловежский				Q_I^2	Нижний	Днепровское	Окский
Q_I^1			Колкотовский	Q_I^3						
							Платовский	Q_I^2		
							Михайловский	Q_I^1		

Динамометаморфизм, или дислокационный метаморфизм, обуславливается давлением, которое испытывают породы под влиянием тектонических движений.

Осадочные породы обладают рядом характерных признаков: они слоисты, обычно пористы, в них содержатся ископаемые остатки животных и растений.

В соответствии с генетическими особенностями осадочные породы подразделяются на три группы: обломочного, химического и органогенного происхождения. Ниже приводятся классификации обломочных, глинистых и карбонатных пород.

Породы обломочного происхождения состоят из продуктов механического разрушения более древних пород. По величине и форме

Т а б л и ц а 9

Классификация обломочных и глинистых пород по размерам обломков (по Ю. М. Миханкову)

Размеры обломков, мм	Гранулометрический состав	Породы	Рыхлые породы	
			сложенные окатанными обломками	сложенные угловатыми обломками
1000 1000—500 500—250 250—100	} Глыбы Валуны Отломы	Крупно-обломочные (псефиты)	Глыбы	
			Валунник: крупный средний мелкий	Отломник: крупный средний мелкий
			Галечник: крупный средний мелкий	Щебень: крупный средний мелкий
100—50 50—25 25—10	} Галька Щебень		Гравий: крупный средний мелкий	Дресва: крупная средняя мелкая
10—5 5—2,5 2,5—1	} Гравий Дресва			
1—0,5 0,5—0,25 0,25—0,1	Песок	Мелкообломочные (псаммиты)	Песок: крупный средний мелкий	
0,1—0,05 0,05—0,01	Алеврит	Алевриты	Алеврит: крупный мелкий	
0,01—0,001 0,001	Пелит	Глинистые	Глины: крупнопелитовые и тонкопелитовые	

слагающих частиц, а также по степени их цементации они подразделяются на грубообломочные — псефиты; песчаные — псаммиты, алевроитовые — алевроиты и глинистые — пелиты (табл. 9).

Глинистые породы сложены частицами менее 0,01 мм и содержат около 30% тончайших частиц (менее 0,001 мм).

Особенности изучения карбонатных пород. Карбонатные осадочные горные породы — известняки и доломиты — подразделяются по вещественному составу, способу образования и структуре. Известняки и доломиты содержат нередко примеси глинистого, сульфатного, кремнистого, реже обломочного материала, образуя смешанные породы (табл. 10—12).

Т а б л и ц а 10

Классификация карбонатных пород ряда
доломит — магнезит — известняк
(по Е. К. Фроловой)

Порода	Содержание, %			Соотношение СаО (MnO)
	Доломит	Кальцит	Магнезит	
Известняк	5—0	95—100	—	>50,1
Слабодоломитовый известняк	25—5	75—95	—	9,1—50,1
Доломитовый известняк	50—25	50—75	—	4,0—9,1
Известковистый доломит	75—50	25—50	—	2,2—4,0
Слабоизвестковистый доломит	95—75	5—25	—	1,5—2,2
Доломит	100—95	0—5	—	1,4—1,5
Очень слабомагнезиальный доломит	100—95	—	0—5	1,25—1,4
Слабомагнезиальный доломит	95—75	—	5—25	0,80—1,25
Магнезиальный доломит	75—50	—	25—50	0,44—80
Доломитовый магнезит	50—25	—	50—75	0,18—0,44
Слабодоломитовый магнезит	25—5	—	75—95	0,03—0,18
Магнезит	5—0	—	95—100	0,0—0,03

Т а б л и ц а 11

Классификация доломитов (по Г. И. Теодоровичу)

Порода	Содержание, %		
	Доломит	Кальцит	Глинистый материал
Глинистый доломит	35—90	0—45	30—10
Слабоглинистый известковый доломит	90—45	5—47,5	5—10
Слабоглинистый доломит	95—85	0—5	5—10
Доломит	100—90	0—5	0—5
Слабоизвестковистый доломит	95—80	5—20	0—5
Известковистый доломит	80—65	15—35	0—5
Сильноизвестковистый доломит	67—47,5	30—50	0—5

**Классификация карбонатных пород ряда
известняк — доломит — глина
(по Г. И. Теодоровичу)**

П. рода	Содержание, %		
	Глинистый материал	Кальцит	Доломит
Глинистый известняк	30—40	35—90	0—45
Слабоглинистый доломитовый известняк	5—10	90—45	5—47,5
Слабоглинистый известняк	5—10	95—85	0—5
Известняк	0—5	100—90	0—5
Слабодоломитовый известняк	0—5	95—80	5—20
Доломитовый известняк	0—5	80—65	15—35
Сильнодоломитовый известняк	0—5	65—47,5	30—50

Впервые И. В. Поповым при построении инженерно-геологических карт было предложено принимать за основу деления пород принцип формационного и литолого-генетического анализа территории. По мнению И. В. Попова, формации в целом как геологические тела можно понять только на основании геологических исследований, прежде всего картирования.

Закономерности образования и распространения геологических формаций изучали и развили многие геологи — Н. С. Шатский, В. В. Белоусов, Н. М. Страхов, В. Е. Хаин, Л. Б. Рухин, Н. П. Херасков, Ю. А. Косыгин и др.

Н. С. Шатский понимает под формацией естественную ассоциацию горных пород, отдельные части которой парагенетически связаны друг с другом как в возрастном (переслаивание, последовательность), так и в пространственном отношении (фациальные смены).

По В. В. Белоусову каждая осадочная формация представляет собой комплекс фаций, отвечающий определенной стадии геотектонического цикла и определенной геотектонической зоне.

Н. М. Страхов считает осадочной формацией тип осадочного процесса, т. е. способ образования осадков в основных седиментационных зонах земли: полярной, гумидной, аридной, а также в азонально расположенных участках эффузивной деятельности.

По мнению В. Е. Хаина, формация — это закономерное и естественное сочетание (парагенезис) определенного набора горных пород — осадочных, вулканогенных и интрузивных, образовавшихся на определенных стадиях развития основных структурных зон земной коры.

Л. Б. Рухин понимает под формацией генетическую совокупность фаций, выделяющихся среди других особенностями своего состава или строения и устойчиво образующихся на более или менее значительном участке земной поверхности при определенном тектоническом и климатическом режиме.

Н. П. Херасков дает определение формациям, как естественным ассоциациям горных пород и связанных с ними минеральных образований, отдельные члены которых (породы, слои, толщи и т. д.) в результате парагенетических отношений тесно связаны друг с другом как в пространственном, так и в возрастном отношении.

По мнению Ю. А. Косыгина, формациями называют как конкретные геологические тела (или их совокупности), имеющие определенное местонахождение, протяженность, форму и геологический возраст, так и типы формаций, объединенных общими признаками, но имеющих различное местонахождение, протяженность и возраст.

В зависимости от преобладающего петрографического состава различают осадочные, осадочно-вулканогенные, магматические и метаморфические формации.

Особенности эндогенных режимов материков (по В. В. Белоусову)
(таблица дана в сокращенном виде)

Класс режимов	Режим	Стадия развития	Преобладающие осадочные формации	Примеры	
Геосинклинальный	Эвгеосинклинальный	Офиолитовая	Нижнетерригенная и глауководная, кремнистая (яшмовая)	Саяны в раннем палеозое; восточный склон Урала в раннем и среднем палеозое; Альпы J и K	
		Инверсионная	Верхнетерригенная (флишевая, каустобиолитовая)	Саяны, Северный Тянь-Шань S; восточный склон Урала C; Альпы Pg	
	Миогеосинклинальный	Компенсированного прогибания	Нижнетерригенная (аспидная, сменяющаяся мелководной, известняковой)	Большой Кавказ мезовой Mz; западный склон Урала Pz ₁₋₂ ; Балхашская зона в Центральном Казахстане в среднем палеозое	
		Инверсионная	Верхнетерригенная (флишевая)	Большой Кавказ Pg ₃ ; западный склон Урала C ₂	
	Парагеосинклинальный	—	—	Песчано-глинистая (нижнетерригенная), сменяющаяся известняковой, выше — верхнетерригенная	Донбасс; Дагестан
	Средних массивов	—	—	Песчано-глинистая и известняковая	Армянский массив в Закавказье

Орогенный	Эпигеосинклинальный	—	Молассовая и лагунная	Альпы; Кавказ
	Эпиplatformенный	—	Молассовая и лагунная	Тянь-Шань; Алтай; Саяны; Куэнь-Лунь
Рифовый		—	Молассовая и лагунная	Байкальский рифт
Платформенный	Древних платформ		Общая последовательность снизу верх: а) нижнетерригенная; б) известняковая; в) верхнетерригенная; г) молассовая и лагунная	Восточно-Европейская и Сибирская платформы
	Молодой платформы		Общая последовательность формаций та же, что на древних платформах	Урало-Сибирская эпигерцинская платформа; Западно-Европейская эпигерцинская и эпикаледонская платформы
Магматической активизации платформ	Платобазальтовый			Тунгусская синеклиза
	Центральных интрузий и трубок взрыва			Кольский полуостров на Балтийском щите; Анабарский щит
Окраинных материков	Атлантический		Песчано-глинистая, лагунная	Восточная окраина Северной и Южной Америки; северная окраина Евразии
	Тихоокеанский		Песчано-глинистая	Зона островных дуг восточной и юго-восточной Азии

Понятие геологические формации далеко не универсально в смысле размеров и сочетания признаков выделения.

По мнению Т. Н. Спичарского, тектонический режим — это совокупность геологических процессов, в результате которых возникает и развивается тот или иной тектонический регион и свойственная ему структура.

Тектонический режим непостоянен. Он зависит от времени и обстановки, в которой проявляется, и определяется состоянием вещества, слагающего мантию и кору на данном участке, а также состоянием фундамента, на котором регион возникает и развивается.

Тектонический регион — это блок (участок земной коры любых размеров), возникающий и развивающийся (формирующийся) в условиях определенного тектонического режима и характеризующийся определенной структурой.

В. В. Белоусов (табл. 13) по особенностям эндогенного режима материков подразделяет формации горных пород на: геосинклинальные, орогенные, платформенные и окраинных материков.

Основными факторами, определяющими облик формаций, являются тектонический режим, климатические условия и для некоторых формаций — вулканизм.

Под парагенезом минералов следует понимать более или менее резко выраженный способ их совместного нахождения — ассоциации. Горная порода является парагенезом минералов, а формация — парагенезом пород.

Для построения инженерно-геологических карт сотрудники ВСЕГИНГЕО выделяют следующие группы формаций: интрузивные вулканогенные, метаморфические, вулканогенно-осадочные, терригенные, терригенно-карбонатные, карбонатные, флишевые, соленосные, угленосные и молассовые. Для четвертичных отложений выделяются стратиграфо-генетические комплексы, принадлежащие к определенным генетическим подразделениям пород.

Отмечается принадлежность геологической формации к определенному структурному этажу, что является важной инженерно-геологической характеристикой свойств комплексов горных пород.

Для Атлантического пояса число структурных этажей соответствует числу главнейших циклов геотектонической складчатости — докембрийской, каледонской, варисцийской, киммерийской, альпийской, а для Тихоокеанского пояса — палеозойской, мезозойской, кайнозойской.

Структурный этаж образуется совокупностью пород, соответствующей крупным этапам развития земной коры. Границы между структурными этапами, как правило, выражаются перерывом, угловым несогласием или принципиальным изменением структурного плана. Крупные структурные этажи во времени соответствуют главнейшим циклам складчатости — каледонскому, герцинскому, киммерийскому и альпийскому.

Структурным ярусом называют структурный этаж, ограниченный в своем распространении отдельной структурно-фациальной зоной, т. е. участком земной коры с определенным режимом тектонического развития и типичными особенностями осадкообразования.

VI. ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Основные понятия и терминология. В настоящем разделе приводятся лишь наиболее важные понятия и термины, необходимые при инженерно-геологических исследованиях.

Водоносный пласт — это обводненная осадочная порода однородного петрографического состава, генезиса и возраста, сравнительно ограниченной мощности и значительного площадного распространения. Водоносный пропласток — это водоносный пласт малой мощности и незначительного площадного распространения.

Водоносная линза — то же, что и водоносный пласт, но линзообразной формы и сравнительно ограниченный по площади распространения.

Водоносный горизонт — обводненная пачка осадочных или вулканогенных пород однородного или разнородного петрографического состава, генезиса и

возраста, с различной водопроницаемостью, но с единой пьезометрической поверхностью, ограниченная снизу и сверху регионально выдержанными водоупорами.

Водоносный комплекс — обводненная толща осадочных или вулканогенных пород разнородного петрографического состава, генезиса и возраста с различной водопроницаемостью, с единой или разной пьезометрической поверхностью, не имеющая снизу четко выраженного регионального водоупора и местных водоупоров для выделения в ней водоносных горизонтов.

Воды спорадического распространения представляют собой скопление подземных вод в гидравлически разобщенных линзах и пропластках, залегающих на различной глубине и находящихся внутри осадочной водопроницаемой или слабопроницаемой толщи.

В предгорных впадинах, в синеклизах платформ и в крупных межгорных впадинах почти всегда имеется не один, а несколько водоносных горизонтов, которые можно объединить в водонапорную систему (по А. М. Овчинникову). Под этой системой следует понимать группу смежных выше и ниже залегающих водоносных горизонтов и комплексов, находящихся в пределах крупной единицы стратиграфической шкалы и приуроченных к отрицательной геологической структуре.

Выделять водонапорные системы среди высокометаморфизованных и изверженных пород не следует, так как встречающиеся среди них грунтовые воды зоны открытой трещиноватости не являются напорными, а воды глубоких тектонических трещин имеют локальное распространение и гидравлически изолированы.

Грунтовые воды — это подземные воды, образующие одну из самых верхних гидрогеологических зон. На формирование грунтовых вод влияют непосредственно: атмосфера, поверхностные воды, климат, почвенный и растительный покров, рельеф, состав водовмещающих пород и пород зоны аэрации.

Ф. П. Саваренский называет грунтовыми воды, находящиеся в первом от поверхности водопроницаемом слое и подстилающиеся первым водоупорным горизонтом.

Горизонт грунтовых вод — первый от поверхности земли постоянный во времени, регионально выдержанный водоносный горизонт, имеющий единую (или общую) гидравлическую поверхность, давление на которой, как правило, равно атмосферному. Верховодкой (по Ф. П. Саваренскому) обычно называют ближайшие к поверхности грунтовые воды, развитые на небольших площадях и непостоянные во времени.

Систематика подземных вод распространяется на следующие типы территории.

1. Для районов распространения осадочных, метаморфизованных или слабо метаморфизованных и частично вулканогенных пород: 1) верховодка, имеющая практическое значение и более или менее широкое распространение; 2) болотные воды и воды обводненных торфяников; 3) грунтовые воды ледниковых отложений (основной песчаной морены, надморенные, зандров, озов, конечноморенных образований — собственно конечных морен, кам, друмлинов и т. п.); 4) грунтовые воды речных, озерных и морских отложений (современных и древних аллювиальных образований и надпойменных террас, погребенных долин, современных и древних озерных отложений, современных и древних морских прибрежных осадков, песчаных островов, пролювиальных отложений и образований предгорных шлейфов); 5) грунтовые воды (лёссов и лёссовидных суглинков, бугристых песков и песчаных массивов, дюн и барханов); 6) линзы пресных вод — подклиманные, подтакрыные, низкогорных и предгорных равнин, подпесчаные, песчаных пустынь; 7) грунтовые воды дочетвертичных отложений, подразделяющиеся по возрасту водовмещающих пород; 8) воды спорадического распространения; 9) артезианские водоносные горизонты, подразделяющиеся по возрасту водовмещающих пород и (если это нужно) по признаку литолого-гидродинамической неоднородности (водоносных подгоризонтов, однородных, условно однородных и неоднородных водоносных горизонтов, в двух, трех и более артезианских водоносных горизонтах с указанием для всех водоносных горизонтов условий их дренирования — поверхностное, подземное и смешанное — и усло-

вий распространения — неограниченные, литологически или стратиграфически выклинивающиеся, замкнутые, подземного распространения); 10) водоносные комплексы, подразделяющиеся по возрасту водовмещающих пород, с указанием так же, как и для водоносных горизонтов, условий дренирования и ограниченности или неограниченности их распространения по падению слоев; 11) карстовые воды (регионального и локального распространения, карстовые реки и озера); 12) воды зон тектонических разломов; 13) воды лавовых потоков.

II. Для районов распространения изверженных и осадочных сильно метаморфизованных пород: 14) воды регионального распространения (грунтовые воды зоны открытой трещиноватости с подразделением их по петрографическому составу, генезису и возрасту водовмещающих пород, воды водоносных серий и свит с подразделением вод по возрасту и генезису водовмещающих пород, напорные воды погребенных зон открытой трещиноватости, воды элювия (дресвы) изверженных сильно метаморфизованных пород, напорные воды кристаллического фундамента); 15) воды локального распространения (воды зон тектонических разломов, воды глубоких открытых и закрытых трещин, т. е. выходящих и не выходящих на земную поверхность; воды контактов метаморфизованных пород с интрузивными телами, в том числе с дайками и жилами; воды стратиграфически несогласных контактов).

III. Для районов развития многолетнемерзлых пород: 16) воды регионального распространения (верховодка, имеющая практическое значение и более или менее широкое распространение — сезонных и временных таликов, надмерзлотные — грунтовые — воды с переменным годовым и фазовым режимом, подразделяющиеся по возрасту и генезису водовмещающих пород, постоянные грунтовые надмерзлотные воды, подразделяющиеся по возрасту и генезису водовмещающих пород, различные виды подмерзлотных вод); 17) воды локального распространения (воды многолетних и сезонных замкнутых таликов вдоль рек, надмерзлотные многолетние подрусловые воды [вдоль мелких рек, подрусловые многолетние воды вдоль крупных рек, часто соединяющиеся с подмерзлотными водами, воды надпойменных террас крупных рек, воды конусов выноса, горных осыпей и обвалов, воды отложений морских побережий, воды несквозных и сквозных таликов, подразделяющиеся на речные и озерные, межмерзлотные термокарстовые воды спорадического распространения, межмерзлотные воды — при ярусном строении многолетнемерзлых и талых пород — напорные, спорадического распространения и подрусловые).

Оценка качества воды по отношению к бетону производится по нормам и техническим условиям Н-114—54 (бетон гидротехнический; признаки и нормы агрессивности воды — среды введены с 1 апреля 1954 г.).

Для приготовления гидротехнического бетона выбирают цемент, по отношению к которому данная вода как среда не является агрессивной по всем установленным признакам агрессивности. Если вода признается агрессивной по отношению к выбранному цементу, хотя бы по одному признаку, то водостойкость бетона должна быть обеспечена специальными мероприятиями: гидроизоляцией, применением защитных оболочек, снижением степени агрессивности воды, дренажем. При отборе проб воды для определения агрессивности должны быть обеспечены условия, позволяющие получить правильные результаты определения свободной углекислоты, гидрокарбонатной щелочности (ионов HCO_3^-), pH.

Гидрогеологическое районирование было предложено в 1-м выпуске сводного тома монографии «Гидрогеология СССР» 1976 г. Согласно этому районированию выделяются гидрогеологические области платформ — системы бассейнов различного типа и размера с преобладающим распространением артезианских бассейнов. Гидрогеологические складчатые области — преобладающее распространение бассейнов трещинных и трещинно-пластовых вод. Артезианские бассейны преобладающего распространения пластовых подземных вод. Бассейны трещинных вод — бассейны преобладающего распространения трещинных, трещинно-жилых и карстовых вод. Бассейны трещинно-пластовых и пластово-трещинных вод — это промежуточные бассейны между двумя вышеназванными крайними типами бассейнов. Супербассейны — наложенные бассейны вулканогенных структур. Вулканогенные структуры могут быть наложены на артезианские бассейны и бассейны трещинных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абсолютная геохронология четвертичного периода* (Мат-лы совещ.). — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 159 с.
2. *Алисов Б. П., Полатарус Б. В.* Климатология. — М.: изд-во МГУ, 1974. — 384 с.
3. *Альтовский М. Е.* Методические указания по составлению гидрогеологических карт масштаба 1 : 1 000 000—1 : 500 000 и 1 : 200 000—1 : 100 000. — М.: Госгеолтехиздат, 1960. — 51 с.
4. *Альтовский М. Е.* Основы методики составления гидрогеологических карт общего назначения. — В кн.: Труды научно-техн. совещ. по гидрогеологии и инженерной геологии. М.: 1968, с. 32—39.
5. *Анапольская Л. Е., Гандин Л. С.* Теоретические основы строительной климатологии. — В кн.: Современные проблемы климатологии. — Л.: 1966, с. 263—279.
6. *Атлас текстур и структур осадочных горных пород. Обломочные и глинистые породы.* Ч. II. — М.: Госгеолтехиздат, 1962. — 578 с.
7. *Башенина Н. В., Геллерг Жоли Ф.* Унифицированная легенда для детальных геоморфологических карт. — В кн.: Геоморфологическое картирование. М., 1975, с. 18—69.
8. *Белоусов В. В.* Геотектоника. — М.: изд-во МГУ, 1976. — 396 с.
9. *Гидрогеология СССР.* 1-й выпуск сводного тома. — М.: Недра, 1976. — 656 с.
10. *Геологическое строение СССР.* Т. II. Тектоника. — М.: Недра, 1968. 533 с.
11. *Гуральник И. И., Дубинский Г. П., Мамиконова С. В.* Метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — 273 с.
12. *Климатический атлас СССР.* Тома I и II. — М.: Гидрометеиздат, 1960. — 287 с.
13. *Косыгин Ю. А.* Тектоника. — М.: Недра, 1969. 493 с.
14. *Ломтадзе В. Д.* Инженерная геология. Инженерная петрология. — Л.: Недра, 1970. — 495 с.
15. *Миханков А. М.* Геологическая съемка четвертичных отложений и геоморфологические исследования. — М.: Недра, 1973. — 283 с.
16. *Николаев Н. И.* Неотектонические структурные формы и их распространение на территории СССР. — Советская геология, 1962. — 39 с.
17. *Организация и производство работ по геологической съемке четвертичных отложений в м-бе 1 : 200 000 и 1 : 100 000.* — М.: Недра, 1971. — 94 с.
18. *Рухин Л. Б.* Основы литологии. — М.: Гостоптехиздат, 1961. — 179 с.
19. *Спиридонов А. И.* Геоморфологическое картирование. — М.: Недра, 1975. — 187 с.
20. *Теодорович Е. И.* Учение об осадочных породах. — Л.: Гостоптехиздат, 1958. — 269 с.
21. *Хаин В. Е.* Общая геотектоника. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1973. — 477 с.
22. *Херасков Н. П.* Тектоника и формации. — М.: Недра, 1967. — 404 с.

Глава вторая

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

I. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Грунт есть минеральная (органоминеральная) фазовая система, включающая в общем случае твердую, жидкую и газообразную фазы. Твердая фаза может быть представлена любой горной породой, горной породой и льдом, любой почвой (по Г. К. Бондарьку).

Определение гранулометрического состава связных и несвязных пород. К связным породам относятся глинистые и лёссовые, к несвязным — песчаные и крупнообломочные. Гранулометрическим составом называют содержание в породе частиц различной крупности (фракций), выраженное в процентах к массе абсолютно сухого образца.

При инженерно-геологических исследованиях размеры фракций подразделяются в соответствии с классификацией В. В. Охотина (табл. 14).

К глинистым относятся породы, у которых содержание глинистых частиц превышает 3%; к лёссовым — с содержанием более 50% частиц размером 0,05—0,005 мм и обладающих высокой пористостью и наличием макропор.

Гранулометрический состав связных грунтов определяется ареометрическим методом (ГОСТ 12536—67) или методом пипетки. Эти методы основаны на различной скорости оседания частиц в воде. Скорость оседания рассчитывается по формуле Стокса.

Средние пробы грунта для ареометрического анализа отбираются в зависимости от дисперсности грунтов в количестве: 20 г — для глин, 30 г — для суглинков, 40 г — для супесей.

Для анализа по ГОСТ 12536—67 пользуются стеклянным ареометром, позволяющим измерять плотность суспензий в диапазоне величин от 0,995 до 1,030 г/см³. Расчет диаметров частиц при ареометрическом анализе осуществляется с помощью номограммы Казагранде, в основу которой положена формула Стокса.

Гранулометрический состав характеризует содержание в породе первичных частиц. Поэтому при подготовке к гранулометрическому анализу пользуются методами, приводящими к предельной диспергации породы, т. е. разрушающими все микроагрегаты, содержащиеся в породе. Для подготовки связных пород к гранулометрическому анализу часто применяется простой и эффективный метод подготовки, заключающийся в растирании грунта в состоянии пластичного теста с насыщенным раствором пиррофосфорнокислого натрия. Рекомендуется также кипячение с аммиаком (в соответствии с ГОСТ 12536—67). Для получения предствления о природной дисперсности породы необходимо знать содержание и размер вторичных частиц (микроагрегатов). Подготовка к микроагрегатному анализу предусматривает только механическое воздействие на породу, обеспечивающее сохранение естественных микроагрегатов. Отношение содержания частиц <0,001 и <0,005 мм, полученное при гранулометрическом и микроагрегатном анализе, называется коэффициентом агрегированности — K_{agr} . Величина коэффициента агрегированности позволяет судить о характере преобладающих структурных связей в породах. Характеристика структурных связей в зависимости от K_{agr} частиц меньше 0,005 мм (по И. М. Горьковой):

Величина K_{agr} для
частиц 0,005 мм

1,0—1,2
1,3—2,0
Больше 2,0

Тип структурных связей

Стабилизационные и коагуляционные
Пластифицированно-коагуляционные
Цементационные (конденсационные и кристаллизационные)

Классификация гранулометрических элементов

Порода	Фракции	Размер частиц
Валуны (окатанные) и камни (угловатые)	Крупные Средние Мелкие	>80 см 80—40 » 40—20 »
Булыжник, галька (окатанные) и щебень (угловатый)	Булыжник и крупный щебень Щебень и крупная галька Мелкие галька и щебень	20—10 см 10—6 » 6—4 »
Гравий (окатанный) и хрящ (угловатый)	Крупный Средний Мелкий Очень мелкий	40—20 мм 20—10 » 10—4 » 4—2 »
Песок	Грубый Крупный Средний Мелкий Тонкий	2—1 мм 1—0,5 » 0,5—0,25 » 0,25—0,1 » 0,1—0,05 »
Пыль	Крупная Мелкая Иловатая	0,05—0,01 мм 0,01—0,005 » 0,005—0,001 »
Глина	Собственно глина Коллоидная глина	1—0,25 мкм <0,25 мкм

Гранулометрический состав несвязных пород определяется, как правило, с помощью ситового анализа (ГОСТ 12536—67), который заключается в последовательном просеивании породы через набор сит и взвешивании материала, остающегося на каждом сите. Для просеивания песчаных пород применяется стандартный набор сит с диаметром отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм. Величина навески устанавливается в зависимости от содержания в песчаной породе частиц размером более 2 мм:

Содержание частиц размером 2 мм, %	частиц более			
Навеска, г	<5	5—10	10—20	>20
	100	200	500	1000

Содержание каждой выделенной фракции A определяется как отношение массы фракции g_{ϕ} к массе воздушно-сухой навески, взятой для анализа $g_{н}$, выраженное в процентах

$$A = \frac{g_{\phi}}{g_{н}} \cdot 100\%$$

Гранулометрический состав пород для наглядности может быть представлен в виде: 1) кривой гранулометрического состава (интегральной кривой или кри-

вой однородности), построенной в полулогарифмическом масштабе; 2) циклограммы; 3) треугольника Фере. Кривая однородности позволяет подсчитать величину коэффициента неоднородности:

$$U_{\frac{60}{10}} = \frac{d_{60}}{d_{10}},$$

где $U_{\frac{60}{10}}$ — коэффициент неоднородности; d_{60} и d_{10} — диаметры частиц, меньше 10

которых в данной породе содержится соответственно 60 и 10% частиц по массе.

В грунтоведении связные и несвязные породы подразделяются на основании гранулометрического состава наиболее часто в соответствии с классификацией В. В. Охотина.

Определение плотности и объемной массы пород, расчет пористости. Плотностью породы γ_y называют отношение массы твердых частиц к их объему. Плотность породы не зависит от ее пористости и влажности, а зависит только от плотности слагающих породу минералов и присутствия органических веществ. Величина плотности песчано-глинистых пород лежит в интервале от 2,5 до 2,8 г/см³. Меньшие значения плотности имеют породы, содержащие гумус больше — породы, содержащие тяжелые минералы (пирит, окислы железа). Величина плотности глин, как правило, превышает величину плотности песков. Для приближенных расчетов можно пользоваться средними значениями плотности, полученными Д. Е. Польшиным на основе обработки значений плотности многочисленных образцов. По мнению Д. Е. Польшина, средние значения γ_y составляют (в г/см³): для песков 2,66; для супесей 2,70; для суглинков 2,71; для глин 2,74.

В нашей стране методика определения плотности пород стандартизирована (ГОСТ 5181—78). По ГОСТу плотность пород определяется пикнометрическим методом. При определении плотности пород, содержащих легководорастворимые соли, вместо воды пользуются аполлярной жидкостью, — чаще керосином, реже — бензином, толуолом. При расчете величины плотности по ГОСТу учитываются: масса воды, масса пикнометра, масса породы. Известен способ определения плотности, обладающий рядом преимуществ перед стандартным методом. Сущность метода сводится к гидростатическому взвешиванию навески сухой породы (~10 г) в керосине. Сухая порода помещается в коническую колбу 50 мл емкостью, заливается керосином и вакуумируется в течение 10 мин. Затем колба почти нацело заполняется керосином и взвешивается на технических весах I класса точности. Расчет величины плотности γ_y выполняется по формуле

$$\gamma_y = \frac{g \cdot \gamma_k}{g - g_1},$$

где g — масса сухой породы, г; g_1 — масса сухой породы в керосине, г; γ_k — плотность керосина, г/см³.

Объемная масса влажной породы γ_0 — это масса единицы объема породы при естественной влажности и пористости; она определяется по формуле

$$\gamma_0 = \frac{P}{V},$$

где γ_0 — объемная масса влажной породы, г/см³; P — масса пробы породы, г; V — объем пробы, см³.

Объемная масса дисперсных пород в большей степени зависит от их пористости и влажности и в гораздо меньшей степени — от минерального состава. Обычно величина объемной массы дисперсных пород лежит в пределах от 1,30 до 2,40 г/см³. Величина объемной массы влажной породы входит в целый ряд формул, применяемых в инженерных расчетах. Объемная масса влажной породы непостоянна и изменяется в зависимости от количества содержащейся в ней воды. Поэтому при проведении определений отмечается влажность породы, при которой находилась объемная масса. Более постоянной величиной является объемная

масса скелета породы — масса твердой компоненты в единице объема породы. Объемная масса скелета $\gamma_{ск}$ обычно вычисляется по формуле

$$\gamma_{ск} = \frac{\gamma_0}{1 + 0,01 \cdot W},$$

где W — влажность породы, %.

Объемная масса пород ненарушенного сложения обычно определяется следующими стандартными методами.

Метод режущих колец (ГОСТ 5182—78) применяется для некрошащихся связных пород и для песчаных ненарушенного сложения. Метод сводится к вырезанию точного объема породы с помощью стандартного режущего кольца и взвешиванию его.

Метод парафинирования (ГОСТ 5182—78) применяется для связных пород, склонных к крошению. Сущность метода состоит в простом и гидростатическом взвешивании куска породы округлой формы, покрытого пленкой парафина. Объемная масса песков с нарушенным сложением определяется при двух состояниях: предельно рыхлом и предельно плотном. По объемной массе песков при плотном $\gamma_{ск \max}$ и рыхлом $\gamma_{ск \min}$ сложениях судят о способности песка к уплотнению. Чем больше разность $\gamma_{ск \max} - \gamma_{ск \min}$, тем выше эта способность. Величины плотности пород и объемной массы скелета используются при расчете пористости породы.

Пористость — это суммарный объем всех пор в единице объема породы независимо от их величины, заполнения и характера взаимосвязи. Пористость определяется как отношение объема пор в породе $V_{п}$ ко всему занимаемому породой объему V , выраженное в процентах:

$$п = \frac{V_{п}}{V} \cdot 100\%$$

или к объему, занимаемому только грунтовыми частицами V_s , выраженное в долях единицы:

$$\varepsilon = \frac{V_{п}}{V_s}.$$

Величину $п$ называют пористостью, величину ε коэффициентом пористости, или приведенной пористостью.

Для расчета величины пористости $п$ и коэффициента пористости ε используют следующие формулы:

$$п = \frac{\gamma_y - \delta}{\gamma_y} \cdot 100\%; \quad п = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon};$$

$$\varepsilon = \frac{\gamma_y - \gamma_{ск}}{\gamma_{ск}}; \quad \varepsilon = \frac{п}{1 - п}.$$

Коэффициент пористости позволяет рассчитать показатель уплотненности связных грунтов K_d (по В. А. Приклонскому).

Показатели, характеризующие пористость пород, часто служат классификационными характеристиками, а также входят в формулы для расчета водопроницаемости и сжимаемости пород.

По величине коэффициента пористости песчаные породы делятся на ряд групп по плотности их сложения (табл. 15).

В инженерно-геологической практике для оценки плотности сложения песков применяется коэффициент плотности D :

$$D = \frac{\varepsilon_{рыхл} - \varepsilon}{\varepsilon_{рыхл} - \varepsilon_{пл}},$$

где ε — коэффициент пористости песка при естественном или искусственно созданном в насыпи сложении; $\varepsilon_{рыхл}$ — коэффициент пористости при предельно рыхлом сложении; $\varepsilon_{пл}$ — коэффициент пористости при плотном сложении.

Классификация песков по плотности в зависимости от величины коэффициента пористости (по СН и П II-15-74)

Пески	Плотные	Средней плотности	Рыхлые
Гравелистые			
Крупные и средней крупности	$\varepsilon < 0,55$	$0,55 \leq \varepsilon \leq 0,7$	$\varepsilon > 0,7$
Мелкие	$\varepsilon < 0,6$	$0,6 \leq \varepsilon \leq 0,75$	$\varepsilon > 0,75$
Пылеватые	$\varepsilon < 0,6$	$0,6 \leq \varepsilon \leq 0,8$	$\varepsilon > 0,8$

В зависимости от величины коэффициента плотности D выделяется следующая плотность сложения песков:

Плотность сложения	Коэффициент плотности
Рыхлое	0,0—0,33
Среднее	0,34—0,66
Плотное	0,67—1,0

Определение влажности и максимальной молекулярной влагоемкости. Влажностью называется отношение массы воды к массе скелета породы (к массе абсолютно сухой породы) * в данном объеме, выраженное в процентах; естественной влажностью — количество воды, содержащейся в порах пород в условиях их естественного залегания. Методика определения влажности стандартизирована (ГОСТ 5180—75).

Различается весовая (абсолютная) и относительная влажность породы. Влажность, выраженная по отношению к массе абсолютно сухой породы, представляет весовую, или абсолютную, влажность W . Относительная влажность — это отношение массы воды в породе к объему пор; она выражается в долях единицы. Относительная влажность называется также коэффициентом водонасыщения, или степенью влажности, так как она характеризует степень заполнения пор водой.

Расчет весовой влажности W и относительной влажности (коэффициента водонасыщения) G производят по следующим формулам:

$$W = \frac{q_1}{q} \cdot 100\%; \quad G = \frac{W \cdot \gamma_d (1 - n)}{n}$$

где q_1 — масса воды, г; q — масса абсолютно сухого грунта, г.

При коэффициенте водонасыщения, близком к единице, порода представляет собой двухфазную систему (минеральные частицы + вода); при коэффициенте водонасыщения меньше единицы — трехфазную (минеральные частицы + вода + воздух).

Песчаные породы классифицируются в зависимости от величины коэффициента водонасыщения (СН и П II-15—74):

Пески по степени влажности	Значение коэффициента G
Маловлажные	$0 < G \leq 0,5$
Очень влажные	$0,5 < G \leq 0,8$
Насыщенные водой	$0,8 < G \leq 1$

* Абсолютно сухим называется грунт, высушенный при температуре 105—107 °С до постоянной массы.

Максимальная молекулярная влагоемкость характеризует количество воды, удерживающееся в породе благодаря молекулярным силам сцепления между грунтовыми частицами и водой, т. е. она показывает содержание в породе связанной воды. Эта величина является условной и зависит от методики определения.

Максимальная молекулярная влагоемкость приблизительно соответствует влажности при нижнем пределе пластичности. В лабораторных условиях величина максимальной молекулярной влагоемкости определяется методами влагоемких сред и высоких колонн, иногда — методом центрифугирования. Наиболее распространен метод влагоемких сред, он применяется для песчаных и глинистых пород, не содержащих частиц крупнее 0,5 мм. Метод высоких колонн используется для песчаных пород.

Определение пластичности, липкости, набухания и водопрочности. Пластичность — это способность породы под воздействием внешних усилий изменять форму без разрушения или разрыва и сохранять приданную ей форму после устранения действия внешней силы. Пластичность наблюдается в определенном для каждой породы интервале влажности. Влажности, ограничивающие интервал проявления пластических свойств породы, называются пределами пластичности.

Под верхним пределом пластичности W_L понимается влажность, при увеличении которой порода теряет свои пластические свойства и переходит в текучее состояние (граница текучести). Нижний предел пластичности W_p характеризует минимальную влажность, при которой частицы способны перемещаться относительно друг друга без нарушения сплошности породы (граница раскатывания).

В СССР методика определения верхнего и нижнего пределов пластичности стандартизирована (ГОСТ 5183—77). Разность между величинами влажности породы при верхнем и нижнем пределах пластичности называется числом пластичности I_p . Число пластичности является важным классификационным показателем и используется для классификации глинистых пород (СНиП II-15—74):

Порода	Число пластичности
Супесь	$0,01 \leq I_p \leq 0,07$
Суглинок	$0,07 \leq I_p \leq 0,17$
Глина	$I_p > 0,17$

Деформационное поведение связной породы изменяется в зависимости от содержания в ней воды и характеризуется видами консистенции. Для оценки консистенции пределы пластичности сравниваются с естественной влажностью. Это сопоставление позволяет ориентировочно судить о состоянии пород в естественном залегании.

Для приближенной оценки консистенции связных пород в строительных целях пользуются показателем консистенции I_L :

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p}$$

При $I_L < 0$ породы называются твердыми, при I_L от 0 до 1 — пластичными, при $I_L > 1$ — текучими. Эта классификация весьма условна, так как она не учитывает уменьшения прочности за счет нарушения структуры грунтов, которое имеет место при определении пределов пластичности. Классификация связных пород по показателю консистенции по СНиП II-15—74 следующая:

Наименование глинистых пород по показателю консистенции

Показатель консистенции I_L

Супеси:
твердые
пластичные
текучие

$$I_L < 0$$

$$0 \leq I_L \leq 1$$

$$I_L > 1$$

Суглинки и глины:
твердые
полутвердые

$$I_L < 0$$

$$0 \leq I_L \leq 0,25$$

Наименование глинистых пород по показателю консистенции

Показатель консистенции I_L

тугопластичные

$$0,25 < I_L \leq 0,5$$

мягкопластичные

$$0,5 < I_L \leq 0,75$$

текучепластичные

$$0,75 < I_L \leq 1$$

текучие

$$I_L > 1$$

Липкость — это способность пород при определенном содержании воды прилипать к поверхности различных предметов. Липкость характеризуется тремя показателями: влажностью начального и максимального прилипания (%) и максимальным значением липкости МПа. Количественной характеристикой липкости является усилие МПа, требующееся для отрыва прилипшего предмета от породы при различных его влажностях. Величина максимального значения липкости для пород в зависимости от их состава изменяется от 0,002—0,003 до 0,05—0,055 МПа; наиболее часто она составляет 0,005—0,02 МПа.

Набухание — способность породы увеличивать объем при увлажнении — характеризуется тремя показателями:

1) *степенью, или деформацией, набухания*, определяемой по изменению объема, массы или высоты образца:

$$R_v = \frac{V_k - V_n}{V_n} \cdot 100; R_g = \frac{g_k - g_n}{V_n \cdot \gamma_v} \cdot 100; R_h = \frac{h_k - h_n}{h_n} \cdot 100,$$

где R_v , R_g , R_h — степень набухания, определенная соответственно по изменению объема, массы и высоты образца, %, V_n , V_k — начальный и конечный объем образца, см³; g_n , g_k — начальная и конечная масса образца, г; h_n , h_k — начальная и конечная высота образца, мм; γ_v — плотность воды, г/см³;

2) *влажностью набухания* — той влажностью, при которой прекращается процесс поглощения жидкости:

$$W_n = \frac{g_k - g_c}{g_c} \cdot 100,$$

где W_n — влажность набухания, %; g_k — масса полностью набухшего образца, г; g_c — масса абсолютно сухого образца, г;

3) *давлением набухания* — давлением, которое развивается при невозможности объемных деформаций в процессе набухания породы:

$$P = \frac{F}{S},$$

где P_n — давление набухания, МПа; F — сила набухания; H , S — площадь образца, см².

Наиболее распространено определение степени набухания по изменению высоты образца в приборах ПНГ, серийно выпускаемых нашей промышленностью.

По СНиП II-15-74 к набухающим относятся глинистые породы, величина относительного набухания которых в условиях свободного набухания (без нагрузки) $\delta_n \geq 0.04$;

$$\delta_n = \frac{h_{н.с} - h}{h},$$

где $h_{н.с}$ — высота образца после его свободного набухания в условиях невозможности бокового расширения в результате замачивания до полного водонасыщения; h — начальная высота образца природной влажности. При предварительной оценке по СНиП II-15-74 к набухающим относятся глинистые породы, у которых значение показателя Π

$$\Pi = \frac{e_L - e}{1 + e} \geq 0,3,$$

где ε_L и ε — соответственно коэффициенты пористости породы с природной влажностью и влажностью на границе текучести W_L :

$$\varepsilon_L = W_L \cdot \frac{\gamma_S}{\gamma_W}.$$

Водопрочность — это способность пород сохранять механическую прочность и устойчивость при взаимодействии с водой; она характеризуется размокаемостью и размываемостью.

Под размокаемостью понимается способность грунтов при погружении в спокойную воду терять связность и превращаться в рыхлую массу с частичной или полной потерей несущей способности. Размокаемость чаще характеризуется двумя показателями: 1) *временем размокания*; 2) *характером размокания*. В ряде случаев она определяется также *влажностью размокнувшего образца*.

Под размываемостью пород понимают их способность отдавать агрегаты и элементарные частицы движущейся воде, действующей на поверхность грунтовой толщи. Определение размываемости проводится в гидравлических лотках.

Определение коэффициента фильтрации. Фильтрацией называется движение воды в грунтах под действием напора.

Коэффициент фильтрации K_f является основной характеристикой водопроницаемости пород, он равен скорости движения воды при градиенте напора, равном единице. Для определения коэффициента фильтрации пород в лабораторных условиях имеется ряд приборов.

В последнее время определение коэффициента фильтрации песчано-глинистых пород производится с помощью универсальной трубки К-01, которая позволяет проводить опыты в условиях установившегося движения при напорных градиентах, лежащих в пределах от 0,1 до 1,0. Эта трубка применяется в основном для песчаных пород.

Коэффициент фильтрации рассчитывается в соответствии с законом Дарси по формуле

$$K_f = \frac{Q \cdot 864}{T \cdot F \cdot r \cdot I} \text{ м/сут.}$$

где Q — объем профильтровавшейся воды, см³; T — время фильтрации, с; F — площадь поперечного сечения образца, см²; I^* — напорный градиент; r^{**} — температурная поправка; 864 — коэффициент пересчета см/с, или м/сут.

Из числа приборов, позволяющих проводить определение коэффициента фильтрации переменным напором, в условиях неустановившегося движения, в настоящее время серийно выпускаются промышленностью приборы марки ПВ-2 и Ф-1М. Они применяются в основном для определения коэффициента фильтрации связных пород.

В приборе Ф-1М водопроницаемость определяется в кольце объемом 150 или 200 см³. Расход профильтровавшейся воды находится по повышению уровня воды в одном пьезометре или по его понижению в другом. Размеры колец и пьезометрических трубок выбираются в соответствии с видом грунта.

Прибор Ф-1М позволяет создавать любые градиенты в интервале от <1 до 50, что особенно важно при определении K_f таких слабодопроницаемых пород, как глинистые, в которых при малых напорах фильтрация может вообще не происходить.

Для глинистых грунтов существует понятие *начального градиента, или градиента порога фильтрации* $I_{\text{нач}}$.

* $I = \frac{H}{L}$, где H — разность напоров; L — длина пути фильтрации (высота образца, см).

** $r = 0,7 + 0,03t$.

Начальный градиент — это некоторая определенная для данной породы величина напора, до достижения которой в глинистых породах не может начаться процесс фильтрации. Наиболее высоким значением $I_{нач}$ обладает монтмориллонит, а наиболее низким — каолинит. Водопроницаемость некоторых пород в вертикальном и горизонтальном направлениях неодинакова.

Определение угла естественного откоса. Углом естественного откоса песков называют угол, образуемый поверхностью песчаного конуса с горизонтальной плоскостью при свободном высыпании песка на плоскость; он определяется с помощью приборов различных конструкций — УО, УВТ, УЕО. Угол естественного откоса песков является весьма грубым приближением к углу внутреннего трения и лишь в частном случае, когда давление на частицы песка очень мало и определяется только массой частиц, приблизительно равен ему.

Определение угла естественного откоса проводится в воздушно-сухом состоянии и под водой.

При расчете устойчивости реальных откосов из несвязных пород следует ориентироваться на наименьшее значение угла откоса, которое получается в результате увлажнения или динамического воздействия.

Определение сжимаемости и сопротивления сдвигу песчано-глинистых пород. Сжимаемостью породы называют ее способность к уменьшению объема под воздействием нагрузки.

При сжатии породы вертикальной нагрузкой в условиях свободного бокового расширения — при одноосном сжатии относительной деформацией e называют отношение величины абсолютного уменьшения высоты нагруженного образца Δh к его начальной высоте h_0 ; эти величины связаны уравнением

$$e = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot$$

Зависимость между напряжением σ и величиной относительной деформации e при нагрузках, меньших предела пропорциональности, определяется выражением

$$\sigma = E \cdot e,$$

где E — модуль упругости.

При сжатии образца вертикальной нагрузкой происходит увеличение диаметра d_0 его поперечного сечения на абсолютную величину Δd . Отношение $e_n = \frac{\Delta d}{d_0}$ есть относительная деформация в поперечном направлении. Отношение $e_n/e = \mu$ для данного материала является величиной постоянной и называется коэффициентом поперечной деформации — коэффициентом Пуассона.

В случае, если образец породы сжимается в жесткой обойме, препятствующей возникновению поперечных деформаций, возникает компрессионное сжатие; зависимость между напряжением и относительной деформацией будет несколько иной: $\sigma = E_k \cdot e$, где

$$E_k = \frac{1 - \mu}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} \cdot E.$$

Величина E_k называется компрессионным модулем упругости, который обычно больше модуля упругости. При сжатии породы вертикальной нагрузкой возникает напряжение σ , стенки обоймы испытывают боковое давление, равное σ_0 . Отношение $\frac{\sigma_0}{\sigma} = \frac{\mu}{1 - \mu}$ называется коэффициентом бокового распора и обозначается ξ .

В общем случае порода, находящаяся в основании сооружения, испытывает всестороннее (трехосное) сжатие. Возникшие при этом деформации, происхо-

дающие в трех взаимно перпендикулярных направлениях (оси главные), подчиняются обобщенному закону Гука:

$$e_1 = \frac{1}{E} [\sigma_1 - \mu (\sigma_2 + \sigma_3)],$$

$$e_2 = \frac{1}{E} [\sigma_2 - \mu (\sigma_1 + \sigma_3)],$$

$$e_3 = \frac{1}{E} [\sigma_3 - \mu (\sigma_1 + \sigma_2)].$$

Величину компрессионного сжатия породы определяют в компрессионных приборах. Применяются приборы Всесоюзного гидрогеологического треста (конструкции Знаменского), МОСГИДЭПа (конструкции Лурье), Н. Н. Маслова, МГРИ, Гидропроекта, ЦНИИ МПС и др. Испытания (в общей схеме) производятся в следующем порядке.

Образец, помещенный в компрессионный прибор-одеметр, последовательно нагружают, причем нагрузка последующей ступени, как правило, в два раза превышает нагрузку предыдущей. На каждой ступени нагрузки образец выдерживают до стабилизации уплотнения. При изучении упругих свойств и получения кривой набухания производят разгрузку образца (теми же ступенями). Обычно применяются следующие ступени нагрузки: 0,05; 0,1; 0,2; 0,4 МПа. Для слабоуплотненных пород первую ступень нагрузки уменьшают до 0,0125 или до 0,025 МПа, для плотных — увеличивают до 0,1—0,2 МПа. Возникающие деформации измеряют с помощью индикатора с ценой деления 0,01 мм. На каждой ступени нагрузки проводится ряд замеров: в момент приложения нагрузки и затем последовательно, через 5, 10, 20, 30 мин, через 1, 2, 3, 6 ч. Затем деформации измеряют в начале и в конце рабочего дня. Принято считать, что уплотнение на данной ступени нагрузки достигнуто стабилизации, если разница в отсчетах по индикатору составляет не более 0,01 мм за сутки — для глины и за 12 ч — для суглинков.

По полученным значениям строят график зависимости $e = f(\sigma)$. Кривую сжимаемости также строят в виде зависимости

$$e = f(\sigma),$$

где e — коэффициент пористости, соответствующий законченной во времени деформации от данной ступени нагрузки σ . Значение коэффициента пористости, соответствующее данной ступени нагрузки и данной относительной деформации, находят по формуле

$$e = e_0 - e(1 + e_0),$$

где e_0 — начальный коэффициент пористости.

Характеристикой сжимаемости обычно служит наклон кривой (спрямленной) в некотором выбранном диапазоне нагрузок. Он характеризуется коэффициентом уплотнения a , который вычисляется из отношения

$$a = \frac{e_1 - e_2}{\sigma_2 - \sigma_1} \text{ МПа}^{-1},$$

где σ_1 и σ_2 — нагрузка в начале и конце спрямленного участка; e_1 и e_2 — коэффициенты пористости, соответствующие нагрузкам σ_1 и σ_2 .

По величине коэффициента уплотнения при небольших нагрузках (0,1—0,2 МПа) глинистые породы относятся к сильносжимаемым ($a > 0,1$) и к практически несжимаемым ($a < 0,001$).

Для характеристики сжимаемости часто используют модуль общей деформации E_0 , который определяется из равенства:

$$E_0 = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{e_3 - e_1},$$

где e_1 и e_2 — относительные деформации, соответствующие нагрузкам σ_1 и σ_2 . Модуль общей деформации связан с коэффициентом уплотнения следующей зависимостью:

$$E_0 = \frac{1 + \varepsilon}{a}$$

В инженерно-геологической практике в качестве показателя сжимаемости часто используют модуль осадки e_p — фактическую величину относительной вертикальной деформации:

$$e_p = 1000 \cdot \frac{\Delta h}{h_0} \text{ мм/м.}$$

Модуль осадки показывает величину сжатия в миллиметрах слоя грунта высотой в 1 м при приложении к нему дополнительной нагрузки P (табл. 16).

Существует несколько методов определения величины деформации образца при компрессионных испытаниях: весовой — по изменению массы образца; объемный — по изменению объема образца; высотный — измерение деформаций образца по индикатору.

В настоящее время принято вести расчет компрессии по данным непосредственных измерений деформаций образца (высотный метод) с последующей корректировкой полученных данных по объемному методу или по методу трех кривых.

Непрерывным условием проведения компрессионных испытаний является моделирование работы породы в натуре. В зависимости от вида породы и условий строительства применяются различные схемы испытаний. К основным схемам проведения компрессионных испытаний относится изучение сжимаемости: 1) образцов естественной структуры при естественной влажности без заливки водой с предохранением образца от высыхания; 2) образцов естественной структуры после пребывания их в воде без возможности набухания (под арретиром); 3) образцов пород до определенного давления при естественной влажности, а затем после насыщения водой.

Процесс уплотнения породы во времени при постоянной нагрузке называется консолидацией и характеризуется зависимостью $e = f(t)$. График зависимости $e = f(t)$ называется *кривой сжатия*, или *кривой консолидации*.

Консолидация породы характеризуется ее *степенью* $Q = e_t / e_\infty$, где e_t и e_∞ — относительная деформация соответственно в данный момент времени и при времени t , равном бесконечности. Влияние на процесс консолидации основных факторов отражается на величине коэффициента консолидации c_v :

$$c_v = \frac{K_\phi (1 + \varepsilon)}{a \cdot \gamma_v},$$

где K_ϕ — коэффициент фильтрации; ε — коэффициент пористости; a — коэффициент сжимаемости; γ_v — объемная масса воды.

Таблица 16

Классификация пород по величине модуля осадки при $P = 0,3$ МПа
(по Н. Н. Маслову)

Модуль осадки, мм/м	Характеристика сжимаемости	Категория породы по сжимаемости
<1	Практически несжимаемый	0
1—5	Слабосжимаемый	I
5—20	Среднесжимаемый	II
20—60	Повышенно сжимаемый	III
>60	Сильносжимаемый	IV

Просадочность — способность некоторых пород резко уменьшать свой объем (давать значительные и сравнительно быстро протекающие дополнительные осадки) при замачивании их водой при определенном давлении.

Просадочность — типичное свойство лёссов и лёссовидных пород, но может наблюдаться также в мерзлых породах при их оттаивании, в сухих мелкозернистых песках при их увлажнении. Значение просадочности определяется в компрессионных приборах. Компрессионная кривая просадочной породы имеет характерный вид в результате скачкообразного изменения коэффициента пористости при замачивании. Степень просадочности лёссовых пород оценивается по величине *относительной просадочности* из отношения

$$i_{\text{пр}} = \frac{h - h'_p}{h_p},$$

где h'_p — высота образца породы после уплотнения нагрузкой P МПа; h_p — высота образца породы после замачивания под той же нагрузкой.

При $i_p \geq 0,02$ порода считается просадочной. Просадочность может характеризоваться также изменением коэффициента пористости в результате замачивания породы под нагрузкой P МПа:

$$\varepsilon_m = \varepsilon_p - \varepsilon'_p,$$

где ε_m — коэффициент макропористости; ε_p — коэффициент пористости до замачивания; ε'_p — коэффициент пористости после замачивания.

Коэффициент просадочности можно рассчитать также по формуле

$$i_m = \frac{\Delta h_2}{h - \Delta h_1},$$

где h — высота образца породы до испытания; Δh_1 — уменьшение высоты образца породы при естественной влажности под нагрузкой P МПа; Δh_2 — уменьшение высоты образца породы по той же нагрузкой после замачивания. Значения i_p , ε_m , i_m различны при разных нагрузках, поэтому для получения сравнимых характеристик породы принято определять просадочность при стандартной нагрузке 0,3 МПа. Для прогноза величины просадки ее определяют в зависимости от нагрузок, имеющих место в действительности.

С о п р о т и в л е н и е с д в и г у. Прочностные свойства пород определяются рядом показателей, относящихся к категории прямых расчетных показателей. Они непосредственно используются при различных инженерных расчетах для оценки несущей способности и устойчивости пород. К числу прямых расчетных показателей прочностных свойств относятся следующие: сцепление C , коэффициент и угол внутреннего трения $\tan \varphi$ и φ , сопротивление сдвигу τ , коэффициент и угол сдвига $\tan \psi$ и ψ , временное сопротивление сжатию σ_0 . Все эти показатели могут быть получены при изучении прочности пород лабораторными методами.

Прочность пород характеризуется способностью сопротивляться сдвигающим усилиям (сопротивлением сдвигу). Сдвигом называется процесс деформации и разрушения породы вследствие смещения одной ее части относительно другой. Сдвиг по данной площадке вызывается касательными напряжениями к ней. Сопротивлением сдвигу называется минимальная величина касательных напряжений, вызывающая сдвиг. Сопротивление сдвигу зависит от величины вертикальной (нормальной) нагрузки σ , приложенной к образцу. Прочность пород оценивается в основном по теории Мора. Согласно этой теории разрушение тела происходит при определенном предельном соотношении нормальных и касательных напряжений.

Для данного состояния породы каждому значению нормальной нагрузки σ МПа соответствует свое значение сдвигающего усилия τ МПа, отнесенного к единице поперечного сечения образца. Предельное состояние для любой породы по теории Мора определяется некоторой кривой в плоскости σ — τ . Зависимость $\tau = f(\sigma)$ называют *диаграммой сдвига, паспортом прочности, или предельной огибающей Мора*. Условием разрушения является касание предельной

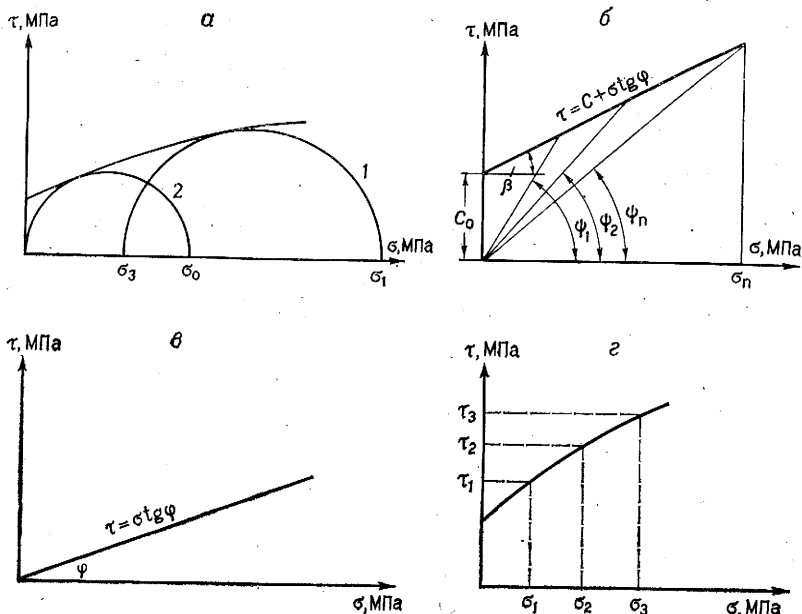


Рис. 4. Предельные огибающие для грунтов:

а — условие разрушения напряженного образца (1 — при трехосном сжатии, 2 — при одноосном сжатии); б — диаграмма сдвига глинистых грунтов; в — диаграмма сдвига песчаных грунтов; г — построение предельной огибающей методом одноплоскостного среза

огибающей круга Мора, построенного на разности максимального и минимального главных напряжений $\sigma_1 - \sigma_3$ — трехосное сжатие (рис. 4, а, кривая 1). При $\sigma_3 = 0$, $\sigma_1 = \sigma_0$ круг Мора касается оси ординат; это указывает на существование в породе одноосного напряженного состояния (рис. 4, а, кривая 2). В общем случае диаграмма сдвига является криволинейной. В механике грунтов обычно аппроксимируют предельную огибающую прямой, так как кривизна ее в пределах наиболее часто встречающихся в строительной практике нагрузок весьма незначительна. Прямая (рис. 4, б) определяется уравнением Кулона:

$$\tau = c_0 + \sigma \operatorname{tg} \varphi.$$

При значениях напряжений, которые на графике лежат выше этой кривой (прямой), породы разрушаются. Величины c_0 (сила сцепления на единицу площади сдвига) и φ являются параметрами данной породы. Они имеют условный характер. В этом случае сопротивление сдвигу можно рассматривать как состоящее из двух частей: сцепления — величины, не зависящей от вертикального давления, и сопротивления внутреннего трения — величины, зависящей от вертикального давления. Принимается, что в связных породах сопротивление сдвигу обусловлено силами внутреннего трения и сцепления, а в несвязных — только силами внутреннего трения ($c_0 = 0$). При $c_0 = 0$ уравнение Кулона приобретает вид $\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi$, а прямая проходит через начало координат (рис. 4, в). Если известна предельная огибающая, то могут быть найдены и другие показатели прочности: коэффициент сдвига

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\tau}{\sigma}$$

и временное сопротивление сжатию σ_0 (рис. 4, а). Временное сопротивление сжатию (для глинистых пород эту величину называют также сопротивлением раздавливанию) — простейшая характеристика прочности породы. В инженерно-геологической практике величиной временного сопротивления сжатию характеризуют так называемую механическую прочность. На характер предельной огибающей для водонасыщенных пород весьма существенное влияние оказывают условия оттока воды. Общепринятой величиной, отражающей влияние этих факторов, в настоящее время является поровое давление. С учетом порового давления уравнение Кулона приобретает вид:

$$\tau = c_0 + \sigma_3 \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad \sigma_3 = \sigma - p,$$

где σ_3 — эффективное напряжение, воспринимаемое скелетом породы; p — поровое давление (давление в свободной воде, содержащейся в порах породы).

В лабораторных условиях сопротивление сдвигу пород определяется тремя основными методами: методом среза (чаще всего одноплоскостного), методом одноосного сжатия и методом трехосного сжатия. Первый метод позволяет определять лишь сопротивление сдвигу. Второй и третий методы дают возможность определять как сопротивление сдвигу, так и сжимаемость.

Следует иметь в виду, что факторы, способствующие консолидации (хороший водоотток, медленный рост нагрузки, предварительное уплотнение и т. п.), во всех случаях увеличивают прочность породы — дают более высокие расположение предельной огибающей. Поэтому даже в пределах одного метода условия испытания должны выбираться с учетом реальных условий работы породы в основаниях сооружений, откосах выемок и т. п.

В настоящее время для каждого метода определения сопротивления сдвигу разработан ряд стандартных схем испытаний.

Методика и аппаратура для определения сопротивления сдвигу выбирается также с учетом текстурно-структурных особенностей пород. Так, одноплоскостной срез можно рекомендовать для испытания слоистых пород с ослабленными связями по плоскостям напластования, в которых при взаимодействии с сооружением действительно может проявиться плоский сдвиг, а также для оценки устойчивости сооружений по схеме плоского сдвига. В остальных случаях (при изотропном строении грунтовой толщи, при моделировании выпора грунта из-под подошвы сооружения и др.) более достоверные данные о прочности могут быть получены путем испытаний в стабилометрах. При выборе методики определения сопротивления сдвигу полезно учитывать соотношение между величинами структурной прочности пород и интенсивности внешнего воздействия на породу, что позволит более обоснованно подойти к выбору нагрузки предварительного уплотнения и нагрузки при опыте. Выбор метода исследования прочности в большой степени зависит также от стадии изысканий. При региональных исследованиях, выполняемых на этапе перспективного проектирования, основным методом оценки может стать метод одноосного сжатия. Вследствие своей несложности и быстроты выполнения определений этот метод может быть весьма эффективным при сравнительной оценке прочностных свойств пород на больших территориях.

При детальных исследованиях, выполняемых на этапе строительного проектирования, целый ряд вопросов, связанных с моделированием условий, которые могут возникнуть в результате изменения природной обстановки, можно решить при испытании пород методом трехосного сжатия.

В практике отечественных инженерно-геологических лабораторий из перечисленных методов широко применяется метод одноплоскостного среза.

Одноплоскостной срез. Одноплоскостным срезом называется прямой срез образца породы по фиксированной плоскости. Известно несколько конструкций приборов одноплоскостного среза. Наиболее распространенным и хорошо зарекомендовавшим себя является прибор одноплоскостного среза (модель ГГП-30) конструкции Маслова—Лурье в модернизации Гидропроекта. Образец породы, помещенный в разъемное кольцо и затем — в обойму (также разъемную), сдвигается усилием τ при вертикальной прижимающей нагрузке. При заданном вертикальном напряжении σ определяют линейное сдвигающее напряжение τ , при котором возникает незатухающее скольжение одной части образца по другой. По полученным парам значений σ и τ строят предельную

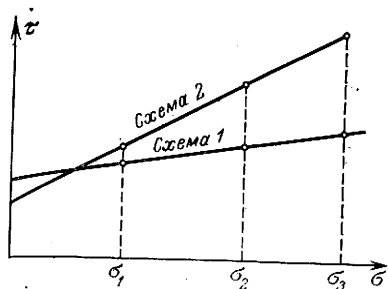


Рис. 5. Предельные огибающие для испытаний по схемам неконсолидированного (схема 1) и консолидированного (схема 2) сдвига

огibaющую — диаграмму сдвига, отвечающую выражению $\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi$ (для глинистых пород) и $\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi$ (для песчаных пород). Для получения достоверной диаграммы сдвига сопротивление сдвигу, как правило, определяется при трех разных вертикальных нагрузках σ_1 ; σ_2 ; σ_3 . Сдвигающую нагрузку τ увеличивают

ступенями, величина которых определяется выбранной схемой испытания и характером породы. Значения $\operatorname{tg} \varphi$ и c_0 вычисляют путем обработки экспериментально полученных значений τ и σ по методу наименьших квадратов. В зависимости от задач исследований выбирают ту или иную схему испытаний на сдвиг методом среза. Из всей совокупности схем можно выделить две основные: испытания по схемам неконсолидированного и консолидированного сдвига (рис. 5)*. Сдвиг по схеме 1 проводят без предварительного уплотнения образцов с сохранением естественной влажности и плотности в процессе опыта. В природных или искусственно созданных условиях эта схема соответствует или работе породы под воздействием собственного веса (в карьерах, откосах насыпей и выемок, на оползневых склонах), или наличию переуплотненной породы, на которой не скывается приложение внешней нагрузки.

Консолидированный сдвиг (схема 2) проводят после предварительного уплотнения образцов разными нагрузками до полной стабилизации. Он осуществляется при нагрузках, равных нагрузкам предварительного уплотнения. Такой сдвиг позволяет оценить поведение породы в основаниях сооружений при их длительной эксплуатации. Известны также промежуточные схемы испытаний. В зависимости от скорости приложения сдвигающего усилия различают быстрый, ускоренный, замедленный и медленный сдвиги.

Кроме того, существует целый ряд специальных схем, назначение которых предусматривается особым заданием: сдвиг по заготовленной плоскости, сдвиг после предварительного уплотнения (или набухания), под проектной нагрузкой, сдвиг после частичной разгрузки, сдвиг глинистых пород с нарушенной структурой. Из сдвиговых приборов широко известна портативная модель сдвигового прибора ВСВ-1 (настоольного типа) конструкции Гидропроекта, она применяется как в лабораторных, так и в полевых условиях и модель ВСВ—25.

Одноосное сжатие. В практике лабораторных и полевых инженерно-геологических изысканий целого ряда зарубежных стран повсеместно используется чрезвычайно простой и в то же время в достаточной степени информативный метод изучения механических свойств глинистых пород при одноосном сжатии образцов. До самых последних лет этот метод не находил сколько-нибудь заметного применения в инженерно-геологических изысканиях, проводимых в Советском Союзе.

Метод одноосного сжатия является стандартным при определении механической прочности пород, характеризующейся временным сопротивлением сжатию. Этим методом можно также определять сопротивление сдвигу и устанавливать типы деформаций пород и показатели их деформируемости.

Одноосное называется сжатие образца в условиях свободного бокового расширения. Цилиндрический образец породы последовательно увеличивающейся нагрузкой доводят до разрушения; замеряют угол наклона поверхности разрушения к горизонтали α . Рассчитывают напряжение, при котором произошло разрушение или началось интенсивное течение образца σ_0 МПа — временное сопротивление сжатию. Одновременно может быть записана диаграмма «продоль-

* Испытания по схемам консолидированного и неконсолидированного сдвига в настоящее время гостированы (ГОСТ 12248—78).

Рис. 6. Диаграмма Мора при одноосном сжатии:

a — не равно нулю; b — равно нулю

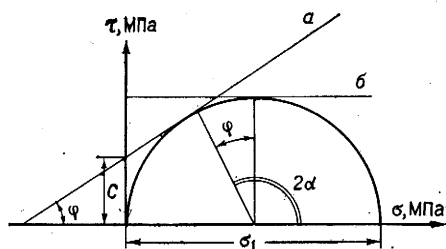
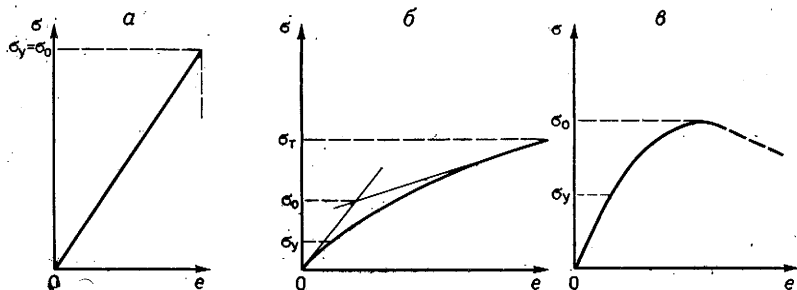


Рис. 7. Диаграмма сжатия грунта:

a — хрупкого; b — пластического; $в$ — хрупко-пластического

↓



ная деформация—напряжение» $e = f(\sigma)$ и измерены поперечные деформации. По полученным величинам σ_0 и α легко находится прямолинейная огибающая — диаграмма Мора $\tau = c_0 + \sigma \operatorname{tg} \varphi$. Построение этой прямой сводится к проведению касательной к окружности диаметром $\sigma_1 = \sigma_0$ через точку, радиус-вектор к которой образует угол 2α с осью σ (рис. 6).

Вычисление σ_0 производится по формуле

$$\sigma_0 = \frac{F}{S} \text{ МПа,}$$

где F — разрушающее усилие на образец H ; S — площадь среднего по высоте сечения в момент разрушения, см^2 .

При хрупком типе разрушения S практически равно S_0 . При пластическом и хрупко-пластическом типах разрушения можно принимать

$$S = \frac{S_0}{4} \left(3 \sqrt{\frac{1}{1-e_1} - 1} \right)^2,$$

где S_0 — начальная площадь сечения; e_1 — относительная продольная деформация в долях единицы.

Определенная величина временного сопротивления сжатию (одноосного предела текучести, сопротивления раздавливанию, прочности на одноосное сжатие) является важной характеристикой прочностных свойств породы и может использоваться в самых различных целях. В ходе опыта может быть записана диаграмма «продольная деформация — напряжение» $e = f(\sigma)$, позволяющая определять модули общей деформации и упругости E_0 и E и тип деформационного поведения породы. По характеру поведения образца в процессе испытания, включая и поведение после момента разрушения, целесообразно выделить следующие пять типов деформаций глинистых пород при одноосном сжатии: хрупкий, хрупко-вязкий, хрупко-пластический, пластическо-вязкий и пластический. Основные три типа деформаций (хрупкий, пластический и хрупко-пластический) легко выделяются по характеру диаграммы $e = f(\sigma)$ (рис. 7). При хрупком типе разрушения деформация образца при сжатии носит упругий характер до величины предела упругости σ_y . Затем наступает быстрое разрушение образца с потерей сплошности и прочности. Практически предел упругости для хрупких образцов

совпадает с пределом прочности ($\sigma_y = \sigma_0$). При пластическом типе разрушения вслед за пределом упругости σ_y наступает пластическое течение, не приводящее к разрушению образца. Если не происходит нарушения целостности образца, то усилие растет пропорционально увеличению площади его сечения, а диаграмма $e = f(\sigma)$ с момента, соответствующего пределу текучести σ_T , представляет собой наклонную прямую. Фактически деформация в этом случае протекает при постоянном отношении усилия к площади поперечного сечения, без увеличения нагрузки.

Когда упругие свойства породы незначительны, участок пропорциональности деформаций нагрузкам ($0\sigma_y$) невелик и диаграмма сжатия с самого начала носит криволинейный характер, подобный участку $\sigma_y - \sigma_T$.

В тех случаях, когда при разрушении четко выявляется плоская площадка скольжения, метод одноосного сжатия позволяет определять величины сцепления c_0 и угла внутреннего трения φ . С этой целью замеряют угол наклона поверхности площадки α к горизонтали. По определенным величинам σ и α находят прямолинейную огибающую диаграмму Мора (см. рис. 6):

$$c_0 = \frac{\sigma_0}{2 \operatorname{tg} \alpha}; \quad \varphi = 2\alpha - 90^\circ.$$

При малых углах внутреннего трения, когда $\alpha = 45^\circ$, а $\varphi = 0$, сцепление численно равно сопротивлению сдвигу, т. е. $c_0 = \frac{\sigma_0}{2} = \tau$. Эту зависимость широко используют в зарубежной практике для получения расчетных показателей сопротивления сдвигу мягких глинистых пород. Для некоторых пород, например для лёссовидных суглинков, возможно разрушение образца по плоскости, параллельной оси образца. Это является следствием неоднородности напряженного состояния образца, а именно — следствием появления растягивающих тангенциальных напряжений в средней части образца. Поскольку хрупкая порода сопротивляется растяжению значительно хуже, чем сжатию, то сравнительно небольшие растягивающие напряжения вызывают появление вертикальных трещин разрыва и разрушение образца за счет раскрытия этих трещин. В некоторых случаях площадка скольжения формируется в виде комбинаций вертикальных и наклонных поверхностей скола. При этом среднее значение угла α для площадки оказывается повышенным, что приводит к завышению угла φ . Это является одной из причин, по которым определение угла внутреннего трения методом одноосного сжатия дает для некоторых определенных типов пород завышенные значения.

Одноосное сжатие выполняют на образцах дисперсных пород, способных держать вертикальные стенки. Испытаниям подвергают образцы с ненарушенной и нарушенной структурой (в виде паст заданной плотности и влажности) с отношением диаметра к высоте 1 : 2 или 1 : 1,5. Грунты со скрытотекучей консистенцией (типа ильдиевых глин) и мягкопластичные рекомендуются испытывать на более низких образцах ($d : h = 1 : 1,5$) во избежание искажения результатов за счет потери устойчивости вследствие изгиба образцов.

Время проведения стандартных испытаний на одноосное сжатие составляет не более 5—7 мин. Однако скорость проведения опыта на сжатие в зависимости от задач исследований может изменяться.

Отношение величины временного сопротивления сжатию образца с естественной структурой σ_e к величине сопротивления сжатию образца с нарушенной структурой σ_n с той же объемной массой и влажностью называется коэффициентом структурной прочности:

$$K_{\text{СП}} = \frac{\sigma_e}{\sigma_n}$$

(по Гольдштейну) или чувствительностью (по Скемптону). По степени чувствительности ($K_{\text{СП}}$) породы подразделяются (по Ю. Г. Трофименкову) на: малочувствительные, 1—4; чувствительные, 4—8; сверхчувствительные, >8 .

Более жесткие количественные критерии прочности структурных связей дает величина, обратная чувствительности — показатель структурной прочности

$$L = \frac{\sigma_{\text{н}}}{\sigma_{\text{с}}}$$

По величине показателя структурной прочности Г. К. Бондарик разделяет глинистые породы на следующие группы:

Значение показателя структурной прочности L	Прочность структурных связей
> 1	Отсутствует
$1 - 0,5$	Низкая
$0,5 - 0,2$	Средняя
$0,2 - 0$	Высокая

По прочности на одноосное сжатие выделяются следующие типы консистенции глинистых пород:

Консистенция	Прочность, МПа
Очень мягкая	$< 0,025$
Мягкая	$0,025 - 0,05$
Среднежесткая	$0,05 - 0,1$
Жесткая	$0,1 - 0,2$
Очень жесткая	$0,2 - 0,4$
Чрезвычайно жесткая	$> 0,4$

Такая оценка консистенции дает характеристики, которыми можно пользоваться лишь с учетом геолого-генетических особенностей исследуемых пород. В ряде случаев величина прочности на одноосное сжатие используется для непосредственной оценки предельной несущей способности пород. При этом предельная несущая способность на единичную площадь (g_d, g_{dr}, g_{do}) определяется соотношениями: для ленточного фундамента $g_d = 2,85\sigma_p$; для круглого или квадратного фундамента $g_{dr} = 3,7\sigma_p$; для прямоугольного или удлиненного фундамента, имеющего ширину B и длину L $g_{do} = 2,85\sigma_p \left(1 + 0,3 \frac{B}{L}\right)$, где

σ_p — временное сопротивление сжатию, Па (прочность на одноосное сжатие).

Метод одноосного сжатия для глинистых пород может применяться в следующих целях: 1) для классификационной оценки пород по прочности и деформационному поведению при инженерно-геологических съемках; 2) для инженерно-геологического расчленения разрезов и, в частности, для определения положения поверхности оползня (ослабленных зон в теле оползня); 3) для определения структурной прочности пород; 4) в качестве предварительного испытания для назначения диапазона нагрузок при сдвиговых и трехосных испытаниях. С помощью метода одноосного сжатия могут быть получены данные для выделения отдельных разновидностей пород и отбора типичных образцов для более углубленного исследования. Применяя метод одноосного сжатия, в минимально короткие сроки можно получить прогноз поведения пород, используемых при строительстве с нарушением естественной структуры, например, в качестве материала сооружений.

Разработка специальных приборов для одноосного сжатия глинистых пород началась в нашей стране сравнительно недавно. Следует отметить лабораторный пресс одноосного сжатия П-12М. Он относится к классу приборов с управляемой нагрузкой. Максимальное усилие, развиваемое прессом, равно 120 Н. Работа на прессе полностью автоматизирована. Первым серийным прибором является прибор одноосного сжатия ИПП-10. Выпуск его освоен опытным заводом геолого-разведочной аппаратуры и средств автоматизации СКБ МГ СССР.

Еще более простым в употреблении является прибор одноосного сжатия ОСВ-1, опытные образцы которого разработаны, изготовлены и испытаны ВСЕГИНГЕО. Прибор предназначен для массового определения механических свойств глинистых пород при инженерно-геологических изысканиях.

Трехосное сжатие. Под трехосным сжатием лабораторной практике понимают такое напряженное состояние, при котором из трех сжимающих напряжений два, создаваемые обычно гидравлическим путем, равны друг другу ($\sigma_2 = \sigma_3 \neq 0$). Цилиндрический образец, помещенный в тонкую резиновую оболочку (0,15—0,20 мм), подвергают всестороннему боковому обжатию жидкостью ($\sigma_2 = \sigma_3$). Вертикальное сжимающее усилие передается на верхний торец образца с помощью штока. Приборы, осуществляющие такое напряженное состояние, называются стабилометрами. Основным преимуществом трехосных испытаний перед другими методами является возможность более правильного воспроизведения природного напряженного состояния и условий работы породы под сооружениями. При трехосном сжатии боковые нагрузки действуют на образец независимо от вертикальной. Весьма существенной является возможность измерения порового давления, которое возникает в процессе нагружения и изменяется во времени.

Стабилометры позволяют испытывать образец по закрытой системе, т. е. без оттока воды в процессе опыта, а также с определением объема поступающей или отжимаемой из образца воды. Это позволяет моделировать различные напряженное состояние, исследовать соотношения между сопротивлением сдвигу и эффективными нормальными напряжениями, а также получать прогноз величины порового давления для наиболее критических этапов состояния сооружения в процессе строительства и эксплуатации.

Предельную кривую Мора находят как огибающую кругов Мора, отвечающих разрушению. Для построения круга Мора на оси абсцисс откладывают максимальное и минимальное главные напряжения σ_1 и σ_3 и на их разности как на диаметре строят окружность. Если σ_3 — боковое давление на образец, равное давлению в камере, то вертикальное давление

$$\sigma_1 = \frac{F}{S} + \sigma_3,$$

где F — вертикальное усилие, Н; S — площадь поперечного сечения образца, см².

Если для каждого круга Мора будет определено поровое давление, то можно построить предельную огибающую в эффективных напряжениях.

Для трехосных испытаний более удобно представлять условие разрушения в виде соотношения, связывающего непосредственно главные напряжения, существующие в момент разрушения. Для породы с прямолинейной огибающей $\tau = c_0 + \sigma \operatorname{tg} \varphi$ условие разрушения в главных напряжениях имеет вид:

$$\sigma_1 = A\sigma_3 + \sigma_0.$$

Величины σ_0 (теоретический предел прочности при одноосном сжатии) и A (тангенс угла наклона прямой) определяются в результате построения (рис. 8).

Эти величины связаны с показателями прочности c_0 и φ следующими соотношениями:

$$\sigma_0 = \frac{2 \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \cdot c_0; \quad A = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{A - 1}{2\sqrt{A}}; \quad c_0 = \frac{\sigma_0}{2\sqrt{A}}.$$

По принципу работы приборы трехосного сжатия разделяют на два типа: сдвиговый и компрессионный. Стабилометры сдвигового типа (рис. 9) предназначены только для определения показателей прочности в результате разрушения образцов. Стабилометры компрессионного типа, помимо разрушения образцов, позволяют проводить их сжатие в условиях невозможности бокового расширения. С помощью таких стабилометров определяют комплекс механических свойств — как прочностные, так и деформационные характеристики породы. Основное конструктивное отличие стабилометров этих типов заклю-

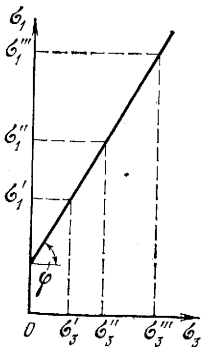


Рис. 8. Построение условия разрушения по данным трехосных испытаний ($\operatorname{tg} \varphi = A$).

чается в различном соотношении диаметров штоков, передающих вертикальную нагрузку на образец, с диаметрами образцов. В стабилометрах сдвигового типа диаметр штока меньше диаметра образца. В таких приборах боковое давление на образец является и всесторонним. В стабилометрах компрессионного типа диаметр штока равен диаметру образца, в результате чего давление, создаваемое в камере прибора, является только боковым. Стабилометры, как правило, оборудуются устройствами для измерения порового давления.

Наиболее широко распространены стабилометры сдвигового типа. Известны разнообразные конструкции подобных приборов: ЛИИЖТа, ДИИТа и С-1. Стабилометры ЛИИЖТа и ДИИТа относятся к классу приборов с управляемой нагрузкой, а стабилометр С-1 — к классу приборов с управляемой деформацией. Вся работа стабилометра С-1 автоматизирована, за исключением предварительных операций — наполнения камеры давления водой (самотеком) и укладки грузов на плавающий поршень. Стабилометр С-1 предназначен для массовых лабораторных испытаний прочности песчано-глинистых пород. Прибор имеет три сменных камеры давления для испытания образцов различного диаметра и высоты. Для измерения поперечных деформаций применяется эластичное измерительное кольцо, обеспечивающее точность отсчета 0,1 мм. Деформирование образца вплоть до его разрушения происходит при постоянной, автоматически регулируемой скорости вертикальных деформаций в пределах от 0,001 до 10 мм/мин. Вертикальная нагрузка на образец измеряется с помощью двух динамометрических колец: большой динамометр имеет пределы измерения от 0 до 12 500 Н, малый — от 0 до 1250 Н. Применение образцов различных размеров и двух динамометров позволяет с достаточной степенью надежности исследовать образцы различной прочности и однородности.

Приборы ДИИТа и ЛИИЖТа весьма просты по конструкции. Работа на них осуществляется вручную.

Стабилометры компрессионного типа конструктивно более сложны. Количество моделей их значительно меньше. Большую известность из стабилометров этого типа получил стабилометр М-2 конструкции Е. И. Медкова, разработанный в МИИТе. Многие дорожные институты пользуются этими стабилометрами.

Известны различные схемы испытаний в приборах трехосного сжатия. Поскольку наиболее применимы стабилометры сдвигового типа, приведем принципиальные схемы испытаний в приборах этого типа.

Трехосное испытание состоит из двух этапов: 1-й этап — приложение всестороннего давления, 2-й этап — приложение вертикальной нагрузки. В зависимости от условий водооттока в каждом из этих этапов выделяют схемы испытаний. Наибольшее распространение получили закрытая и открытая схемы испытаний. При закрытой схеме (неконсолидированно-недренированное — НН, недренированное испытание) водоотток отсутствует в обоих этапах: как при приложении всестороннего давления, так и при приложении вертикальной нагрузки. При открытой схеме (консолидированно-дренированные — КД, дренированные испытания) в обоих этапах происходит свободный водоотток.

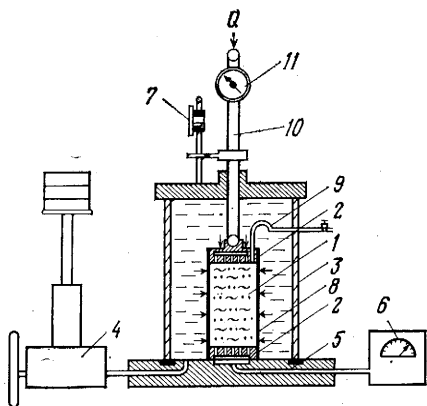


Рис. 9. Схема стабилометра сдвигового типа: 1 — образец грунта; 2 — пористые поршни; 3 — резиновая оболочка; 4 — устройство для создания и поддержания бокового (всестороннего) давления в камере; 5 — трубопроводы; 6 — устройство для измерения порового давления; 7 — индикатор для измерения вертикальной деформации образца; 8 — стенка камеры; 9 — вода; 10 — шток для передачи вертикальной нагрузки; 11 — динамометр

Закрытая схема моделирует работу массива при быстром росте нагрузки и затрудненной фильтрации, т. е. в наиболее тяжелых условиях. Поровое давление имеет значительную величину. Измерение его возможно в течение всего опыта. Такие условия соответствуют условиям нейтрального сдвига. Определения по закрытой схеме дают самое низкое расположение предельной огибающей Мора, т. е. наименьшие значения характеристик прочности. При проектировании по этим характеристикам обеспечивается устойчивость сооружения в самых опасных условиях нагружения. Производственное испытание по закрытой схеме длится, как правило, не более 10 мин.

Открытая схема воспроизводит условия работы породы при хорошем дренировании и медленном росте нагрузки. В этих условиях возникающее поровое давление сравнительно быстро рассеивается и вся нагрузка воспринимается практически скелетом породы. Испытания по открытой схеме дают наиболее высокие показатели прочности. В этом смысле испытания по закрытой и открытой схемам определяют соответственно нижнюю и верхнюю границы области возможных положений предельной огибающей. Проведение испытаний по открытой схеме вследствие длительности процесса консолидации требует значительно больше затрат времени, чем испытания по закрытой схеме. Время проведения таких испытаний определяется в основном водопроницаемостью исследуемых пород; обычно оно составляет 0,5—3 сут.

II. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СКАЛЬНЫХ ПОРОД

Данные о физико-механических свойствах скальных пород широко используются при детальном инженерно-геологическом картировании, при инженерно-геологических изысканиях для различных видов наземного и подземного строительства, при разведке и эксплуатации месторождения полезных ископаемых и решении многих иных геологических вопросов.

Отбор и подготовка проб для физико-механических испытаний. При отборе проб необходимо четко представлять, для каких видов физико-механических испытаний предназначается каждая проба, и оценивать ее представительность для конкретных геологических условий. Для определения в лабораторных условиях основных прочностных и упругих показателей требуются пробы следующих размеров: керн диаметром более 42 мм, суммарной длиной не менее 20 см, с длиной отдельных кусков керна 10—12 см или монолиты размером 25×25×40 см, или 2—3 монолита размером 20×20×20 см, отобранных в одном месте. Для определения водно-физических свойств, а также прочностных и упругих свойств уско-ренными и косвенными методами размер проб может быть порядка 10×10×10 см.

В ответственных случаях, особенно из пород, обладающих анизотропией механических свойств, желательно отбирать пробы удвоенного объема, позволяющие провести механические испытания в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Основные положения по отбору проб регламентируются ГОСТ 21153.0—75.

Изготовление образцов для физико-механических испытаний. Применение алмазного инструмента коренным образом улучшает технологию изготовления образцов правильной геометрической формы из скальных пород. При обработке проб небольшого размера наиболее эффективно использованы тонкостенных (1—2 мм) трубок, армированных алмазными наконечниками. Бурение такими трубками можно проводить на обычных сверлильных станках, обеспечив промывку через шпиндель. Тонкостенные алмазные трубки (типа АКС) изготавливаются диаметром 8—120 мм и их применение наряду с разжим увеличением скорости бурения и улучшения условий труда позволяет получать заготовки правильной цилиндрической формы с высокой чистотой поверхности.

Изготовление образцов цилиндрической формы состоит из следующих операций: выбуривания керна, обработки торцов керна, пришлифовки торцов, промывки и маркировки готовых образцов. Торцы керна обрабатывают мокрым способом, с охлаждением режущих дисков водой, керосином, веретенным или

вазелиновым маслом, либо 4—5%-ными растворами эмульсолов. Параллельность торцов образцов (допускается непараллельность не более 2°) достигается при последовательном разрезании достаточно длинного керна.

Методы определения физико-механических свойств пород. Многие физико-механические показатели скальных пород определяются в лабораторных условиях аналогично связным грунтам. Для отдельных методов испытаний имеются соответствующие ГОСТы, в связи с чем ниже рассматриваются только важнейшие методы испытаний, рекомендуемые для выполнения преимущественно мас-совых испытаний.

Определение водно-физических свойств пород. Плотность характеризует отношение массы твердой фазы породы к объему, занимаемому твердой фазой. Плотность породы определяется плотностью слагающих ее породообразующих минералов и обычно колеблется в пределах 0,2—0,5 МПа.

Объемная масса — отношение массы основных агрегатных фаз породы (твердой, жидкой, газообразной) к объему, занимаемому этими фазами. Определяется объемная масса минеральным составом породы и ее структурными особенностями и прежде всего пористостью. Объемная масса породы всегда меньше ее плотности.

Объемная масса скелета горной породы определяется как масса единицы ее объема (твердой, жидкой и газообразной фаз, входящих в состав горной породы).

Влажность в процентах выражается отношением массы воды к массе абсолютно сухой твердой фазы образца.

Водонасыщение — заполнение всех пор, трещин и других пустот в образце породы, из которого предварительно удален под вакуумом воздух водой, нагнетаемой под давлением. Количественно водонасыщение выражается отношением поглощенной воды к массе сухой породы.

Водопоглощение — способность горных пород впитывать воду при погружении их в воду в обычных условиях. Водопоглощение выражается в долях единицы или в процентах от массы абсолютно сухой породы. Обычно опыты по водопоглощению продолжаются 3 или 5 сут. Величина водопоглощения всегда меньше, чем водонасыщения.

Пористость — объем всех пустот (пор, микротрещин и др.) в горной породе. Пористость имеет определяющее значение для физико-механических свойств горных пород. Определяется отношением объема пор ко всему объему горной породы и выражается в процентах.

Пористость общая (абсолютная, истинная, физическая) определяется по формуле

$$п = \frac{\gamma - \delta}{\gamma} \cdot 100\%.$$

Соответственно, коэффициент пористости $\xi = \frac{\gamma - \delta}{\gamma}$. Между пористостью и коэффициентом пористости существует следующая зависимость:

$$\varepsilon = \frac{п}{100 - п}.$$

Пористость открытая определяется объемом воды, вошедшей в поровое пространство породы после 3—5-суточного свободного водонасыщения.

Пористость эффективная определяется аналогично открытой пористости, но по объему воды, заполнившей поровое пространство породы после принудительного водонасыщения с предварительным вакуумированием образца.

В практике инженерно-геологических изысканий наиболее часто используются следующие буквенные выражения — P_0 или P_z .

Определение прочностных свойств скальных пород. Предел прочности при одноосном растяжении — наиболее информативный показатель прочности скальных пород — может определяться несколькими методами.

По ГОСТ 21153.3—75 определение предела прочности при одноосном растяжении заключается в измерении максимальной разгружающей силы, приложенной перпендикулярно к образующей цилиндрического образца породы, в результате чего в образце возникают растягивающие напряжения, приводящие к его разрушению в плоскости сечения (продольного).

Испытания проводятся на цилиндрических образцах диаметром 40—50 мм и высотой, приблизительно равной диаметру. Отношение высоты и диаметра допускается от 0,9 до 1,1. Образец породы кладут боковой поверхностью между плитами прессы или испытательной машины и приводят пресс в действие со скоростью нагружения образца 0,1—3,0 МПа.

Предел прочности при растяжении вычисляется по формуле

$$\sigma_p = 0,64 \frac{P_m}{dh},$$

где P_m — максимальная разрушающая образец сила, Н; d — диаметр образца, см; h — высота образца, см.

Определение предела прочности при одноосном растяжении раскалыванием сферическими инденторами образцов произвольной, в том числе неправильной формы. Образец горной породы произвольной формы (от 30 до 1000 мм) сдавливается возрастающим до его раскола усилием двух встречно направленных сферических инденторов (шарики диаметром 15 мм). Самоцентрирование инденторов при образовании лунок на нагружаемой поверхности образца обеспечивает стабильные контактные условия нагружения, даже при неправильной исходной форме этой поверхности. Под обоими лунками образуются сфероидальные зоны местного измельчения породы, расширяемые давлением инденторов и являющихся источниками растяжения образца по сечениям, проходящим через ось нагружения. Раскол происходит по слабейшему из этих сечений. Результаты испытания позволяют определить прочность пород при растяжении.

Нагружение образца инденторами (шариками) производится плавно со скоростью, обеспечивающей раскол образца за 30—60 с от начала нагружения. Предел прочности при растяжении вычисляется по формуле

$$\sigma_p = 0,75 \frac{P_m^{\frac{1}{2}}}{F},$$

где P_m — максимальная разрушающая образец сила, Н; F — площадь поверхности раскола образца, см².

Определение предела прочности при одноосном растяжении приложением строго центрированной нагрузки. Испытания производятся на цилиндрических образцах диаметром 40—42 мм и высотой, равной 3—4 диаметра, в специальной камере, конструкция которой разработана и широко апробирована.

Образцы с помощью сплава Вуда (температура плавления 60 °С) закрепляют с двух концов на 1/3 высоты в строго центрированных обоймах, которые могут свободно перемещаться в цилиндре вдоль направляющих устройств. Разрыв образцов происходит обычно в среднем сечении. Этот метод испытаний дает наиболее точные и надежные результаты и может использоваться в качестве контрольного.

Метод разрыва соосными пуансонами образцов горных пород в виде дисков с отверстием. Образец в виде диска с плоскопараллельными торцами диаметром от 30 до 100 мм, толщиной 10—12 мм и с концентрическим отверстием диаметром 11,35—11,45 мм. В отверстие в образце вдавливается резиновый цилиндр диаметром 11—12 мм. Непосредственно на торцы резинового цилиндра, вставленного в образец, устанавливаются пуансоны, через которые подается усилие, разрушающее образец. Устройство, обеспечивающее соосное встречное движение пуансонов, передает нагрузку от испытательной машины для сжатия вертикальными нагрузками.

Предел прочности на растяжение образца вычисляют по формуле

$$\sigma_p = \frac{P_M}{B},$$

где B — расчетная площадь, см².

Диаметр образ- ца, мм	30	40	50	60	70	80	90	100
B , см ²	1,8	2,8	3,8	4,7	5,7	6,6	7,6	8,6

Имеется еще несколько методов определения прочности пород на растяжение, но практического значения они не имеют.

Предел прочности при одноосном сжатии — наиболее широко распространенный показатель прочности скальных пород, может определяться несколькими методами.

Предел прочности при одноосном сжатии определяется на цилиндрических образцах горных пород диаметром 40—50 мм, с высотой, равной диаметру. Отношение высоты и диаметра допускается от 0,9 до 1,1. В отдельных случаях допускается проведение испытаний на кубических образцах со стороной размером 45 ± 5 мм.

Размеры, форма образцов горных пород и качество обработки их поверхности оказывают существенное влияние на получаемые результаты испытаний, в связи с чем к ним предъявляются повышенные требования. Торцовые поверхности образцов должны быть параллельны и кривизна их не должна превышать 0,05 мм, отклонения от параллельности допускаются не более 0,1 мм по длине диаметра, разность взаимно перпендикулярных диаметров поперечных сечений, контролируемых штангенциркулем в верхней, средней и нижней частях образца, не должна быть более 1,0 мм.

Метод одноосного сжатия цилиндрических образцов между рифельными плитами. Этот метод аналогичен вышеописанному, но позволяет снизить требования к качеству подготовки образцов для испытаний.

Форма образцов — цилиндрическая с грубо обработанными (отрезанными) торцами, перпендикулярными к оси, диаметр образца (d) 30—100 мм. Наибольшая разность диаметров 1 : 5 мм. Отношение высоты образца к его диаметру колеблется от 0,8 до 2,0, отклонение плоскости торцов от перпендикулярности оси составляет до 1 мм. Кривизна поверхности торцов не более 0,2 мм. Испытания проводятся с образцом, который помещается между двумя стальными обоймами (подкладкой и накладкой) с рифлеными вкладышами.

Вычисления проводят по формуле

$$\sigma_{сж} \neq 1,4 \frac{P_{\max}}{d^2}.$$

Метод сжатия дисков горных пород соосными пуансонами. Образец в виде диска с плоскпараллельными торцами диаметром от 30 до 100 мм, толщиной 10—12 мм устанавливается в устройстве, обеспечивающем соосное встречное движение пуансонов. Пуансоны следует расположить в средней части образца, затем на устройство передается нагрузка от пресса или испытательной машины до момента разрушения образца, которое должно происходить через 30—60 с с момента начала нагружения. Максимальная разрушающая образец нагрузка (P_{\max}) регистрируется на силоизмерительном устройстве испытательной машины. Величину вычисляют по формуле

$$\sigma_{сж} = \frac{P_{\max}}{A},$$

где A рабочая площадь (см²), определяемая в зависимости от диаметра образца.

Диаметр образца, мм	30	40	50	60	70	80	90	100
A , см ²	1,52	1,79	2,03	2,26	2,50	2,72	2,94	3,16

Метод комплексного определения пределов прочности при многократном раскалывании и сжатии. Сущность метода заключается в определении максимальной разрушающей силы при многократном раскалывании образцов породы пластинчатой или брусчатой формы и сжатии полученных при раскалывании образцов кубообразной формы (ГОСТ 21153.4—75).

Образцы для испытаний могут быть представлены в виде дисков диаметром не менее 75 мм или пластин размером не менее 100×100 мм при толщине 20 мм. Плоскости пластин и дисков должны быть параллельны. Допускаются отклонения от параллельности по диаметру или по минимальному размеру образца не более 0,5 мм. Для испытания на сжатие используются образцы кубообразной формы, получаемые в процессе раскалывания с линейными размерами параллельных плоскостей 20×20 мм и допускаемыми отклонениями от каждого размера не более ±2 мм.

Испытываемый образец помещают в устройстве между двумя соосно расположенными клиньями, через которые от испытательной машины передается нагрузка вплоть до разрушения образца. Клинья должны быть стальные с длиной лезвия, превышающей наибольший линейный размер образца. Угол заточки клиньев должен быть равен 90°, а радиус закругления лезвия 5 ± 1 мм.

Образец раскалывают сначала на бруски шириной 20 мм, а затем — поперечному направлению на кубики полуправильной формы. При каждом раскалывании образца фиксируют максимальную разрушающую силу (P_{\max}) и измеряют штангенциркулем длину линии раскола с погрешностью не более 0,5 мм.

Для определения σ_p учитывают результаты испытаний, проведенных по линии раскола длиной не менее 20 мм, отстоящей от края образца не менее чем на 10 мм.

Испытания сжатием проводят после окончания раскалывания образца, заменив клинья раскалывающего устройства на плиты. Образец кубообразной формы с предварительно замеренными линейными размерами параллельных плоскостей отреза помещают в центре давящей плиты пресса на одну из плоскостей отреза. Записывают максимальную величину разрушающей образец нагрузки (P_{\max}) в килограммах, зафиксированную силоизмерителем пресса.

Вычисления проводятся по формулам

$$\sigma_p^k = \frac{P_{\max}}{2l},$$

где l — длина линии раскола, см.

$$\sigma_{сж}^k = \frac{P}{F},$$

где F — средняя площадь поперечного сечения образца породы, кубообразной формы, равная полусумме площадей параллельных поверхностей образца до его разрушения, см².

Предел прочности при срезе. Сущность метода заключается в определении максимального разрушающего касательного напряжения (σ) при действии на образец пород срезающих и нормальных сжимающих нагрузок (σ) в матрицах испытательного устройства. В комплект устройства входят три пары сменных матриц, обеспечивающих возможность разрушения образцов по заданным направлениям под углом 30, 45 и 60° к давлению на плоскость среза.

Испытательное устройство с образцом породы помещают под плиты пресса и, увеличивая нагрузку, доводят образец до разрушения. Определение предела прочности породы при срезе производят при испытании не менее десяти образцов для каждого угла наклона матриц (30, 45, 60°). За окончательный результат испытаний принимают среднее арифметическое результатов, проведенных для данного угла наклона определений.

По данным окончательных результатов испытаний строятся предельная кривая прочности горных пород при срезе в функции от нормального давления на плоскость среза.

Трудоемкость проведения испытаний ограничивает область применения этого метода.

Определение предела прочности при изгибе проводится по ГОСТ 21153.6—75. Сущность метода заключается в определении разрушающей силы при изгибе образца породы, опирающегося на металлическое кольцо, при воздействии на него вертикальной нагрузки, передаваемой через кольцевой пуансон. Используются образцы дискообразной формы диаметром 90—100 мм и толщиной 10 ± 1 мм. Плоские поверхности образцов должны быть параллельны, отклонения от параллельности не должны превышать 0,1 мм.

Образец горной породы кладут на опорное кольцо, а сверху на него ставят кольцевой пуансон. Отцентрировав испытательное устройство с образцом по вертикальной оси, помещают его между плитами прессы так, чтобы вертикальная ось устройства совмещалась с продольной осью прессы. Отклонение между осями при установке допускается не более 1—2 мм.

Для каждого образца вычисления проводятся по формуле

$$\sigma_{из} = 0,75P_{max} \text{ (с точностью до 10\%)}$$

Предел длительной прочности. При продолжительном воздействии напряжений происходит постепенное снижение прочности горных пород, оцениваемое понятием — «длительной прочности». Предел длительной прочности (σ_{∞}) значительно меньше стандартной прочности ($\sigma_{сж}$):

$$\sigma_{\infty} = \sigma_{сж} \ln \frac{A}{t},$$

где A — константа, характеризующая стойкость породы; t — время приложения нагрузки.

Для большинства горных пород $\sigma_{\infty} = 0,7—0,8\sigma_{сж}$, для глин и мергелей КМА $\sigma_{\infty} = 0,5\sigma_{сж}$.

Коэффициент расслабления ($K_{рс}$) — отношение предела прочности на сжатие к некоторому значению длительной прочности.

Коэффициент расслабления после приложения нагрузки в течение 48 ч для песчаника и бетона соответственно равен 1,8 и 1,67.

Угол внутреннего трения и коэффициент сцепления (c) горных пород — характеристики, широко используемые при расчете устойчивости бортов карьеров и откосов. Значения ϕ и c находятся преимущественно расчетным путем по данным определения пределов прочности на разрыв и сжатие, которые могут быть получены разными методами.

Рекомендуемая методика расчета детально изложена в приложении к ГОСТ 21153.4—75.

Значительное влияние на физико-механические свойства горных пород оказывает неоднородность их структурно-текстурных особенностей, которая во многих случаях вызывает анизотропию свойств.

Анизотропия прочностных свойств оценивается коэффициентом анизотропии (K_A). При этом анизотропия прочности пород на разрыв и сжатие может быть различной. В связи с этим используется коэффициент анизотропии для предела прочности на разрыв (K_A^P), и для предела прочности на сжатие ($K_A^{сж}$).

$$K_A^P = \frac{\sigma_p^{\perp}}{\sigma_p^{\parallel}},$$

$$K_A^{сж} = \frac{\sigma_{сж}^{\perp}}{\sigma_{сж}^{\parallel}},$$

где σ_p^{\perp} , $\sigma_{сж}^{\perp}$ — пределы прочности на разрыв и сжатие в направлении, перпендикулярном к слоистости, сланцеватости или ориентировке отдельных структурных элементов породы. σ_p^{\parallel} и $\sigma_{сж}^{\parallel}$ — то же параллельно тому же направлению.

Определение упругих свойств. Определения упругих свойств горных пород на образцах и в массиве в практике инженерно-геологических исследований производятся преимущественно динамическими методами по скорости распространения упругих продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн. Ценную дополнительную информацию в этом случае может дать определение коэффициентов поглощения продольных (α_p) и поперечных (α_s) волн. Методика определения V_p и V_s подробно регламентируется ГОСТ 21153.7—75. Требуемые размеры испытываемых пород определяются преобладающей длиной упругих волн и характеристикой применяемых преобразователей, в связи с чем могут колебаться в довольно широких пределах от 9 до 300 мм, чаще всего 42—75 мм. Форма образцов может быть произвольной, но с двумя плоскими параллельными поверхностями, перпендикулярными к намечаемой оси прозвучивания образца. Практические определения V_p и V_s производятся на образцах, изготовляемых для определения предела прочности на сжатие, размеры и форма которых позволяют производить измерения в различных направлениях. Для пород, имеющих анизотропию упругих свойств, определение V_p и V_s производится в двух направлениях и оценивается соответствующими коэффициентами анизотропии.

$$K_A^{V_p} = \frac{V_p^\perp}{V_p^\parallel} \quad \text{и} \quad K_A^{V_s} = \frac{V_s^\perp}{V_s^\parallel}.$$

Теоретические основы и методика определения скорости распространения упругих волн, а также коэффициентов их поглощения подробно описаны во многих руководствах.

Модуль упругости и коэффициент Пуассона рассчитываются по скорости распространения продольных и поперечных волн. Для практических целей удобно производить расчет E_d и μ с помощью соответствующих номограмм.

Упругие свойства пород можно определять также с помощью прибора БУ-39. Сущность этого метода заключается в измерении деформаций и соответствующих нагрузок при вдавливании в поверхность образца сферических инденторов. Используемые при этом образцы горных пород могут иметь произвольную форму, в том числе неправильную. Испытания на приборе БУ-39 проводятся одновременно с определением предела прочности на разрыв по упомянутой выше методике.

По сравнению со статическими методами определения упругих показателей горных пород динамические имеют большие преимущества, так как обеспечивают возможность сопоставления получаемых на образцах данных с результатами испытаний, проводимых непосредственно в массиве, а также удобства и простоту проведения эксперимента, без нарушения целостности образца. Между величинами модуля упругости, определенного статическими и динамическими методами, установлена четкая коррелятивная связь. Для многих петрографических типов пород разница в значениях модуля упругости, определенных статическими и динамическими методами, не превышает 10%.

Определение твердости, пластичности и хрупкости пород.

Твердость — это сопротивление горной породы проникновению в нее инструмента или какого-либо твердого тела. Различают твердость минеральных зерен породы (микротвердость) и твердость агрегатную, характеризующую горную породу в целом. При статическом воздействии на внедряемый в горную породу инструмент определяется статическая твердость, а при динамическом воздействии — динамическая.

Известно довольно много методов количественного определения твердости. Одним из наиболее простых является определение твердости минералов по сравнению со шкалой Мооса, составленной из десяти минералов — эталонов.

В практике инженерно-геологических исследований наиболее широкое применение могут найти методы определения статической твердости, разработанные М. М. Хрущевым и Л. А. Шрейнером, а также некоторые методы определения динамической твердости.

Методы определения статической твердости пород. **Микротвердость** оценивается по величине нагрузки, отнесенной к поверхности отпечатка, полученного в результате вдавливания в образец четырехгранной алмазной пирамиды

на приборе ПМТ-3. Этот метод, разработанный М. М. Хрущевым и Е. С. Берковичем, может быть успешно применен при определении микротвердости горных пород, особенно в целях приближенной оценки степени их выветрелости или гидротермальной переработки. М. М. Хрущев детализировал шкалу Мооса, выделив 15 классов твердости.

Определения твердости проводятся также методом вдавливания штампа в шлифованную поверхность образца. Этот метод разработан Л. А. Шрейнером применительно к изучению процессов разрушения пород при бурении. Метод нашел широкое применение при сравнительной оценке различных типов пород по целому ряду механических характеристик, в том числе по пластичности.

Определение твердости (и пластичности) производится путем измерения нагрузки и деформации при вдавливании штампа в шлифованную поверхность образца на приборе УМГП-3. Образцы пород для испытаний должны иметь две плоскопараллельные поверхности и высоту 40—50 мм, остальные размеры могут быть различными, но не менее 30 мм.

В поверхность образца вдавливают штамп с плоским основанием, продолжая опыт до момента разрушения породы и образования под штампом лунки. В зависимости от зернистости и твердости породы для испытаний используются как цилиндрические, так и конические штампы площадью от 1 до 5 мм², изготовленные из стали или твердых сплавов.

В процессе испытаний величина нагрузки на штамп и деформация образца автоматически записываются на график.

По графику можно рассчитать следующие характеристики пород: 1) твердость по штампу (по Л. А. Шрейнеру), равную отношению нагрузки (до момента разрушения) к площади штампа; 2) условный предел текучести, равный отношению нагрузки в точке пересечения линий (характеризующих упругую и пластическую деформации) к площади штампа; 3) коэффициент пластичности по Л. А. Шрейнеру, равный отношению количества общей работы, затраченной на разрушение, к работе приведенных упругих деформаций.

Определяется также и ряд других показателей.

Сравнение твердости, определенной по штампу, с прочностью породы на одноосное сжатие показывает, что связь этих показателей сложная. Значение твердости по штампу обычно в 15—18 раз больше прочности на одноосное сжатие для хрупких пород, — в 10—13 раз — для пластичных, в 5—7 раз — для малопрочных.

По пластичности горные породы обычно подразделяются на три класса: упруго-хрупкие ($K_{ш} = 1$), пластично-хрупкие ($1 < K_{ш} < 6$) и пластичные ($K_{ш} > 6$).

Контактная прочность. Метод вдавливания штампа в неровную, необработанную поверхность образцов разработан Л. И. Бароном и другими специалистами в Институте горного дела им. А. А. Скочинского. По этому методу цилиндрический штамп с плоским основанием вдавливается в необработанную, неровную поверхность образца. Высота образца для испытаний должна быть не менее 10—12 см, а параллельность граней порядка 5—10°.

Показатель, определяемый аналогично твердости по Л. А. Шрейнеру, называется в этом случае контактной прочностью. С величиной твердости ($P_{ш}$) контактная прочность (P_k) связана линейной зависимостью:

$$P_k = KP_{ш},$$

где K — коэффициент, зависящий от петрографических особенностей.

Относительная динамическая твердость горных пород чаще определяется по методу Шора, который сводится к замеру высоты отскока алмазного бойка от шлифованной поверхности образца (пришлифовываются две параллельные поверхности).

Относительная динамическая твердость определяется на приборе ШРС-1. Высота подбоя алмазного бойка у этого прибора строго ограничена, высота отскока бойка фиксируется на специальной шкале. В зависимости от однородности пород, их минерального состава и структурных особенностей (прежде всего — по размеру зерен) на каждом образце производится от 5 до 50 ударов.

Относительная твердость образца оценивается по среднеарифметическим показателям величины отскока бойка. Повторные удары бойка в одну точку на поверхности образца при испытаниях не допускаются.

Твердость по Шору может служить косвенной характеристикой упругих свойств пород. Во многих случаях выявляется довольно тесная связь твердости по Шору с модулем Юнга.

Коэффициент упрочнения. В качестве одного из ускоренных методов оценки хрупко-пластичных свойств горных пород М. И. Койфманом и Г. Г. Сенатской предложено определение коэффициента упрочнения ($K_{упр}$)

$$K_{упр} = \frac{T_{п} - T_{ш}}{T_{ш}} 100\%,$$

где $T_{п}$ — твердость пород после упрочнения, оцениваемая после многократного сбрасывания бойка склероскопа Шора в одну точку на поверхности испытываемого образца; $T_{ш}$ — начальная твердость по Шору того же образца.

Этот коэффициент Л. И. Барон назвал показателем динамической контактной пластичности.

Коэффициент хрупкости. Оценка хрупкости горных пород производится условными показателями, среди которых наиболее известен коэффициент хрупкости:

$$K_{хр} = \frac{A_{уп. сж}}{A_{р. сж}},$$

где $A_{уп. сж}$ и $A_{р. сж}$ — работа, затраченная соответственно на упругое деформирование и общее разрушение образца при испытаниях, подобных определению предела прочности пород на сжатие. $K_{хр}$ может изменяться от 0 до 1; он равен для известняка, апатита, железистого кварцита (КМА) и джеспилита соответственно: 0,06; 0,12, 0,33 и 0,50.

Оценка хрупкости для некоторых типов горных пород производится также по отношению предела прочности на одноосное сжатие к пределу прочности на одноосное растяжение. Этот коэффициент может изменяться от нескольких единиц до 30—40.

Определение крепости, абразивности и буримости пород. Крепость пород характеризуется коэффициентом крепости — условной величиной, приближенно показывающей сопротивляемость пород разрушению при их добыче. Этот коэффициент широко используется в практике геологоразведочных и горных работ. Величина его определяется различными способами.

1. По результатам определения предела прочности пород одноосному сжатию по формулам:

$$f = \frac{\sigma_{сж}}{100} \text{ или более точно } f = \frac{\sigma_{сж}}{100} + \frac{\sigma_{сж}}{30},$$

где $\sigma_{сж}$ — временное сопротивление одноосному сжатию.

2. По результатам определения временного сопротивления породы раздавливанию — для образцов неправильной формы по формуле

$$f = \frac{\sigma_{сж}}{19}.$$

3. По величине работы, затрачиваемой на дробление ($f_{д}$).

4. По сопротивляемости бурению.

5. По ГОСТ#21153.2—75 — методом толчения, т. е. путем определения количества мелочи (в виде щебня), образующейся при толчении пробы в специальном трубном копре. Метод заключается в том, что на образец породы сбрасывается гиря массой 2,4 кг. Количество образовавшейся мелочи определяется по высоте столбика пыли в объеметре; число ударов n фиксируется. Коэффициент крепости рассчитывают по формуле

$$f_{д} = \frac{20n}{h},$$

где n — число ударов гири; h — высота столбика пыли в объемнометре после испытания пяти навесок.

Буримость — сопротивляемость горных пород разрушению буровым инструментом. Установлена надежная зависимость буримости пород колонковым способом с коэффициентом абразивности ($K_{абр}$) и коэффициентом крепости (f_D), совместное влияние которых учитывается так называемым объединенным коэффициентом ρ :

$$\rho = 3f_D^{0,8} \cdot K_{абр}$$

По величине ρ , вычисляемой обычно по номограмме Любимова, выделяются следующие категории буримости скальных пород:

III	2.00—3.00	VIII	15.20—22.80
VI	3.00—4.50	IX	22.80—34.15
V	4.50—6.75	X	34.15—51.20
VI	6.75—10.10	XI	51.20—76.85
VII	10.10—15.20	XII	более 76.85

Вязкость — сопротивление породы силам, стремящимся разбить ее частицы. Определяется вязкость пластическими свойствами породы, отношением пределов прочности на растяжение и сжатие, а также пределом прочности на сдвиг.

Приближенно вязкость характеризуется критерием В:

$$B = \frac{E}{E_{деф}} \sigma_{сж} = \frac{1}{K_{вр}^E} \sigma_{сж}$$

Дробимость — параметр, противоположный вязкости:

$$D = \frac{1}{B} = \frac{K_{вр}}{\sigma_{сж}}$$

Сопротивление горных пород взрыванию q_3 оценивается расходом эталонного ВВ на разрушение 1 м³ горной породы с заранее установленным эффектом дробления. Устанавливается q_3 экспериментальным путем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беликов Б. П.* Упругие и прочностные свойства горных пород. — Труды ИГЕМ, 1971, вып. 43. — 267 с.
2. *Воздвиженский Б. И., Мельничук И. П., Пешалов Ю. А.* Физико-механические свойства горных пород и влияние их на эффективность бурения. — М.: Недра, 1973. — 240 с.
3. *Ломтадзе В. Д.* Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород. — Л.: Недра, 1972. — 312 с.
4. *Любимов Н. И.* Классификация горных пород и рациональное применение буровой техники. — М.: Недра, 1977. — 240 с.
5. *Михеев Г. В.* Методические указания по комплексным полевым определениям прочностных и деформационных характеристик горных пород. — Л.: изд-во ВНИМИ, 1973. — 117 с.
6. *Недогадинов О. А., Николаев С. В.* Систематизация экспериментальных материалов с помощью перфокарт при инженерно-геологическом изучении рудных месторождений. — М.: Изд. ВСЕГИНГЕО, вып. 2, 1969, с. 87—113.
7. *Николаев С. В., Свешников В. П.* Методические рекомендации по изготовлению образцов из скальных пород для физико-механических испытаний. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1970. — 104 с.
8. *Даханов В. Н.* Определение петрографических характеристик по образцам. — М.: Недра, 1977. — 432 с.
9. *Рожевский В. В., Новик Г. Я.* Основы физики горных пород. 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Недра, 1973. — 285 с.
10. *Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных пород* /А. И. Савич, В. И. Коптев, В. Н. Никитин, З. Г. Яценко. — М.: Недра, 1969. — 240 с.
11. *Требования к определению механических свойств горных пород при геологическом изучении полей шахт Министерства угольной промышленности СССР (при разведке, строительстве, реконструкции и эксплуатации).* — Л.: 1977. — 94 с.
12. *Турчанинов И. А., Медведев Р. В., Панин В. И.* Современные методы комплексного определения физических свойств горных пород. — Л.: Недра, 1967. — 199 с.
13. *Ягодкин Г. И., Мохначев М. П., Кунтыш М. Ф.* Прочность и деформируемость горных пород в процессе их нагружения — М.: Недра, 1971. — 148 с.

Глава третья

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Механика грунтов — прикладной раздел механики, изучающий напряжения и деформации, происходящие в рыхлых горных породах при различных силовых воздействиях.

Методы механики грунтов основаны на теоретических положениях физики твердого тела, теории упругости, теории пластичности, реологии и некоторых других разделов физики. Поскольку свойства реальных грунтов сложны и многообразны, эти методы разработаны применительно к некоторым идеализированным моделям, которые могут быть распространены на большие группы грунтов одного типа. В моделях сохраняются только такие свойства реальных грунтов, которые определяют механику исследуемых явлений и представляют интерес для решения задач определенного класса.

Механические модели описываются с помощью математических уравнений (математических моделей). В механике грунтов используются главным образом детерминированные (функциональные) математические модели, предполагающие наличие однозначного соответствия между исследуемыми переменными. Модели стохастического характера в механике грунтов до настоящего времени широкого применения не получили. Показатели физико-механических свойств грунтов играют в составленных уравнениях роль числовых параметров и во многом определяют степень надежности и точности выполняемых расчетов.

Наиболее общей моделью, используемой в механике грунтов, является модель сплошной среды, предполагающая, что деформации материала происходят без нарушения его сплошности и могут быть описаны непрерывными функциями. Сплошная среда рассматривается в большинстве случаев как квазизотропная и квазизотропная. Квазизотропной называется такая дисперсная среда, где размеры элементов много меньше, чем размеры самого малого объема, деформации которого являются предметом исследований. Такое представление может быть распространено на любые грунты — от глин до крупноглыбовых накоплений, но в последнем случае свойства массива должны изучаться на очень больших объемах породы, измеряемых десятками кубометров. Квазизотропной считается такая дисперсная среда, в которой самый маленький элемент объема содержит анизотропные элементы всевозможных ориентаций. В квазизотропной среде изменение свойств по любым направлениям можно рассматривать как одинаковое.

В настоящее время получено некоторое число решений и для случаев неоднородной и анизотропной среды, например для массивов грунта с различными механическими характеристиками по разным направлениям, или для случая, когда механические свойства грунта непрерывно изменяются по мощности слоя.

Модель сплошной среды подразделяется в свою очередь на три самостоятельные модели: твердого тела Гука, пластического тела Сен-Венана и вязкой жидкости Ньютона, которые отвечают трем фундаментальным свойствам грунтов — упругости, пластичности и вязкости.

Модель Гука (символ H) называется также моделью упругого тела. Свойство упругости обычно изображают в виде пружины (рис. 10), один конец которой заделан, а ко второму — приложена сила P .

Основным уравнением, описывающим упругое тело, является закон Гука:

$$\sigma = E\epsilon,$$

т. е. напряжения, возникающие в упругом теле, прямо пропорциональны его деформации (E — модуль Юнга).

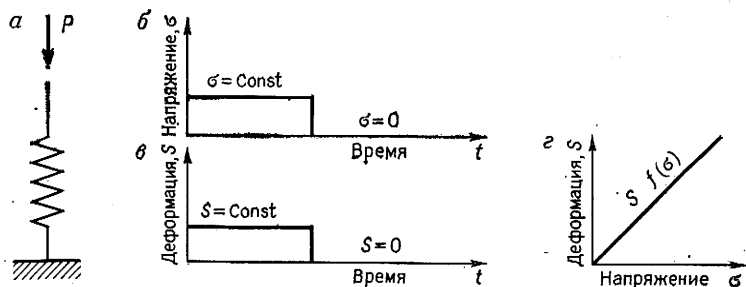


Рис. 10. Модель упругого тела Гука (H):

a — символическое изображение модели; b — зависимость напряжения от времени t ; $в$ — зависимость деформации S от времени t ; z — зависимость деформации S от напряжения σ

Для упругого тела характерны также следующие свойства: а) распространение деформаций происходит со скоростью звука и б) остаточные деформации равны нулю. В грунтах из этих свойств сохраняется только одно (в интервале малых напряжений): линейная зависимость между напряжениями и деформациями. Однако этого достаточно для того, чтобы иметь право использовать для описания механических явлений в грунтах методы математической теории упругости.

Такая модификация модели упругого тела получила название модели линейно деформируемой среды или линейно деформируемого пространства. В приведенной ранее формуле модуль Юнга E заменяется в этом случае модулем общей деформации E_0 .

Пластическое тело Сен-Венана (символ $S_t V$) схематически изображается в виде ползуна (рис. 11). Между ползуном и поверхностью действует сухое трение, остающееся постоянным при неизменном нормальном давлении. Пластическое тело не испытывает никаких деформаций (является абсолютно жестким) до тех пор, пока напряжения не превзойдут предела пластичности. Соответственно уравнение пластического тела записывается в виде предельного состояния

$$\tau = \tau_{\text{пл.}}$$

где τ — касательное напряжение; $\tau_{\text{пл}}$ — предел пластичности.

При пластической деформации меняется только форма тела, объем его остается неизменным.

Модель вязкой жидкости Ньютона (символ N) схематически изображается в виде цилиндра, заполненного вязкой жидкостью (рис. 12), в котором движется поршень с небольшими отверстиями. Основное уравнение записывается в виде

$$\sigma = \eta \dot{s}^*,$$

т. е. напряжения в вязкой жидкости пропорциональны скорости деформации (η — коэффициент вязкости).

В механике грунтов используются и более сложные модели, представляющие собой различные комбинации охарактеризованных выше простых моделей, играющих роль составных элементов. При этом они могут соединяться между собой параллельно и последовательно. При параллельном соединении полная нагрузка на тело складывается из нагрузок, передаваемых отдельными элементами, а скорости деформации элементов — одинаковые. При последовательном соединении полная скорость деформации равна сумме скоростей деформаций, составляющих модель элементов, причем каждый из них передает полную нагрузку.

Если соединить вязкий элемент с упругим параллельно, то получим модель вязко-упругого тела Фойгта, которая описывается зависимостью

$$\sigma = E s + \eta \dot{s},$$

* Здесь и далее точкой указывается производная по времени.

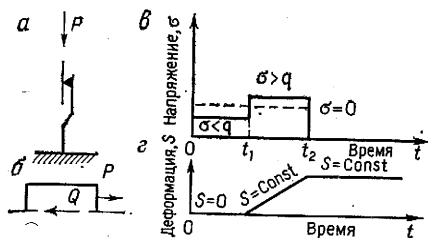


Рис. 11. Модель пластического тела Сен-Венана (S, V):

a и b — символические изображения модели; σ — зависимость напряжения σ от времени t ; ε — зависимость деформации S от времени t

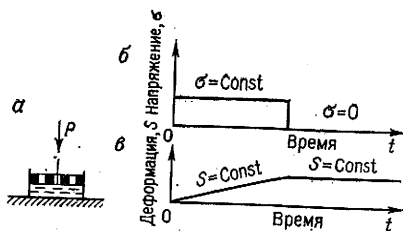


Рис. 12. Модель вязкой жидкости Ньютона (N):

a — символическое изображение модели; σ — зависимость напряжения σ от времени t ; ε — зависимость деформации S от времени t

где обозначения те же, что и выше. Ее обычно называют законом деформирования простого нерелаксирующего тела.

Если соединить вязкий и упругий элементы последовательно, то получим модель упруго-вязкого тела Максвелла, которое описывается уравнением

$$\sigma + n\dot{\sigma} = \eta\dot{\varepsilon},$$

где $n = \frac{\mu}{E}$ — постоянная, называемая временем релаксации.

При постоянной во времени деформации ($\varepsilon = \text{const}$) напряжения будут изменяться по закону

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{t}{n}}.$$

Эта зависимость описывает релаксацию напряжений, которая происходит по затухающему показательному закону. Наиболее близко такая модель отвечает поведению под нагрузкой льда, льдонасыщенных грунтов и некоторых типов глин.

При постоянном напряжении ($\sigma = \text{const}$) уравнение определяет скорость деформации. При дополнительном введении в эту модель пластического элемента получим модель Бингама.

Пластический элемент отражает роль таких факторов, как наличие в грунте жестких структурных связей или начального градиента.

Основное препятствие широкому внедрению сложных реологических моделей в практику инженерных расчетов создает трудность их математического описания и разработки на этой основе достаточно простых и надежных расчетных методов. В современной практике используются главным образом методы, основанные на модели Гука. Они вошли в различные руководства, пособия, инструктивные и нормативные документы.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ЛИНЕЙНО-ДЕФОРМИРУЕМОЙ СРЕДЫ

Силы, действующие на массив грунта, могут быть подразделены на объемные, распределенные по всему объему грунта (гравитационные, фильтрационные, сейсмические и др.) и поверхностные — приложенные к поверхности массива (нагрузки от сооружений). При приложении силы к массиву грунта в нем возникают внутренние усилия. Интенсивность внутренних усилий, приходящаяся на единицу сечения площади, называют напряжением.

Полное напряжение состоит из двух компонент: эффективного напряжения, действующего на скелет грунта и вызывающего изменение его объема, и нейтрального, действующего на поровую воду и являющегося гидростатическим. Эффективные напряжения могут быть сжимающими, растягивающими и сдвигающими.

Напряженное состояние в любой точке массива грунта (рис. 13) в ортогональной системе координат определяется девятью составляющими, которые могут быть записаны в форме матрицы, носящей название тензора напряжений:

$$\begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{vmatrix}.$$

Поскольку тангенциальные напряжения, действующие на взаимно перпендикулярных площадках, попарно равны ($\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{xz} = \tau_{zx}$, $\tau_{yz} = \tau_{zy}$), тензор напряжений является симметричным

$$\begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ & \sigma_y & \tau_{zy} \\ & & \sigma_z \end{vmatrix},$$

а для описания напряженного состояния достаточно знать шесть составляющих: σ_x , σ_y , σ_z , τ_{yx} , τ_{zx} и τ_{zy} .

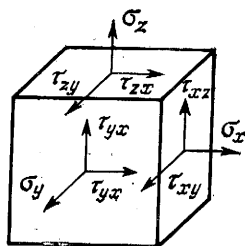


Рис. 13. Составляющие напряжения, действующего на элементарный объем грунта

III. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ГРУНТА

Для вычисления напряжений в массиве грунта применяются уравнения теории линейно-деформируемого тела. Уравнения справедливы для случаев, когда: а) напряжения не вызывают появления в массиве грунта областей пластических деформаций; б) достигнута стабилизация напряжений и вызванных ими деформаций.

В механике грунтов рассматриваются два случая распределения напряжений: 1) от нагрузок, передаваемых через гибкие фундаменты и насыпи, и 2) от нагрузок, передаваемых через жесткие фундаменты.

Влияние анизотропии и неоднородности на распределение напряжений. Анизотропия свойственна многим генетическим типам отложений, обладающим слоистым сложением (текстурой) — морским, озерным, аллювиальным. Степень анизотропии (по сжимаемости) принято характеризовать величиной

$$K_a = \sqrt{\frac{E_T}{E_z}},$$

где E_z и E_T модули общей деформации, установленные для вертикального (E_z) и горизонтального (E_T) направлений. Нормальные напряжения могут быть с достаточной для практических целей точностью вычислены по формулам:

а) для погонной нагрузки (в условиях плоской задачи)

$$\sigma'_z = \frac{\sigma_z}{K_a},$$

б) для сосредоточенной нагрузки (в условиях пространственной задачи)

$$\sigma'_z = \frac{p}{\pi} \cdot \frac{z^3 (1 + K_a + K_a^3)}{R^5 \cdot K_a (1 + K_a)}.$$

Из приведенных выражений следует, что, если модуль деформации в направлении действия силы больше, чем в перпендикулярном направлении, то наблюдается концентрация напряжений, а при обратном соотношении — их рассеивание.

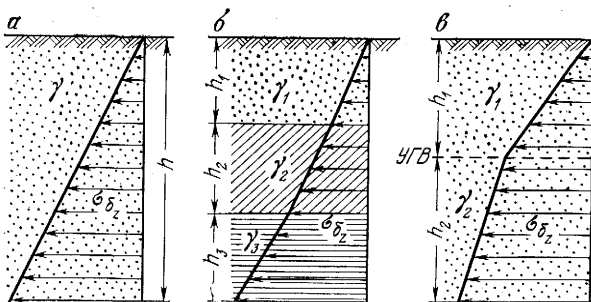


Рис. 14. Распределение природных (бытовых) напряжений по глубине:
 а — однослойное основание, б — многослойное основание, в — при наличии в толще отложений грунтовых вод

Влияние неоднородности проявляется в той или иной степени во всех грунтах. Наиболее обычным случаем является увеличение плотности и, соответственно, уменьшение сжимаемости грунтов с глубиной в соответствии со степенным законом. В этом случае будет наблюдаться концентрация напряжений по сравнению с однородным массивом грунта. Та же картина будет вызвана наличием на глубине жесткого слабо сжимаемого слоя. При наличии слабого слоя грунта будет наблюдаться рассеивание напряжений.

Распределение напряжений от собственного веса грунта. Давление от собственного веса грунта называется бытовым, или природным. При однородном грунте природное давление вычисляется по формуле

$$\sigma_{bz} = \gamma \cdot Z.$$

Эпюра распределения природных напряжений имеет треугольную форму (рис. 14, а) с началом отсчета от поверхности земли.

При многослойном основании напряжение σ_{bz} равно сумме напряжений, вызываемых весом отдельных слоев (рис. 14, б):

$$\sigma_{bz} = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \dots + \gamma_n h_n = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i,$$

где γ_i — объемный вес, а h_i — мощность отдельных слоев.

В водоносных грунтах вычисление объемного веса производится с учетом взвешивающей силы воды (рис. 14, в):

$$\gamma_{взв} = \frac{\gamma_y - 1}{1 + e}.$$

В глинах и тяжелых суглинках, где вся вода находится в связанном состоянии, взвешивание можно не учитывать.

При наличии фильтрационного градиента l расчет производится по формуле

$$\sigma_{bz} = \gamma z - \gamma_B l,$$

где l — среднее значение вертикальной составляющей фильтрационного градиента (при направлении фильтрации вверх второй член принимается со знаком плюс, вниз — со знаком минус).

Нормальные напряжения по осям X и Y определяются по уравнению

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu_0}{1 - \mu_0} \gamma z = \xi \gamma z.$$

Значения μ_0 и ξ для некоторых разностей грунтов приведены в табл. 17.

Таблица 17

Значения параметров μ_0 и ξ
для различных грунтов

Грунт	ξ	μ_0
Глина	0,75	0,73
Рыхлый песок при $e = 0,9$	0,64	0,39
Песок средней плотности при $e = 0,7$	0,52	0,34
Песок плотный при $e = 0,6$	0,49	0,33

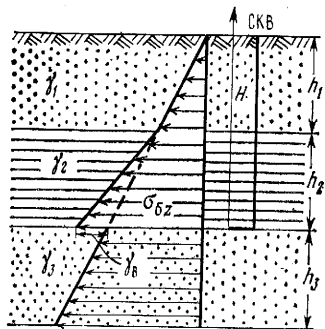


Рис. 15. Распределение природных (бытовых) напряжений в многослойной толще при наличии напорных вод

При наличии напорного горизонта подземных вод напор передается на подошву водонапорного слоя, перекрывающего горизонт, и давление для случая многослойной толщи (рис. 15) вычисляется по формуле

$$\sigma_{bz} = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 - H \gamma_B + \gamma_3 h_3.$$

Изменение положения уровня грунтовых вод или величины напора приводит к увеличению (или уменьшению) эпюры природных давлений, что вызывает нарушение равновесия, и к перемещениям поверхности земли вверх или вниз.

При заложении котлованов, карьеров, разрезов, глубоких выемок происходит разгрузка массива грунта. Изменения напряжения рассматриваются как отрицательные приращения, вызванные уменьшением давления. Расчеты производят по формулам для равномерно распределенной или треугольной нагрузки (при учете влияния откосов).

IV. РАСЧЕТЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ ОСНОВАНИЙ СООРУЖЕНИЙ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ

Общие положения. Предельная нагрузка, которую можно передать на естественное основание сооружения, определяется переходом естественного основания и выстроенного на нем сооружения в предельные состояния. Предельным называется такое состояние массива грунта, когда малейшее увеличение нагрузки может сделать возведенное сооружение непригодным для дальнейшей эксплуатации. Различают два предельных состояния: первое — по прочности или устойчивости и второе — по деформациям. Первое предельное состояние характеризуется образованием в основании поверхностей скольжения (или пластических зон), по которым может произойти сдвиг части основания вместе с сооружениями, второе — деформациями основания таких размеров, которые вызывают недопустимые повреждения строительных конструкций.

При расчете по предельным состояниям различают нормативные и расчетные нагрузки. Нормативными называют наибольшие нагрузки, которые установлены нормами и допускают нормальную эксплуатацию конструкций и их оснований. Расчетные нагрузки получают путем умножения нормативных нагрузок на коэффициенты перегрузки, величина которых колеблется от 1,1 до 1,4. Прочностные и деформационные свойства грунтов также характеризуются нормативными и расчетными показателями. Нормативные показатели вычисляются как средние из серии параллельных испытаний (не менее 7), расчетные — путем умножения на коэффициент однородности (обычно принимаемый в пределах 0,8—0,95) или путем вычисления с помощью статистических методов.

Расчеты по второму предельному состоянию (деформациям). Деформации сжатия естественного основания под воздействием веса возводимых сооружений

принято называть осадками. Различают конечные осадки, т. е. осадки, достигшие своего максимального развития при завершеном уплотнении грунта, и осадки, наблюдающиеся в процессе уплотнения для любого промежуточного значения времени t . Расчет по второму предельному состоянию основан на соблюдении неравенства

$$s \leq s_{\text{пр}},$$

где s — конечная осадка, вычисляемая по одной из рассмотренных ниже формул; $s_{\text{пр}}$ — предельная осадка для данного типа и конструкции здания или сооружения, устанавливаемая по табл. 18.

Расчет по второму предельному состоянию выполняется для всех зданий и сооружений, возводимых на нескальном основании.

Расчет конечных осадок фундаментов мелкого заложения. Применяется модель однородного и изотропного линейно-деформируемого полупространства. В зависимости от условий работы основания и размера фундаментов используют формулы, выведенные для случаев одномерного и многомерного сжатия.

Формулы для случая одномерного сжатия находят применение при большой площади загрузки, в два и более раз превышающей мощность слоя сжимаемого грунта. Боковое расширение не учитывается. Предполагается, что величина нормальных напряжений остается постоянной по всей мощности сжимаемой толщи. При однослойном строении толщи расчет производится по формуле

$$s = hP \frac{e - e_1}{1 + e_0} = ha_0 P,$$

при многослойном — по формуле

$$s = \sum_{i=1}^n h_i P \cdot \frac{e_{0i} - e_{1i}}{1 + e_{0i}} = \sum_{i=1}^n h_i a_{0i} P.$$

Значения коэффициента пористости e_0 и e_1 , а также приведенного коэффициента сжимаемости a_0 устанавливаются в лаборатории для точек, отвечающих половине мощности отдельных слоев.

Формулы многомерного сжатия учитывают не только сжатие грунта, но и перемещения его в стороны. Расчеты производятся по нескольким формулам.

1. По формуле Шлейхера, выведенной для случая однослойного однородного основания:

$$s = \frac{Pb\omega}{E_0} (1 - \mu_0),$$

Т а б л и ц а 18

Значения коэффициента ω

Формы подошвы фундамента	Глубина залегания «скалы»				
	1b	2b	5b	10b	> 10b
Круг	0,58	0,70	0,78	0,81	0,85
Прямоугольник при отношении сторон, равном:					
1	0,62	0,77	0,87	0,91	0,95
2	0,70	0,96	1,16	1,23	1,30
3	0,73	1,04	1,31	1,42	1,53
10	0,77	1,15	1,62	1,90	2,25
Полосы шириной	0,79	1,20	1,77	2,19	3,69

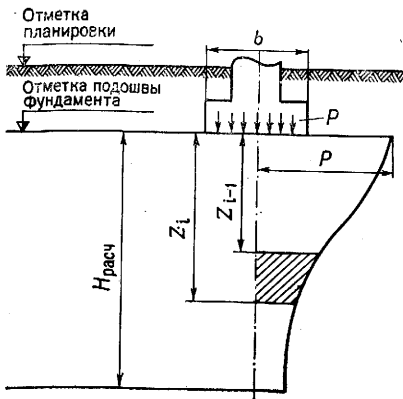


Рис. 16. Расчетная схема линейно-деформируемого слоя

Значения
коэффициента M

Пределы отношения $m' = 2H/b$ или $m' = H/r$	Значения коэффициента M
$0 < m' \leq 0,5$	1,0
$0,5 < m' \leq 1$	0,95
$1 < m' \leq 2$	0,90
$2 < m' \leq 3$	0,80
$3 < m' \leq 4$	0,75

где ω — коэффициент, зависящий от формы фундамента и глубины залегания несжимаемого слоя.

Для расчета средней осадки гибкого фундамента значения можно получить из табл. 18.

2. По формуле для линейно-деформируемого (упругого) слоя конечной толщины (рис. 16):

$$s = bPM \sum_{i=1}^n \frac{K_i - K_{i-1}}{E_i},$$

где b — ширина прямоугольного или диаметр круглого фундамента; p — среднее давление на грунт под подошвой фундамента; M — поправочный коэффициент, устанавливаемый по табл. 19; n — количество слоев, выделяемых по сжимаемости в пределах «упругого слоя»; K_i — коэффициент, определяемый по табл. 20.

Формула применяется в тех случаях, когда: а) сжимаемая толща подстилается на небольшой глубине (в пределах мощности активного слоя) практически несжимаемыми породами с $E_0 \geq 100$ МПа или б) фундамент имеет большие размеры (ширина или диаметр более 10 м (и модуль деформации грунтов $E_0 \geq 10$ МПа), независимо от глубины залегания несжимаемых пород.

Принимается, что осадка вызывается полным давлением, действующим по подошве фундамента, без вычета природного давления.

За расчетную толщину линейно-деформируемого слоя принимается

$$H_{расч} = H_0 + fb,$$

где H_0 и f принимаются равными для глинистых грунтов — 9 м и 0,15, а для песчаных грунтов — 6 м и 0,1. В том случае, если основание сложено глинистыми и песчаными грунтами, значение $H_{расч}$ принимается как средневзвешенное.

Метод эквивалентного слоя Н. А. Цытовича. Идея метода заключается в вычислении осадки слоя грунта такой мощности (эквивалентный слой), которая в условиях одномерного сжатия равна осадке грунта под фундаментом заданного размера в условиях многомерного сжатия:

$$s = h_s a_0 P,$$

где h_s — мощность эквивалентного слоя, равная

$$h_s = A \omega b.$$

Здесь A — коэффициент, зависящий от бокового расширения грунта:

$$A = \frac{(1 - \mu_0)^2}{1 - 2\mu_0},$$

ω — коэффициент, зависящий от формы и жесткости фундамента.

Значения коэффициента (K_i)

$m = 2z/b$ или $m = z/r$	Коэффициент K для фундаментов							легоч- ных при $n \geq 0$
	круглых радиусом	прямоугольных с соотношением сторон $n = l/b$, равным						
		1	1,4	1,8	2,4	3,2	5	
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,4	0,090	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,104
0,8	0,179	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,208
1,2	0,266	0,299	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,311
1,6	0,348	0,380	0,394	0,397	0,397	0,397	0,397	0,412
2,0	0,411	0,446	0,472	0,82	0,486	0,486	0,486	0,511
2,4	0,461	0,499	0,538	0,556	0,565	0,567	0,567	0,605
2,8	0,501	0,542	0,592	0,618	0,635	0,640	0,640	0,687
3,2	0,532	0,577	0,637	0,671	0,696	0,707	0,709	0,763
3,6	0,558	0,606	0,676	0,717	0,750	0,768	0,772	0,831
4,0	0,579	0,300	0,708	0,756	0,796	0,820	0,830	0,892
4,4	0,596	0,650	0,735	0,789	0,837	0,867	0,883	0,949
4,8	0,611	0,668	0,759	0,819	0,873	0,908	0,932	1,001
5,2	0,624	0,683	0,780	0,884	0,904	0,948	0,977	1,050
5,6	0,635	0,697	0,798	0,867	0,933	0,981	1,018	1,095
6,0	0,645	0,708	0,814	0,887	0,958	1,011	1,056	1,138
6,4	0,653	0,719	0,828	0,904	0,980	1,031	1,090	1,178
6,8	0,661	0,728	0,841	0,920	1,000	1,065	1,065	1,215
7,2	0,668	0,736	0,852	0,935	1,019	1,088	1,152	1,251
7,6	0,674	0,744	0,863	0,948	1,036	1,109	1,180	1,285
8,0	0,679	0,751	0,872	0,960	1,051	1,128	1,205	1,316
8,4	0,684	0,757	0,881	0,970	1,065	1,146	1,229	1,347
8,8	0,689	0,762	0,888	0,980	1,078	1,162	1,251	1,376
9,2	0,693	0,768	0,896	0,989	1,089	1,178	1,272	1,404
9,6	0,697	0,772	0,902	0,998	1,100	1,192	1,291	1,431
10,0	0,700	0,777	0,908	1,005	1,110	1,205	1,309	1,456
11,0	0,705	0,786	0,922	1,022	1,132	1,233	1,349	1,506
12,0	0,710	0,794	0,933	1,037	1,151	1,257	1,384	1,550

Таблица 21

Значение коэффициента эквивалентного слоя
для жестких фундаментов

Коэффициент Пуассона μ_0	Соотношение сторон подошвы фундамента $\frac{l}{b}$					
	1	1,5	2	3	5	10
0,0	0,89	0,09	1,23	1,46	1,74	2,15
0,20	0,94	1,15	1,30	1,54	1,84	2,26
0,25	0,99	1,21	1,37	1,62	1,94	2,38
0,30	1,08	1,32	1,49	1,76	2,11	2,60
0,35	1,24	1,52	1,72	2,01	2,42	2,98
0,40	1,58	1,94	2,20	2,59	3,10	3,82

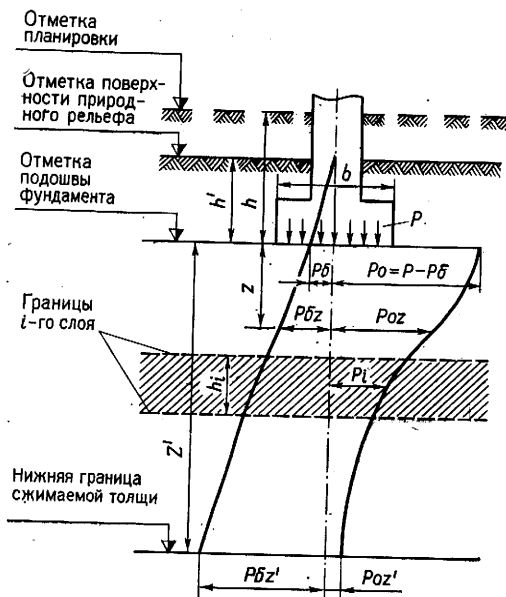


Рис. 17. Расчетная схема метода послойного суммирования

Значения произведения A_{ω} , получившего название коэффициента эквивалентного слоя, можно взять из табл. 21.

Метод послойного суммирования (рис. 17), рекомендуемый СНиП II-15-74, основан на суммировании величин осадки элементарных слоев, на которые разбивается толща согласно формуле

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{P_i h_i}{E_i},$$

где h_i — толщина i -го слоя (см), принимаемая равной $0,2b$; P_i — полусумма вертикальных нормальных напряжений, возникающих на верхней и нижней границах i -го слоя грунта от давления, передаваемого фундаментом; n — число слоев, на которые делится толща грунтов, слагающая основание; β — безразмерный коэффициент, принимаемый для всех грунтов равным $0,8$.

Напряжения вычисляются с учетом уменьшения давления за счет вынутаго из котлована грунта. Соответственно формула записывается в следующем виде:

$$\sigma_z = K_4 (P - \sigma_{6h}) = K_4 (P - \gamma h),$$

где σ_{6h} природное (бытовое) давление на отметке подошвы фундамента; K_4 — коэффициент, зависящий от формы фундамента, определяется по СНиП II-15-74, прилож. 2, табл. 3.

При учете влияния соседних фундаментов используется метод угловых точек. Мощность сжимаемой толщи устанавливается по правилам, изложенным ниже.

Определение мощности сжимаемой толщи. В методе послойного суммирования границу сжимаемой толщи, которая получила название активной зоны, предлагается ограничить таким значением глубины (считая от подошвы фундамента), где удовлетворяется условие:

$$\sigma_z = 0,2\sigma_{6z}.$$

Исключением является случай, когда на границе активной зоны или ниже ее залегают грунт с модулем общей деформации $E_0 < 5$ МПа. В этом случае границу активной зоны предлагается устанавливать по критерию $\sigma_z = 0,1\sigma_{0z}$ (СНиП II-15—74, ч. 2, гл. 15). В методе Н. А. Цытовича мощность сжимаемой толщи ограничивается удвоенной мощностью эквивалентного слоя ($2h_s$). В ряде случаев мощность эквивалентного слоя можно определить экспериментально, исходя из поведения грунта под нагрузкой. Так, А. А. Ничипорович рекомендует производить испытания образцов грунта на компрессию после их набухания при закрытом аретирном ходе компрессионного прибора. Горизонтальный отрезок компрессионной кривой покажет величину напряжения, при котором сжатия грунта не происходит.

Расчет конечных осадок фундаментов глубокого заложения в фазе сдвигов (с учетом нелинейности). При возведении сооружений с фундаментами глубокого заложения опасность выпора грунта уменьшается и создается возможность значительно повысить передаваемые на грунт давления. Здесь расчет осадок нужно вести уже с учетом нарушения линейной зависимости между деформациями и напряжениями, так как в противном случае можно значительно занижить величины конечных осадок (по данным В. Г. Березанцева до 70%).

Поскольку точные решения задачи на основе теории нелинейно деформируемой среды еще не получены, для расчетов используются приближенные методы, основанные: а) на замене криволинейной части графика осадки ломанной линией и б) на приближенном учете влияния пластических областей на величину осадки. Первый прием удобно использовать при расчете песчаных оснований. В этом случае кривая $s = f(\sigma)$ на участке $\sigma_{кр1} - \sigma_{кр2}$ спрямляется и применяется формула с разными E_0 для двух участков полученной ломанной линии:

$$s = \frac{\omega (\sigma_{кр1} - \gamma h) \sqrt{F(1 - \mu_{01}^2)}}{E_{01}} + \frac{\omega (\sigma - \gamma_{кр1}) \sqrt{F(1 - \mu_{02}^2)}}{E_{02}},$$

где $E_{01}E_{02}$ и μ_{01} и μ_{02} — модули общей деформации и коэффициенты Пуассона для фазы уплотнения и для фазы сдвигов, получаемые испытаниями на стабилометрах; ω — числовой коэффициент (см. табл. 18); F — площадь фундамента.

Предельные величины деформации естественных оснований и й. Конечные осадки не должны превышать установленных предельных величин. Если основание состоит из горизонтально залегающих слоев, а их сжимаемость с глубиной не увеличивается, то ограничиваются определением средней осадки фундаментов проектируемых зданий и сооружений по формуле

$$s_{ср} = \frac{s_1F_1 + s_2F_2 + \dots + s_nF_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n},$$

где F_1, F_2, F_3 — площади подошвы фундаментов.

Величину предельной средней осадки принимают равной: для зданий с неармированными крупноблочными и кирпичными стенами при $h/l > 2,5$ (где h — высота здания, а l — длина стены) 8 см, при $h/l < 2,5$ — 10 см; для крупноблочных и кирпичных зданий, армированных железобетонными поясами (независимо от $\frac{h}{l}$), — 15 см; для крупнопанельных и крупноблочных бескаркасных зданий — 8 см, с каркасом — 10 см; для одноэтажных промышленных и других зданий с шагом колонн 6 и 12 м соответственно 8 и 12 см; для сплошных железобетонных фундаментов доменных печей, дымовых труб и других сооружений — 30 см.

При сложном строении основания учитываются также предельные разности осадок фундаментов, значения которых приведены в СНиП II-15—74.

Следует учитывать, что разность осадок определяется без учета жесткости фундаментов, которая приводит к некоторому выравниванию неравномерностей осадок.

Развитие осадок во времени носит название консолидации грунта. Консолидация связана с отжимом воды из пор грунта (фильтрационная консолидация) и явлениями ползучести скелета (компрессионная консолидация).

В настоящее время удовлетворительно разработана теория фильтрационной консолидации, основанная на ряде допущений (минеральные частицы и поровая жидкость несжимаемы и не взаимодействуют между собой, связи между частицами отсутствуют, грунт уплотняется по мере отжатия поровой воды). Для расчета компрессионной консолидации применяются эмпирические формулы.

V. УСЛОВИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ И НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ГРУНТОВ

Устойчивостью в механике грунтов называют состояние устойчивого равновесия грунтовых масс при воздействии внешних нагрузок. Теория предельного равновесия рассматривает следующие практические задачи механики грунтов: определение несущей способности естественных оснований, расчет давления грунтовых масс на ограждающие конструкции, расчет устойчивости откосов и оползневых склонов.

Понятие о фазах напряженного состояния грунта. Рассмотрим зависимость деформаций грунтового основания от напряжений при действии местной нагрузки, передаваемой на грунт посредством жесткого штампа. При изменении напряжений от нуля до некоторого значения $\sigma_{пр}$ мы наблюдаем пропорциональное практически линейное приращение деформаций S . В пределах нагрузок, вызывающих пропорциональное изменение деформаций от соответствующих напряжений, отмечается фаза уплотнения грунтов. В этой фазе напряженного состояния грунта соотношения между деформациями и напряжениями подчиняются закономерностям теории линейно деформируемых сред. Процесс деформаций грунта в первой фазе напряженного состояния происходит в основном за счет изменения пористости. При этом, как показали исследования М. И. Горбунова-Посадова и В. Г. Берзанцева, в фазе уплотнения под штампом образуется уплотненное ядро.

Вторая фаза напряженного состояния характеризуется криволинейным характером изменения деформаций при увеличении напряжений. Это фаза потери устойчивости основания и разрушения грунта.

Форма и направление поверхностей скольжения частиц грунта при его разрушении, которое проявляется в виде выпирания грунта на поверхности, или при его выдавливании в стороны, зависит от физико-механических свойств грунтов, а также от боковой пригрузки и глубины заложения штампа-фундамента.

Промежуточной фазой напряженного состояния является переход от фазы уплотнения грунта под действием напряжений к его разрушению. В промежуточной фазе заканчиваются деформации уплотнения, завершается процесс формирования уплотненного ядра под штампом и начинают преобладать деформации сдвига частиц под действием бокового отжатия грунта уплотненным ядром. Промежуточная фаза характеризует предел несущей способности грунта, т. е. границу, после которой при увеличении напряжений начинается процесс его разрушения.

Круг предельных напряжений Мора. Из характера фаз напряженного состояния грунта при действии на него нагрузки, а также из характера деформаций, соответствующих данному напряженному состоянию, видно, что деформации сдвига начинаются при определенных соотношениях составляющих напряжений в рассматриваемой точке грунтового массива.

Главными напряжениями называются наибольшие и наименьшие нормальные напряжения по плоскостям, где касательные напряжения равны нулю. Плоскости, в которых действуют главные напряжения, называются плоскостями главных напряжений. В общем случае через любую точку грунтового массива, находящегося в напряженном состоянии, можно провести три взаимно перпендикулярные плоскости, в которых действуют главные напряжения.

В условиях плоской деформации грунтового массива, т. е. в тех случаях, когда в сечениях, перпендикулярных к одной из плоскостей главных напряжений, действуют одинаковые напряжения, для выражения напряженного состояния в любой точке массива удобно пользоваться кругом напряжений Мора, предложенным им в 1871 г.

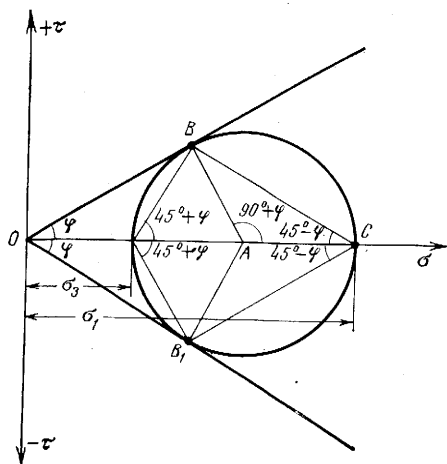


Рис. 18. Круг напряжений Мора для сыпучих грунтов

Круг Мора — это графический способ изображения напряженного состояния грунтового массива в данной точке. Для построения круга предельных напряжений Мора воспользуемся результатами испытания образцов грунта в приборе трехосного сжатия. В случае, когда $C = 0$ (сыпучий грунт), на оси ординат графика $\tau = f(\sigma)$ (рис. 18) откладываем величины главных напряжений; σ_1, σ_3 — наибольшее и наименьшее главные напряжения, которые соответствуют срезу или разрушению образца.

Радиусом, равным

$$R = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2},$$

проводим окружность из центра A , находящегося на расстоянии

$$OA = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

от начала координат. Далее из начала координат проводим касательные к окружности в точках B и B_1 . Касательные OB и OB_1 называются линиями разрушения. Они выражают предельное сопротивление грунта сдвигу, описываемое уравнением Кулона. Угол наклона касательной к оси абсцисс будет равен углу внутреннего трения φ .

Для связных грунтов, у которых $C \neq 0$, можно построить круг предельных напряжений Мора, если известны величины главных напряжений σ_1 и σ_3 , а также величина удельной силы сцепления C . Последнюю находят по данным испытаний на срез или на разрушение не менее чем двух образцов. Такое построение показано на рис. 19.

Линии разрушения O_1B и O_1B_1 пересекают ось ординат в точках, соответствующих значению удельной силы сцепления, и касаются круга предельных на-

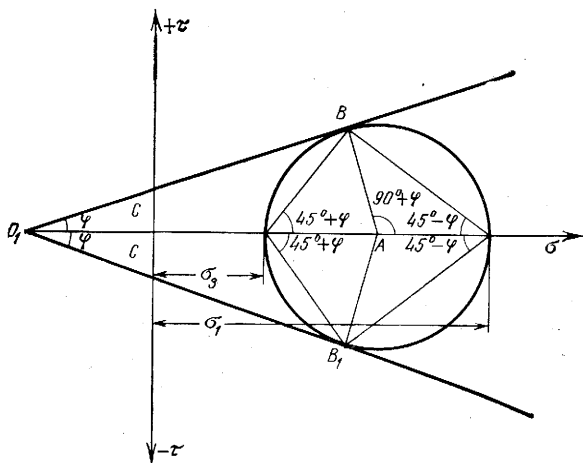


Рис. 19. Круг напряжений Мора для связных грунтов

пряжений в точках B и B_1 . Угол наклона линий разрушения к оси абсцисс будет равен углу внутреннего трения связного грунта.

Координаты любой точки окружности круга Мора определяют величины нормальных и касательных напряжений в плоскостях, образующих с направлением главного напряжения угол $\alpha < 90^\circ$ — для верхней полуокружности и угол $\alpha > 90^\circ$ — для нижней полуокружности.

Разрушение грунта происходит одновременно по двум плоскостям, которые пересекают плоскость главного напряжения под углом $\alpha = 45 + \frac{\varphi}{2}$. При этом направление плоскости скольжения не зависит от удельной силы сцепления.

Круг напряжений Мора, кроме оценки напряженного состояния в заданной точке грунтового массива, позволяет оценить значение одного из главных напряжений, когда направление и величина другого напряжения известны.

Из геометрических построений находим условия предельного равновесия или начало разрушения для сыпучих грунтов, выраженные через главные напряжения:

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3}.$$

Для связных грунтов аналогично получаем:

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3} - \frac{2c \cos \varphi}{\sigma_1 + \sigma_3}.$$

Условия предельного равновесия или начало разрушения сыпучих грунтов для двух любых произвольных взаимно перпендикулярных пересекающихся в данной точке плоскостей, выраженное через составляющие напряжения σ_x , σ_z и τ_{xz} в координатных осях x , y , будут равны

$$\sin^2 \varphi = \frac{(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4\tau_{xz}^2}{(\sigma_x + \sigma_z)^2}.$$

Из рис. 19 для связных грунтов имеем:

$$\sin^2 \varphi = \frac{(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4\tau_{xz}^2}{(\sigma_x + \sigma_z + 2c \operatorname{ctg} \varphi)^2}.$$

Необходимо отметить, что построение кругов предельных напряжений Мора справедливо при следующих допущениях: а) значения параметров c и φ одинаковы и постоянны для любого сечения, проходящего через заданную точку; б) деформации уплотнения и сдвигов не влияют на значения параметров c и φ во всех фазах напряженного состояния грунтового массива.

Угол наибольшего отклонения. Через заданную точку грунтового массива, находящегося в напряженном состоянии, проведем площадку $I-I$ (рис. 20) под некоторым углом α к горизонтальной плоскости, на которую действуют нормальное σ_α и касательное τ_α напряжения. Угол θ , составленный суммарным напряжением σ и нормалью к рассматриваемой площадке $I-I$, называется углом отклонения полного напряжения.

В зависимости от соотношения главных напряжений σ_1 и σ_3 угол отклонения θ может приобретать различные максимальные значения при изменении угла наклона α рассматриваемой площадки $I-I$ к горизонтальной плоскости. Чем больше возможный максимальный угол отклонения, тем меньше будет сопротивление грунта сдвигу в рассматриваемой точке.

Максимальный угол отклонения имеет предельное значение в том случае, когда грунтовый массив находится в условиях предельного равновесия:

$$\operatorname{tg} \theta_{\max} = \left| \frac{\tau_\alpha}{\sigma_\alpha} \right|_{\max}.$$

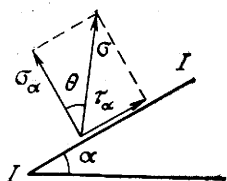
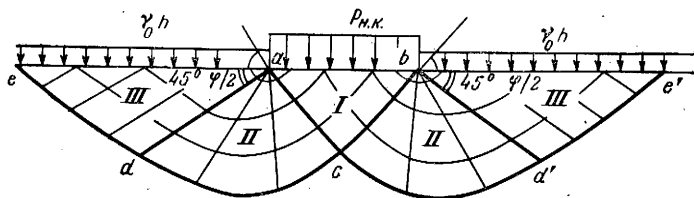


Рис. 20. Угол наибольшего отклонения полного напряжения

Рис. 21. Развитие областей предельного напряженного состояния при действии предельной критической нагрузки



Если отношение $\frac{\tau_\alpha}{\sigma_\alpha}$ выражает прямолинейную функцию напряженного состояния, то

$$\operatorname{tg} \theta_{\max} = \operatorname{tg} \varphi,$$

где φ — угол внутреннего трения грунта.

Практическая оценка устойчивости естественных оснований при решении различных инженерных задач на основе теории предельного равновесия производится по двум критериям начальной критической и предельной критической нагрузок.

Начальная критическая нагрузка, или краевое критическое давление, — это нагрузка такой интенсивности, при которой заканчивается процесс уплотнения грунта, начинается формирование упругого ядра и появляются площадки сдвига в зоне, смежной с упругим ядром. При начальной критической нагрузке касательные и нормальные напряжения для появляющихся площадок сдвига связаны условием предельного равновесия. Формулу для определения начальной критической нагрузки, выведенную из условия полного отсутствия зон предельного равновесия, впервые получил Н. П. Пузыревский в 1923 г.

$$p_{н.к} = \frac{\pi \left(\gamma_0 h + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} \right)}{\operatorname{ctg} \varphi + \varphi + \frac{\pi}{2}} + \gamma_0 h,$$

где $\gamma_0 h$ — пригрузка от слоя грунта с объемным весом γ_0 и высотой h , расположенного выше плоскости приложения нагрузки. При таком состоянии грунт еще имеет некоторый потенциальный запас несущей способности.

Предельная критическая нагрузка характеризуется таким состоянием грунтов основания, при котором полностью заканчивается развитие областей предельного равновесия, сопровождающееся сдвигами в этих зонах. Сопротивление сдвигу и несущая способность грунта в зонах предельного равновесия достигают при этом предельного значения.

При предельной критической нагрузке в массиве можно выделить следующие три области предельного напряженного состояния (рис. 21).

Область I, расположенная непосредственно под площадью загрузки грунтового массива, представляет собой упругий клин, который образуется в фазе уплотнения грунта под нагрузкой.

По данным К. Терцаги, отрезки ac и bc образующие упругий клин, наклонены к горизонтальной плоскости под углом $\psi = 45^\circ + \varphi/2$, если в плоскости ab между грузовой площадкой и грунтом отсутствуют трение и сцепление. Если

трение и сцепление в сечении ab не равны нулю, то угол φ равен углу внутреннего трения φ . По исследованиям М. И. Горбунова-Посадова, упругое ядро имеет копьевидно-треугольную форму с несколько вогнутыми гранями.

Области II лежат между образующими упругого клина ac и bc и лучами ad и bd' , выходящими из точек a и b под углом $45^\circ - \varphi/2$ к горизонтальной плоскости. Криволинейные участки cd и cd' могут быть приняты по дуге логарифмической спирали вида

$$r = r_a e^{\beta \operatorname{tg} \varphi},$$

где r — текущий радиус спирали; r_a — начальный радиус, равный образующей bc или ac ; β — центральный угол между радиусами r и r_a , выраженный в радианах. Области II являются областями сдвигов, развивающихся по радиальным поверхностям скольжения, распространяющимся от краев нагруженной площадки.

Области III ограничены образующими ad , bd' и прямолинейными отрезками ed , $e'd'$, пересекающими горизонтальную плоскость в точках e , e' под углом $45^\circ - \varphi/2$.

Эти области пассивного отпора относятся к той части грунта, которая при превышении предельной критической нагрузки выпирается на поверхность грунтового массива. В ряде случаев, когда пригрузка $\gamma_0 h$ достаточно велика, а плотность сложения грунта мала, выпирания грунта может не произойти. При этом массив грунта может потерять устойчивость за счет так называемых местных сдвигов в областях II, деформация которых вызывает деформации уплотнения грунта в областях III.

На основе решений плоской задачи теории предельного равновесия В. В. Соколовский получил следующие выражения для предельной критической нагрузки.

1. Для полосообразной нагрузки при связном грунте основания и при отсутствии пригрузки:

$$p_{п.к} = \bar{\sigma}_z \cdot c \text{ при } x = \bar{x} \frac{c}{\gamma_0}.$$

2. Для полосообразной нагрузки при связном грунте основания и небольшой пригрузке [$h/b < 0,5$]:

$$p_{п.к} = \bar{\sigma}_z (c + q \operatorname{tg} \varphi) + q \text{ при } x = \bar{x} \frac{q \operatorname{tg} \varphi + c}{\gamma_0}.$$

Т а б л и ц а 22

Безразмерные величины $\bar{\sigma}_z$
для определения предельной критической нагрузки

\bar{x}	φ°							
	5	10	15	20	25	30	35	40
0	6,49	8,34	11,0	14,8	20,7	30,1	46,1	75,3
0,5	6,73	9,02	12,0	17,0	27,0	43,0	73,8	139
1,0	6,95	9,64	13,8	20,6	32,3	53,9	97,1	193
1,5	7,17	10,2	15,1	23,1	37,3	64	119	243
2,0	7,38	10,8	16,2	25,4	41,9	73	140	292
2,5	7,56	11,3	17,3	27,7	46,4	82	160	339
3,0	7,77	11,8	18,4	29,8	50,8	91	179	386
3,5	7,96	12,3	19,4	31,9	55,0	101	199	432
4,0	8,15	12,8	20,5	34,0	59,2	109	218	478
4,5	8,33	13,2	21,4	36,0	63,8	118	237	523
5,0	8,50	13,7	22,4	38,0	67,3	127	256	568
5,5	8,67	14,1	23,2	39,9	71,3	135	275	613
6,0	8,84	14,5	24,2	41,8	75,3	143	293	658

3. Для полосообразной нагрузки при сыпучем грунте основания и небольшой пригрузке [$h/b < 0,5$]:

$$P_{п.к} = q (\bar{\sigma} \operatorname{tg} \varphi + 1) \text{ при } x = \bar{x} \frac{q \operatorname{tg} \varphi}{\gamma_0}.$$

Значения безразмерных величин $\bar{\sigma}_z$ и \bar{x} приведены в табл. 22.

VI. ДАВЛЕНИЕ ГРУНТОВ НА ОГРАЖДЕНИЯ

Давление грунтов на подпорную стенку. Определение давления грунтов на подпорную стенку является одной из важных задач при расчете давления грунтов на ограждения. На рис. 22 изображена подпорная стенка, которая воспринимает боковое давление грунта, обозначенное равнодействующей силой E_a . Под действием этой силы стенка стремится сместиться в сторону. Равновесие стенки обеспечивается ее собственным давлением Q и противодействием грунта $E_{п}$ на другую сторону стенки.

Давление грунта, обозначенное равнодействующей E_a , которое передается со стороны грунтового массива и воспринимается ограждением, называется активным давлением.

Противодавление грунта, обозначенное равнодействующей $E_{п}$, которое передается от ограждения и воспринимается грунтом, называется пассивным давлением, или отпором.

Если подпорную стенку перемещать по направлению действия активного давления E_a , то в конечном итоге произойдет сползание части грунтового массива по кривой скольжения ab .

Часть грунтового массива, которая вызывает активное давление грунта на стенку и сползает при перемещении ограждения по линии его действия, называется призмой обрушения. Часть грунтового массива, которая вызывает пассивное давление $E_{п}$ и выпирается при непрекращающемся перемещении стенки, называется призмой выпирания.

Приближенный метод Кулона для определения активного и пассивного давления грунтов на подпорные стенки. Точные решения задачи по определению давления грунтов на ограждения, а также результаты многочисленных экспериментальных исследований показывают, что поверхность скольжения призмы обрушения имеет криволинейное очертание. Решение задачи упрощается в том случае, если очертания поверхностей скольжения считать прямолинейными.

Наиболее распространенные приближенные решения задачи по определению давления грунтов на ограждения, поверхности скольжения которых имеют прямолинейные очертания, основаны на теории давления сыпучих сред Кулона.

В основу решений Кулона положены следующие допущения: 1) криволинейные поверхности скольжения призм обрушения и выпирания заменяются прямолинейными; 2) максимальное давление грунта на подпорную стенку равно давлению грунта призмы обрушения или призмы выпирания; 3) грунт призмы обрушения или выпирания представляет собой изотропную однородную по свойствам

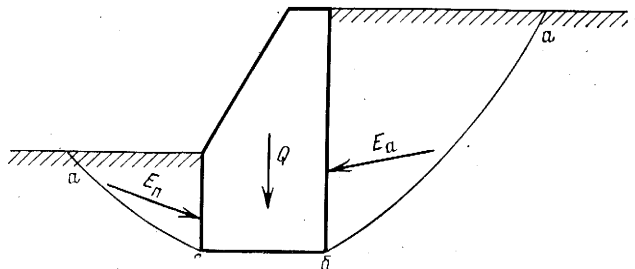


Рис. 22. Схема давлений грунта на подпорную стенку

среду, вертикальное давление которой изменяется с глубиной по закону прямой линии.

В дальнейшем решение Кулона для сыпучих сред было распространено и на связные грунты с учетом сил сцепления последних.

ВИ. ДАВЛЕНИЕ ПОРОД В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Давление пород, которое возникает в горных выработках, называется горным давлением.

Давление на кровлю выработки при ее расположении на глубине, превосходящей величину в 5 полуширин сечения выработки, практически считается независящим от глубины расположения выработки вследствие появления разгружающего эффекта (свода), или так называемого арочного эффекта.

Характеристикой прочности пород при расчете горного давления, по М. М. Протодьяконову, является коэффициент крепости пород, который учитывает как трение, так и сцепление пород. Коэффициент крепости $f_{кр}$ для различных пород имеет следующие значения.

Для рыхлых пород:

$$f_{кр} = \operatorname{tg} \varphi,$$

он практически изменяется в пределах от 0,1 до 1.

Для связных пород:

$$f_{кр} = \frac{\sigma \operatorname{tg} \varphi + c}{\sigma},$$

он практически изменяется в пределах от 1 до 5.

Для скальных пород:

$$f_{кр} = \frac{1}{100} R_{сж}$$

(где σ — нормальное напряжение, при котором определяется сопротивление сдвигу; $R_{сж}$ — временное сопротивление образца породы на сжатие), он практически изменяется в пределах от 5 до 20.

Приведем значения основных величин (рис. 23).

1. Высота разгружающего свода для горной выработки, пройденной в сыпучих породах:

$$h_{св} = \frac{b_1}{f_{кр}},$$

где b_1 — полуширина выработки.

2. Текущая ордината разгружающего свода

$$y = \frac{x^2}{b_1 f_{кр}}.$$

3. Максимальное давление породы на кровлю выработки по оси свода:

$$\sigma_{\max} = \frac{\gamma_0 b_1}{f_{кр}}.$$

4. Давление породы в любой другой точке кровли:

$$\sigma = \frac{\gamma_0 b_1}{f_{кр}} - \frac{\gamma_0 x^2}{b_1 f_{кр}}.$$

5. Горизонтальное давление в верхней точке боковой стенки выработки:

$$\sigma_{г}^B = \gamma_0 h_{св} \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2) - 2 \operatorname{ctg} (45^\circ - \varphi/2).$$

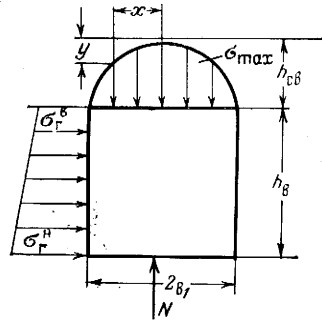


Рис. 23. Давление пород, действующее на горную выработку

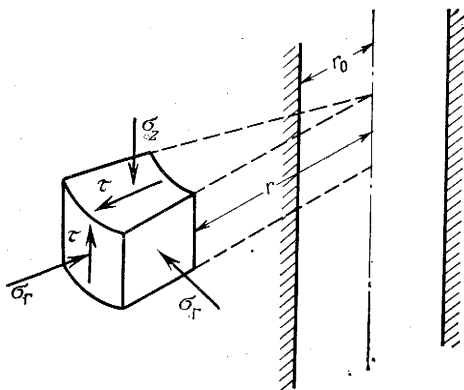


Рис. 24. Напряжения, возникающие вокруг буровой скважины

6. Горизонтальное давление в нижней точке боковой стенки выработки:

$$\sigma_r^H = \gamma_0 (h_{св} + h_0) \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2) - 2c \operatorname{ctg} (45^\circ - \varphi/2).$$

7. Давление на подошву выработки («дутье породы»):

$$N = (E_a - E_{п}) \operatorname{tg} (45^\circ - \varphi/2),$$

где E_a и $E_{п}$ — активное и пассивное давление породы.

При проходке буровых скважин возникает проблема крепления их стенок, поскольку под действием давлений, возникающих от собственного веса грунта, происходит потеря устойчивости стенок и начинаются пластические течения

породы в горизонтальных плоскостях скважины. В элементарном объеме грунта, расположенном на глубине Z на некотором расстоянии r от оси скважины, действуют следующие усилия (рис. 24).

1. До бурения скважины:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_z &= \gamma_0 z; \\ \sigma_r &= \sigma_\Gamma = \lambda_0 \gamma_0 z; \\ \tau_{rz} &= 0, \end{aligned} \right\}$$

где $\lambda_0 = \frac{\mu}{1 - \mu}$ — коэффициент статического давления грунта; μ — коэффициент Пуассона.

2. После проходки скважины в песчаных грунтах ($c = 0$)

$$\left. \begin{aligned} \sigma_z &= \gamma_0 z; \\ \sigma_r &= \sigma_{r_0} \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_\varphi - 1}; \\ \sigma_\Gamma &= \lambda_\varphi \sigma_{r_0} \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_\varphi - 1}; \\ r_{п} &= r_0 \left[\frac{2\gamma_0 z}{\sigma_{r_0} (\lambda_\varphi + 1)} \right]^{\frac{1}{\lambda_\varphi - 1}}, \end{aligned} \right\}$$

где σ_{r_0} — нормальное напряжение по стенке буровой скважины; $\lambda_\varphi = \operatorname{tg}^2 (45^\circ + \varphi/2)$ — предельное соотношение главных направлений; r_0 — радиус буровой скважины; σ_r — горизонтальное радиальное направление; σ_Γ — горизонтальное главное напряжение (перпендикулярное к радиусу); $r_{п}$ — предельный радиус зоны пластических деформаций грунта за стенкой скважины.

3. После проходки скважины в глинистых грунтах ($\varphi = 0$)

$$\begin{aligned} \sigma_r &= 2c \ln \left(\frac{r}{r_0} \right) + \sigma_{r_0}; \\ \sigma_\Gamma &= 2c \left[\ln \left(\frac{r}{r_0} \right) + 1 \right] + \sigma_{r_0}; \\ r_{п} &= r_0 e^{\frac{\lambda_0 z c - \sigma_{r_0}}{2c}}. \end{aligned}$$

VIII. УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ

Перемещение грунтовых масс на склонах в природных условиях является следствием нарушения равновесия сил, удерживающих грунты в статическом состоянии, в пользу сил сдвигающих. Нарушения устойчивости склонов проявляются в форме оползней и обвалов. Если же поверхность скольжения выражена не явно, то нарушение устойчивости проявляется в виде сплывов и выдавливания. Последние явления наиболее точно подчиняются законам гидродинамики, поскольку при этом происходят течения, близкие к течению тяжелой жидкости.

Причинами потери устойчивости склонов во всех случаях являются внешние или внутренние силовые воздействия, вызывающие нарушение предельного равновесия откоса. К таким силовым воздействиям относятся: возведение искусственных сооружений на склонах, повышение или понижение уровня грунтовых вод, изменение гидродинамических сил фильтрационных потоков, уменьшение пассивного давления подошвы склона за счет подмыва или отрыва канав и др.

Очертания поверхностей скольжения в склонах, теряющих устойчивость, обычно криволинейные. Если склон сложен разнородными по свойствам грунтами, то поверхность скольжения будет иметь криволинейные очертания с изломами и прямолинейными участками на границах слоев.

В ряде случаев, когда несущая способность основания оказывается ниже прочности самого склона, может произойти разрушение основания склона.

Устойчивость откоса, сложенного сыпучими грунтами. Рассмотрим устойчивость откоса, сложенного грунтами, обладающими только трением ($c = 0$). Устойчивость откоса будет обеспечена в том случае, если каждая элементарная частица на поверхности откоса будет находиться в равновесии. При этом предельное равновесие выразится соотношением

$$\operatorname{tg} \alpha = f = \operatorname{tg} \varphi,$$

или

$$\alpha = \varphi,$$

т. е. для сыпучей среды устойчивость откоса обеспечивается в том случае, если угол естественного откоса α равен или меньше угла внутреннего трения среды φ .

Устойчивость откоса, сложенного связными грунтами. Если грунты, слагающие откос, обладают только сцеплением ($\varphi = 0$), то до некоторой глубины h откос может быть вертикальным, а ниже он должен иметь криволинейное очертание.

Предельная высота $h_{\text{пр}}$, до которой откос может удерживаться силами сцепления в вертикальном положении, равна:

$$h_{\text{пр}} = \frac{2c}{\gamma_0}.$$

Текущие координаты откоса y , ниже предельной высоты вертикальной части откоса, согласно решению В. В. Соколовского, связаны уравнением

$$y = \frac{2c}{\gamma_0} \ln \frac{\cos \left(\frac{\gamma_0 h_{\text{пр}}}{2c} - 1 \right)}{\cos \left(\frac{\gamma_0 h_{\text{пр}}}{2c} - 1 - \frac{\gamma_0 z}{2c} \right)}.$$

При практическом использовании уравнений для определения устойчивой формы откосов необходимо вводить соответствующий коэффициент запаса, поскольку эти уравнения выражают предельное равновесие грунтов.

Устойчивость откоса, сложенного грунтами, обладающими трением и сцеплением. 1. Решение В. В. Соколовского. На основе решений плоской задачи предельного равновесия В. В. Соколовский получил решение для определения очертания равноустойчивого откоса, сложенного из грунтов, обладающих как трением, так и сцеплением. На рис. 25 приведены графики этого решения, которые представляют собой безразмерные координаты равноустойчивых

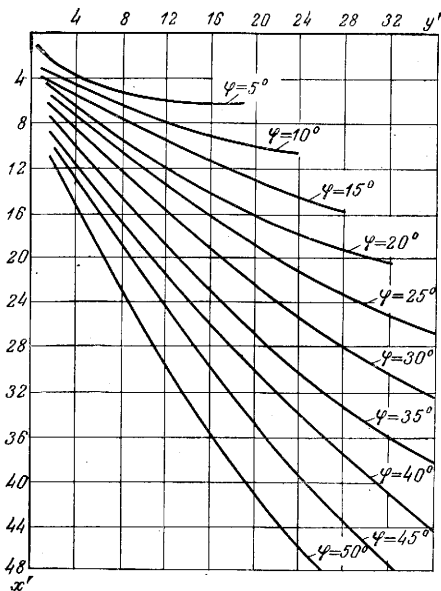
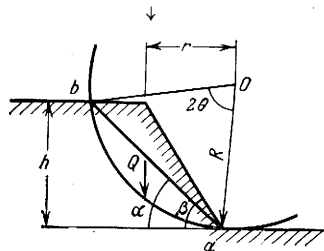


Рис. 25. Очертание равноустойчивых откосов в безразмерных координатах

Рис. 26. Определение устойчивости откоса по критическому кругу скольжения



откосов для различных углов внутреннего трения φ . Истинные координаты откосов будут равны:

$$x = x' \frac{c}{\gamma_0} \quad \text{и} \quad y = y' \frac{c}{\gamma_0}.$$

Таким образом, безразмерные координаты x' , y' равноустойчивых откосов, указанные на графиках, уточняются внесением постоянной для данных грунтов поправки, равной отношению сцепления к объемному весу грунта.

Для определения истинного значения предельной нагрузки на горизонтальную плоскость откоса следует пользоваться выражением

$$p_{\text{пр}} = \bar{\sigma}_z c + \text{ctg } \varphi \cdot c; \quad y = y' \frac{c}{\gamma_0}.$$

В табл. 23 приведены безразмерные величины $\bar{\sigma}_z$ в зависимости от угла внутреннего трения φ и угла наклона откоса к горизонтальной плоскости α . При криволинейной очертаии откоса предельное давление на него можно определить по формуле

$$p_{\text{пр}} = c \text{ctg } \varphi \left[\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi e^{(\pi + 2\alpha_0) \text{tg } \varphi}} - 1 \right],$$

где α_0 — угол между касательной к откосу в точке O и горизонтальной плоскостью.

2. Приближенный метод критического круга скольжения Терцаги. Допустим, что разрушение откоса произойдет по поверхности скольжения ab (рис. 26), которая является дугой окружности, описанной радиусом R из центра O и проходящей через подошву откоса.

При угле внутреннего трения $\varphi = 0$ устойчивость откоса будет определяться величиной сил сцепления, действующих по дуге ab . Из условия равновесия откоса находим:

$$c = Q \frac{r}{Rl},$$

где c — удельная сила сцепления, необходимая для обеспечения устойчивости откоса; Q — вес призмы обрушения откоса; r — плечо силы относительно центра окружности.

Безразмерные коэффициенты для определения предельного давления
на горизонтальную поверхность откоса

y'	$\varphi = 10^\circ$		$\varphi = 20^\circ$			$\varphi = 30^\circ$				$\varphi = 40^\circ$				
	Значения α													
	0	10°	0	10°	20°	0	10°	20°	30°	0	10°	20°	30°	40°
0	8,34	7,51	14,8	12,7	10,9	30,1	24,3	19,6	15,7	75,3	55,9	41,4	30,6	22,5
0,5	9,02	7,90	17,9	14,8	12,0	43,0	32,6	24,4	18,1	139	94,0	62,6	41,3	27,1
1	9,64	8,26	20,6	16,6	13,1	53,9	39,8	28,8	20,3	193	126	81,1	50,9	31,0
1,5	10,2	8,62	23,1	18,2	14,1	64,0	46,5	32,8	22,3	243	157	98,5	59,8	34,7
2	10,8	8,85	24,4	19,9	15,0	73,6	52,9	36,7	24,2	292	186	115	68,4	38,1
2,5	11,3	9,28	27,7	21,4	15,8	82,9	59,0	40,4	26,0	339	215	132	76,7	41,3
3	11,8	9,59	29,8	23,0	16,7	91,8	65,1	44,1	27,8	386	243	148	84,9	44,4
3,5	12,3	9,89	31,9	24,4	17,5	101	71,0	47,6	29,4	432	271	164	93,0	47,5
4	12,8	10,2	34,0	25,8	18,3	109	76,8	51,2	31,1	478	299	179	101	50,4
4,5	13,2	10,5	36,0	27,2	19,1	118	82,6	54,7	32,7	523	327	195	109	53,3
5	13,7	10,8	38,0	28,7	19,9	127	88,3	58,1	34,3	568	354	211	117	56,2
5,5	14,1	11,0	39,9	30,0	20,6	135	94,0	61,6	35,8	613	381	226	125	59,0
6,0	14,5	11,3	41,8	31,4	21,4	143	99,6	65,0	37,4	658	409	241	132	61,7

Вероятная поверхность скольжения пройдет через подошву откоса по такой дуге окружности, для которой требуется максимальная или критическая удельная сила сцепления.

Положение центра O критического круга скольжения Терцаги определяется однозначно углами β , α и θ , значение $c_{кр}$ определяется из выражения

$$c_{кр} = \frac{\gamma_0 h}{f(\alpha, \beta, \theta)} = \frac{\gamma_0 h}{\kappa_c},$$

где κ_c — коэффициент устойчивости, зависящий от угла откоса β .

При известном значении угла откоса β величины углов α и θ , а следовательно, и положение центра критического круга O можно найти по графикам Фелениуса (рис. 27).

Устойчивость откоса обеспечивается в том случае, если величина фактической удельной силы сцепления $c \geq c_{кр}$. Если угол внутреннего трения φ больше нуля, то и в этом случае сохраняет свое значение вышеуказанное выражение, однако функция в знаменателе зависит также и от угла внутреннего трения:

$$c_{кр \varphi} = \frac{\gamma_0 h}{F(\alpha, \beta, \theta, \varphi)} = \frac{\gamma_0 h}{\kappa_{c\varphi}},$$

где $\kappa_{c\varphi}$ — коэффициент устойчивости, зависящий от угла откоса β и угла внутреннего трения φ .

Отношение коэффициента устойчивости $\kappa_{c\varphi}$ к коэффициенту устойчивости κ_c при $\varphi = 0$ называется параметром трения

$$\eta_\varphi = \frac{\kappa_{c\varphi}}{\kappa_c}.$$

Учитывая, что $\kappa_{c\varphi} = h_\varphi \kappa_c$, получаем

$$c_{кр \varphi} = \frac{1}{\eta_\varphi} c_{кр}.$$

В этом выражении $c_{кр}$ определяется по кругу скольжения для случая $\varphi = 0$, значение $\frac{1}{\eta_\varphi}$ в зависимости от угла внутреннего трения φ при различных углах откоса β определяется по графику Фелениуса (рис. 28).

3. Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Модификацией метода критического круга скольжения Терцаги, применяемой для оценки устойчивости откосов, является метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Сущность его состоит в отыскании графоаналитическим способом такой круглоцилиндрической поверхности скольжения,

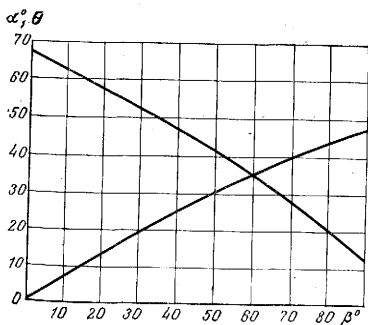


Рис. 27. Зависимость положения центра критического круга от угла откоса

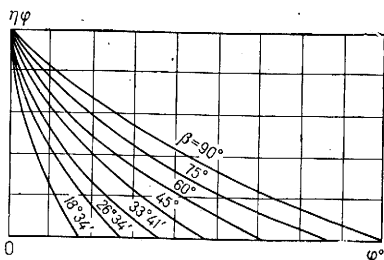


Рис. 28. Зависимость параметра $1/\eta_\varphi$ от угла внутреннего трения при различных углах откоса

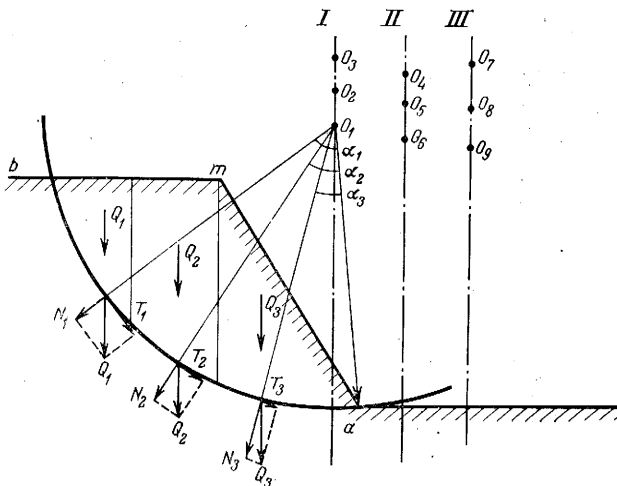


Рис. 29. Определение устойчивости откоса по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения

проходящей через основание откоса, при которой коэффициент устойчивости грунта откоса будет минимальным (рис. 29).

При этом коэффициент устойчивости будет равен

$$\eta = \frac{\sum Nf + cl}{\sum T},$$

где $\sum N$ — сумма нормальных сил, действующих радиально относительно поверхности скольжения; $f = \operatorname{tg} \varphi$ — коэффициент трения; c — удельная сила сцепления в пределах участка дуги поверхности скольжения; l — длина дуги поверхности скольжения; $\sum T$ — сумма сдвигающих сил, действующих по касательным к поверхности скольжения.

При практическом использовании метода из некоего произвольного центра O_1 радиусом R через точку a основания откоса проводят поверхность скольжения ab . Участок откоса, ограниченный дугой ab и ломаной линией откоса amb , разбивают на ряд призм, массу которых $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ подсчитывают как площади соответствующих (на единицу длины откоса), умноженные на объемную массу грунта γ_0 . Силы, удерживающие N и сдвигающие T , будут найдены соответственно:

$$N_i = Q_i \cos \alpha, \quad T_i = Q_i \sin \alpha.$$

После определения коэффициента η_1 повторяют построения и расчеты при цилиндрических поверхностях скольжения, проведенных из новых центров O_2, O_3 и т. д. до тех пор, пока не будет найдено минимальное значение η_{\min} на первой вертикали. Аналогично находят минимальный коэффициент устойчивости η_{\min} для второй вертикали путем построения цилиндрических поверхностей скольжения из центров O_4, O_5, O_6 и т. д., а затем для третьей и следующих вертикалей до тех пор, пока не будет найден минимум минимума коэффициента устойчивости $\eta_{\min \min}$. Цилиндрическая поверхность скольжения, соответствующая коэффициенту устойчивости $\eta_{\min \min}$, является наиболее вероятной поверхностью скольжения грунтов склона. Устойчивость склона считается обеспеченной, если $\eta_{\min \min} > 1$.

Определение коэффициента устойчивости $\eta_{\min \text{ min}}$ описанным выше способом связано с громоздкими графическими построениями и аналитическими подсчетами. Поэтому рядом авторов выполнены решения этой задачи для некоторых часто встречающихся случаев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голушкевич С. С.* Статика предельного состояния грунтовых массивов. — М.: Гостехиздат, 1957. — 288 с.
2. *Маслов Н. Н.* Основы механики грунтов и инженерной геологии. — М.: Автотрансиздат, 1961. — 707 с.
3. *Снитко Н. К.* Статическое и динамическое давление грунтов и расчет подпорных стенок. — Л.: Госстройиздат, 1970. — 206 с.
4. *Терцаги К.* Теория механики грунтов. — М.: Госстройиздат, 1966. — 507 с.
5. *Флорин В. А.* Основы механики грунтов. — М.—Л.: Стройиздат, 1959, т. I и II. — 357 с.
6. *Цытович Н. А.* Механика грунтов. — М.: Госстройиздат, 1963. — 636 с.

Глава четвертая

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, ИХ ПРОГНОЗ

Цели изучения геологических процессов включают: 1) учет наличия и активности процессов и распространенности созданных ими форм для общей оценки инженерно-геологической обстановки (табл. 24); 2) прогноз развития процессов, возможности возникновения новых форм и очагов, скорости и конечные результаты; 3) обоснование и выбор мероприятий по предупреждению процессов или по борьбе с их вредным влиянием, получение расчетных показателей для их проектирования.

Основные методы изучения геологических и инженерно-геологических процессов определяют: 1) разовые (сравнительно кратковременные) полевые исследования (съемка, изыскания для различных сооружений, обследование построенных сооружений и т. д.); 2) стационарные наблюдения (более или менее длительные), а также наблюдения при строительстве и эксплуатации сооружений; 3) лабораторное моделирование — изучение общих и частных закономерностей возникновения и развития процессов в условиях исключения влияния некоторых факторов; 4) полевое экспериментирование (искусственное возбуждение или ускорение процессов при заранее предусмотренных условиях и установленной аппаратуре для наблюдений).

I. ГРАВИТАЦИОННЫЕ СМЕЩЕНИЯ: ОБВАЛЫ, ОСЫПИ, ОПОЛЗНИ, КУРУМЫ, ЛАВИНЫ

Типы гравитационных смещений на склонах (систематика и уточнение определений по Е. П. Емельяновой).

Т а б л и ц а 24

Количественные показатели интенсивности развития и активности геологических процессов (по Е. П. Емельяновой)

Объект изучения	Показатели	
	Интенсивность развития	Активность
Процесс	Продолжительность цикла и его отдельных фаз; скорость процесса; скорость денудации, обусловленная данным процессом	Количество вновь образующихся форм или повторений цикла в единицу времени на единицу длины или площади
Формы, образованные процессом	Количество форм на единицу длины или площади, их размеры; доля (процент) длины или площади, занятой формами от общей длины или площади	Отношение количества свежих форм к их общему количеству (число, длина или площадь)

Собственно гравитационные смещения

А. Основные типы

1. **Обвал** — отделение от склона более или менее крупной массы горных пород, их опрокидывание и обрушение вниз частично путем свободного падения, частично путем удара о склон и отскакивания, перекачивания по склону и т. п.

2. **Осыпание** (образование осыпей) — отделение от склона более или менее мелких (дресва, щебень) обломков горных пород, их падение или скатывание по склону; осыпь — накопление продуктов осыпания у подошвы склона.

3. **Оползень** — смещение части горных пород, слагающих склон, нередко также его основание и территорию за его бровкой, в виде скользящего движения без потери контакта между смещающейся и неподвижной частью склона (а также — форма рельефа и геологическое образование, представляющие результат оползания).

4. **Лавина** — скольжение и обрушение снежных масс.

Б. Промежуточные типы

5. **Оползень-обвал** — смещение части горных пород, слагающих склон, начинающееся оползанием верхней части склона и переходящее в обвал в процессе смещения по его нижней крутой части, не подвергавшейся оползанию.

6. **Обвал-оползень** — смещение части пород, слагающих склон, начинающееся в виде обвала его верхней крутой части и переходящее в скользящее движение по его нижней пологой части; могут оползть не только обвалившиеся массы, но и подстилающие их отложения, равновесие которых нарушается обвалом.

7. **Осов** — соскальзывание всей или значительной части осыпи, большей частью быстрое.

Смещения, определяемые совместным влиянием гравитации и других сил

8. **Курумы** — смещающиеся скопления крупнообломочных продуктов выветривания (преимущественно морозного),двигающиеся по склонам под совместным влиянием гравитации и колебаний температуры.

9. **Солифлюкция** — перемещение по склону водонасыщенных рыхлых отложений под совместным воздействием гравитации и процессов, связанных с промерзанием и оттаиванием грунтов (в районах с суровым климатом).

10. **Крип**, или **поверхностная ползучесть** — преимущественно зигзагообразное перемещение поверхности склона при сложении перемещений, возникающих под влиянием температурного расширения и сжатия, замерзания и таяния, разбухания и усадки, деятельности корней растений и роющих животных с перемещениями, обусловленными гравитацией (термин применяется преимущественно для районов с умеренным и теплым климатом).

Обвалы

Классификация обвалов (по В. Д. Ломтадзе)

1. **Вывалы** — выпадение из крутых откосов и обрывов отдельных глыб и камней, которые большую часть пути проходят по воздуху.

2. **Обвалы** — обрушение масс горных пород, как отдельных глыб, так и крупных выступов горных пород, сопровождающееся скатыванием, опрокидыванием и раскалыванием.

Камнепады (по М. Н. Ройнишвили) — падение и скатывание отдельных камней.

Схема описания обвалов

1. **Область отрыва**: 1) высота склона, его генезис и возраст (для искусственных откосов — метод и время сооружения); 2) слагающие склон породы и условия их залегания, основные системы трещин и величина отдельностей, на-

личные тектонические нарушения, характер и степень выветрелости пород, наличие взрывных работ при подрезке и степень вызванной ими трещиноватости; 3) крутизна и форма склона в районе отрыва, наличие и характер растительности; 4) поверхность отделения обвалившейся массы, наличие ниши отрыва, ее размеры, форма и относительная свежесть, указания на характер отделения (отрыв с опрокидыванием или оползень-обвал).

II. Область транзита: 1) длина и относительная высота; 2) состав пород и условия залегания вдоль пути обвала; 3) морфология — ложбина в склоне или склон, их форма в профиле и в плане, крутизна средняя и в характерных местах, наличие выступающих карнизов, скал, крупных глыб на поверхности; 4) растительность и ее состояние; 5) следы работы и разрушений, совершенных обвалом (или обвалами); 6) наличие задержавшихся при обвалах глыб и камней.

III. Область отложения: 1) характеристика области отложения — дно долины, пляж, бичевник, полотно дороги и т. п.; 2) характер отложения — сплошной завал (его форма, размеры, условия залегания, образование плотины, перегораживающей долину) или участок разброса отдельных глыб и камней (его форма и площадь); 3) объем обвалившихся масс; 4) петрографический состав, размер (средний и максимальный) и форма глыб, закономерность в их сортировке, расположении и ориентировке; 5) средняя и максимальная дальность отлета глыб и камней, наличие их на противоположном склоне долины, максимальная высота подъема; 6) указания на время отложения — относительная свежесть и выветрелость поверхностей глыб, наличие, характер и возраст растительности, перекрытие дорог, разрушение сооружений.

IV. Сведения о процессе обвала (единичного): 1) время обвала (год и дата или сезон, час или время суток); 2) указания на его подготовку, сведения о его ходе (одновременное или последовательное обрушение), о предшествовавших или сопутствующих явлениях; 3) сведения о причиненном ущербе.

V. Сведения, получаемые из материалов статистики обвалных явлений (результаты наблюдений на дорогах и т. п.): 1) основные направления и характер движения обломков при обвалах; 2) объемы обвалов (графики их распределения для выбора расчетного значения); 3) величина отдельных камней (то же), дальность отлета (то же); 4) распределение обвалов во времени (по сезонам и времени суток), их средняя повторяемость, связь с землетрясениями.

VI. Сведения о противообвалных сооружениях: 1) наличие, состав и время сооружения; 2) состояние в настоящее время и эффективность.

Меры борьбы с обвалами (по Н. М. Ройнишвили)

1. Надзор за состоянием горных склонов и профилактика — искусственное обрушение камней, угрожающих падением.

2. Уполаживание откосов и укрепление их с помощью устройства противообвалных сооружений (подпорные и облицовочные стены, контрфорсы и т. п.).

3. Защита дорог от обвалов путем устройства улавливающих сооружений (стен, траншей, валов, лесопосадок и т. п.), или противообвалных галерей, перекрывающих путь сверху.

4. Отвод трассы в сторону или обход обвалных участков.

5. Устройство тоннельных обходов.

Осыпи

Разграничение осыпей и накоплений обвалов по размеру составляющих их обломков (по С. Г. Вишнякову).

Содержание обломков размером более 0,5 м. %	раз- образование
> 75	Обвал
50—75	Осыпь-обвал
25—50	Обвал-осыпь
< 25	Осыпь

Классификация по составу материала

Тип	Размер и форма обломков	Преобладающий петрографический состав	Преобладающий размер, мм	Средний угол, градус
А	Крупнообломочные, глыбовые	Массивные кристаллические породы	Более 100	37
Б	Среднеобломочные, щебеночные, угловатые	Изверженные и прочные осадочные породы	20—100	35
В	Мелкообломочные и дресвяные из угловатых обломков	Сильно выветрелые прочные породы	2—20	32
Г	Разнообломочные из плиточных или пластинчатых обломков	Сланцы и осадочные породы		30

Т а б л и ц а 25а

Классификация по степени подвижности

Тип	Характеристика осыпей	Коэффициент подвижности
1	Подвижные, «живые»	1,0
2	Достаточно подвижные, признаков затухания обычно не наблюдается	0,7—1,0
3	Слабоподвижные, затухающие, имеющие слабое питание	0,5—0,7
4	Относительно неподвижные, уплотнившиеся, поступления нового материала не наблюдается	Менее 0,5

Классификация осыпей (по П. И. Пушкину)

Сведения о классификации осыпей приведены в табл. 25 и 25а.
Коэффициент подвижности осыпи

$$K = \frac{\alpha}{\varphi},$$

где α — угол поверхности осыпи; φ — угол естественного откоса материала, слагающего осыпь.

Схема описания осыпи

1. Область питания (отрыва обломков) и процесс осыпания: 1) общая высота склона, его экспозиция, генезис и возраст (или метод и время сооружения откоса); 2) положение, форма и размеры области питания осыпи; 3) слагающие ее породы, условия их залегания, характер и мощность коры выветривания и ее отдельных зон для каждой литологической разности пород; 4) длина, крутизна и форма склона в области питания, наличие перегибов (участков разной крутизны), выступающих карнизов, гребней, останцов, стенок, типы пород, к которым они приурочены; 5) размер и форма отделяющихся обломков, их зависимость от типов пород и крутизны склона, характер перемещения, частота

отделения и скатывания обломков (на единицу длины склона), ее колебания в течение суток, по сезонам и в зависимости от погоды (или время и погода при единичном наблюдении); 6) наличие участков с признаками прекращения осыпания (появление растительности, ее характер), их крутизна и положение на склоне.

II. Область транзита — ее длина и высота, слагающие породы, условия их залегания и выветрелость, морфология (наличие желобов скатывания), крутизна средняя и в отдельных частях; характер перемещения обломков (выделяется в тех случаях, когда осыпающиеся обломки часть пути проходят по устойчивым породам, не склонным к осыпанию).

III. Область аккумуляции (собственно осыпь)

- 1) условия залегания осыпи (выполнение долины, ложбины или прислонение к склону); 2) состав и условия залегания пород, подстилающих осыпь; 3) форма осыпи в плане (отдельные конусы — треугольные, лучевидные, трапециевидные, слившиеся в основаниях, сплошной шлейф, покров или отдельные пятна на склоне); размеры в плане и мощность, форма поперечного сечения и объем отдельных конусов; форма осыпи в продольном профиле (выпуклая, прямолинейная, вогнутая); наибольший и средний уклон в характерных местах; 4) петрографический и гранулометрический состав материала, слагающего осыпь, его распределение (хаотическое, закономерное возрастание или убывание крупности обломков книзу); форма обломков, их выветрелость, наличие слоистости и мелкоземистого заполнителя, его содержание, распределение и влажность; 5) наличие подземных вод, источник обводнения; 6) скорость продвижения нижней границы осыпи, наличие подрезки или подмыва основания осыпи; 7) активность осыпи, движение отдельных обломков или групповое, скольжение или скатывание, частота скатывания, следы осовов, глубина захвата смещением, факторы, способствующие смещению; 8) поверхность осыпи — обнаженная, образованием растительного покрова, его характер, густота и распределение, образование рытвин и оврагов; 9) другие признаки, указывающие на возраст осыпи и стадию ее развития.

Инженерные мероприятия в районах развития осыпей

Мероприятия по обеспечению устойчивости дорожного полотна на осыпях (по В. В. Корнееву): 1) регулирование поверхностного и подземного стока; 2) сооружение подпорных стен и одевающих стенок; 3) уположивание и террасирование осыпей; 4) берегоукрепительные и выправительные работы у шлейфа осыпей; 5) укрепление осыпей растительностью.

Мероприятия по борьбе с осыпанием на верховых откосах: 1) сооружение площадок и берм или предохранительных щитов (козырьков) и периодическая уборка скапливающегося на них материала; 2) водотвод, уположивание осыпающихся склонов, закрепление их растительностью, сооружение барражных стенок.

Оползни

Классификация оползней

I. Классификация оползней по характеру захвата горных пород (по К. И. Богдановичу):

- 1) оползни первого порядка, захватывающие ранее не смещавшиеся породы;
- 2) оползни второго порядка, возникающие в теле ранее образовавшихся оползней.

II. Классификация оползней по структуре оползневого склона и положению поверхности смещения (по Ф. П. Саваренскому):

1) асеквентные — оползни в однородных неслоистых породах с криволинейной поверхностью скольжения, положение которой зависит от величины трения и сцепления пород;

2) консеквентные — оползни, у которых скольжение происходит по наклонной поверхности, predeterminedной строением склона (поверхности наслоения, трещине и т. п.);

3) инсеквентные — оползни, у которых поверхность смещения пересекает слои разного состава.

III. Классификация оползней по механизму смещения (по Д. Варнесу):

1) скольжение: а) вращательное (оползни вращения); б) плоское, (блоковый сдвиг, скольжение рыхлых наносов и разрыхленных масс), в) оползни выдавливания (раздавливания); 2) течение: а) сухое, б) мокрое; 3) движение смешанное.

IV. Классификация оползней по их возрасту и фазам развития (по И. В. Попову):

1) современные образовавшиеся при современном базисе эрозии и уровне абразии (движущиеся, приостановившиеся, остановившиеся, закончившиеся);

2) древние, образовавшиеся при ином базисе эрозии и уровне абразии (открытые, ничего, кроме почвы и элювия, на поверхности не имеют; погребенные, перекрытые позднейшими отложениями).

V. Классификация оползней по причине разрушения склона Е. П. Емельяновой:

1) оползни истинные (или нормальные, или обычные), возникающие вследствие несоответствия величины напряжения в склоне и прочности слагающих склон горных пород;

2) псевдооползни (или особенные оползни), возникающие вследствие проседания над пустотами или оседания при уплотнении нижележащих пород (в том числе суффозионные оползни).

VI. Классификация оползней по геологическим условиям их зарождения Е. П. Емельяновой:

1) оползни в почти горизонтально залегающих слоях: а) одноярусные — подошвенные, висячие; б) двухъярусные; 2) оползни по наклонным поверхностям ослабления;

3) оползни покровных образований на склонах.

VII. Классификация оползней по их форме в плане Е. П. Емельяновой:

1) простые формы с угловатыми очертаниями (разновидность — лабиринт);

2) простые формы с плавными очертаниями: А. — не доходящие до подошвы склона (эллипсоидные, грушевидные, каплевидные); Б. — доходящие до подошвы склона (фронтальные, циркообразные, нормальные, т. е. расширяющиеся книзу, циркообразные с суженной горловиной, глетчеровидные);

3) сложные — сочетание нескольких простых форм (например, ложкаобразные — сочетание циркообразного сверху и глетчеровидного внизу).

VIII. Классификация оползней по глубине захвата склона А. Коллена:

1) мелкие оползни, поверхность смещения которых расположена в зоне сезонных колебаний влажности и температуры;

2) глубокие оползни, поверхность смещения которых в основном проходит ниже зоны сезонных колебаний влажности и температуры грунтов.

Аналогично можно выделить оползни:

1) целиком расположенные в зоне выветривания; и поверхность смещения которых проходит ниже зоны выветривания; 2) поверхность смещения которых располагается в корнеобитаемом слое или ниже глубины проникновения корней растений; 3) испытывающие и не испытывающие влияние деятельности человека.

IX. Классификация оползней по значению в их развитии подземных вод Е. П. Емельяновой:

1) оползни, у которых поверхность или зона смещения расположена в породах, содержащих гравитационную воду, испытывающие большое влияние подземных вод на условия равновесия склона;

2) оползни с поверхностью (или зоной) смещения, расположенной в водоупорных породах, в которых вся вода находится в связанном состоянии и не передает гидростатического давления, а подземные воды содержатся в вышележающих породах, пассивно увлекаемых оползнем, — влияние подземных вод на условия равновесия склона незначительно.

X. Классификация оползней по приуроченности движения к определенному стратиграфическому горизонту или к породам определенного генезиса (по А. М. Дранникову).

XI. Классификация оползней по приуроченности к склонам разного генезиса (морским, речным, овражным, искусственным откосам и т. п.) или по основным причинам возникновения оползней (например, оползни абразионные, эрозионные и искусственные по И. Б. Корженевскому).

Классификация оползневых трещин Г. И. Тер-Степаняна:

1) по характеру вызвавших напряжений (растяжения, сжатия и сдвига, сдвига, сжатия и сдвига, сжатия);

2) по направлению вектора полной деформации по отношению к плоскости трещины (опущенные, горизонтальные, поднятые).

Схема описания оползней

I. Склон или откос, на котором возник оползень (описываются условия вне оползня и на участке оползня до его возникновения):

1) местоположение, экспозиция, генезис (морской, озерный, речной, овражный, водохранилища, поверхность сброса, искусственный откос или насыпь); длина (между соседними долинами), относительная высота; 2) форма в профиле и в плане, крутизна в характерных местах и средняя; 3) геологическое строение склона и его основания, условия залегания пород относительно склона, их состояние — влажность, консистенция, трещиноватость, выветрелость и т. д.; 4) гидрогеологические условия; 5) морфология и микрорельеф, их связь с геологическим строением, эрозионная сеть на склоне; 6) растительность и застройка; 7) характеристика рельефа за бровкой склона — плато, терраса, более пологий склон, расстояние водораздела от бровки склона, обратный склон; 8) характеристика подножия склона и его подводной части, наличие подмыва или искусственной подрезки склона или его подножия, интенсивность подмыва; 9) наличие и характеристика останцов террас, прислоненных к склону; 10) возраст склона и основные этапы его формирования (для откосов — время и способ их сооружения).

II. Оползень. 1) расположение на склоне, базис; 2) размеры и форма в плане, в продольном и поперечном профиле; 3) превышение вершины бровки срыва над базисом, высота и характер стенки срыва, бортов и языка (вала выпирания), амплитуда смещения; 4) рельеф поверхности оползня; 5) площадь водосбора оползня, условия поверхностного стока по оползню, источники питания тела оползня водой; 6) растительный покров на оползне и его отличия от растительности вне оползня); 7) сооружения на оползне и их деформации; 8) сведения о мощности оползня, о форме и положении поверхности скольжения, составе, условиях залегания и состоянии оползших грунтов, указания на механизм смещения; 9) свежесть оползневых деформаций, указания на возраст оползня.

III. Соседние оползни: 1) расстояние до них и их краткая характеристика (если они расположены на том же склоне); 2) межоползневые мысы — наличие, размеры, морфология.

IV. Сведения о подготовке, образовании и смещении оползня: 1) рельеф склона и условия до оползня, время, скорость и характер смещения, предшествовавшие и сопутствовавшие явления; 2) последующее разрастание оползня по площади, возникновение оползней второго порядка; 3) повторные подвижки; 4) активность оползня в настоящее время и режим деформаций; 5) причиненный ущерб, деформации и разрушение сооружений; 6) обратные расчеты или проверка расчетных схем и показателей для момента смещения.

V. Осуществленные противооползневые мероприятия: состав, размеры, расположение, время сооружения, состояние в настоящее время, эффективность.

VI. Выводы: 1) тип оползня, его причины и относительное значение в его возникновении различных факторов; 2) взаимосвязь с другими процессами; 3) стадия развития, прогноз дальнейшего развития.

Коэффициент устойчивости склона показывает соотношение сил сопротивления оползневому смещению и активных сдвигающих сил. В разных случаях он имеет различное математическое выражение: 1) при плоской поверхности скольжения — это отношение сумм проекций соответствующих сил на плоскость скольжения; 2) при круглоцилиндрической поверхности скольжения — это отношение сумм моментов соответствующих сил относительно оси вращения; 3) при любом виде поверхности смещения — это отношение суммарной прочности пород вдоль этой поверхности (на сдвиг) к алгебраической сумме касательных сил вдоль той же поверхности.

Каждый склон может характеризоваться серией коэффициентов устойчивости по отношению к следующим видам возможного нарушения его равновесия: 1) общее равновесие всего склона на его полную высоту (возможность возникновения оползня первого порядка); 2) локальное равновесие отдельных частей склона по его высоте; 3) равновесие покрывающих склон образований; 4) равновесие прислоненных к склону ранее оползших масс (возможность повторной подвижки ранее образовавшегося оползня); 5) равновесие отдельных частей ранее оползших масс (возможность образования оползня второго порядка).

Коэффициенты устойчивости склонов непрерывно изменяются во времени и поэтому имеют определенную величину только для определенного момента времени и определенных условий. Оползневое смещение начинается в тот момент, когда коэффициент устойчивости склона, уменьшаясь во времени, достигает величины, равной единице.

Классификация факторов возникновения и развития оползней: I. Классификация К. Кейла, Н. Н. Маслова и др.:

1) факторы, влияющие на величину сдвигающих сил; 2) факторы, влияющие на величину сил сопротивления смещению.

II. Классификация Е. П. Емельяновой:

1) условия, определяющие величину коэффициента устойчивости в данный момент; 2) процессы, изменяющие величину коэффициента устойчивости во времени — а) вызывающие обратимые колебания коэффициента устойчивости, как периодические, так и спорадические; б) вызывающие необратимые изменения коэффициента устойчивости, как разовые, так и постоянные или часто повторяющиеся («тренд»), на которые накладываются и обратимые колебания).

Методы количественной оценки роли отдельных факторов в возникновении оползней (по Е. П. Емельяновой).

I. Аналитический — определение влияния фактора на величину коэффициента устойчивости K : а) на абсолютную величину K ; б) на относительное изменение величины K в процентах; может применяться и в тех случаях, когда абсолютная величина K неизвестна.

II. Синтетический, или статистический — выявление наличия и тесноты связи между факторами и оползевыми процессами путем их сопоставления во времени или в пространстве (картирование), вычисления коэффициентов корреляции и других статистических показателей связи.

Характеристики развития оползней во времени:

Оползневой цикл — полный комплекс событий от возникновения до завершения оползнего процесса, включающий образование только одного оползня первого порядка.

Стадии — части оползнего цикла, в течение которых развитие оползнего процесса качественно однородно и накапливаются количественные изменения, подготавливающие качественный переход в другую стадию.

Фазы — части стадий развития оползнего процесса, в течение которых его как качественные, так и количественные характеристики более или менее постоянны.

Стадии развития всех типов оползней (по Ф. П. Саваренскому): 1) подготовительная; 2) собственно оползневое смещение масс горных пород; 3) последующая стадия в жизни склона и смещенных оползневых масс.

Более детальное разделение оползневых циклов на стадии и фазы различно для разных типов оползней. Оно зависит от того, является ли оползневой цикл разовым или многократно повторяющимся.

Продолжительность повторяющегося полного оползневых циклов на подмываемых берегах (по Е. П. Емельяновой). Для оползней в однородных породах или почти горизонтально залегающих слоях, развивающихся на склонах плато или террас, средняя продолжительность оползневых циклов (в годах) T выражается формулой

$$T = \frac{aH}{q} \quad \text{или} \quad T = \frac{a}{v},$$

где a — средняя ширина захвата плато новым оползнем, м; H — высота плато, м; q — средняя скорость эрозии или абразии, м³ на 1 пог. м склона в год; v — средняя скорость отступания бровки склона, м/год (за период в несколько оползневых циклов).

Виды периодичности оползневых процессов (по Е. П. Емельяновой) включают: 1) повторяемость процесса на одном и том же месте, определяемую продолжительностью оползневых циклов или его отдельных стадий и фаз; 2) собственно периодичность, или ритмичность, — частота распределения во времени оползневых подвижек в разных местах одного района или обширного региона, определяемая существованием периодов, более и менее благоприятных для устойчивости склонов. Периоды могут быть суточные, месячные, годовые и многолетние разной продолжительности (преимущественная приуроченность оползневых смещений к определенному времени суток, фазам луны, сезонам года, фазам солнечной активности и т. п.).

Классификация прогнозов оползней по временному аспекту Е. П. Емельяновой:

- 1) долгосрочные — десятки и сотни лет (срок, соизмеримый с длительностью существования и эксплуатации капитальных сооружений);
- 2) заглаговые — несколько лет (сроки, соизмеримые со временем проектирования и возведения сооружений, дающие возможность осуществить тротивооползневые мероприятия);
- 3) краткосрочные — несколько месяцев или дней (создают возможность при приближающемся катастрофическом смещении вывести ценности, переселить людей);
- 4) экстренные предупреждения — за несколько часов или даже минут (дают возможность избежать аварий и человеческих жертв);
- 5) условные (относительные) — привязанные во времени к ожидаемому будущему событию, когда бы оно ни произошло.

Методы прогноза оползней по типу решаемых задач (систематизация Е. П. Емельяновой)

А. Прогноз возникновения нового оползня в ранее неподвижных породах:

1. Прогноз возможности возникновения оползня в конкретном месте:

- 1) Методы прямого расчета коэффициента устойчивости склона для ожидаемых условий с определением наиболее опасного положения поверхности скольжения;
- 2) сравнение ожидаемого профиля склона с профилем при предельном состоянии слагающих склон горных пород;
- 3) сравнение напряжений в склоне с прочностными и деформационными характеристиками пород; определение напряжений может производиться путем расчета (аналитические методы и метод конечных элементов), моделирования в лаборатории (методы оптический и тензосетки), полевых измерений;
- 4) физическое моделирование условий разрушения склона в лаборатории (испытания на центрифуге, метод эквивалентных материалов);
- 5) количественный сравнительный метод (по Е. П. Емельяновой) — графический способ нахождения по массовым фактическим данным предельного соотношения между показателями, определяющими устойчивость склонов, и оценка

относительной устойчивости склона в ожидаемых условиях по расстоянию отображающей его точки от предельной кривой; используются следующие показатели (для оползней в однородных породах и почти горизонтальных слоях — высота и заложение склона — если слабый раздавливаемый склон лежит в средней по высоте части склона, эти показатели отсчитываются от уровня его подошвы; при оползании покровных образований, лежащих на склоне, — крутизна склона в градусах и мощность покровных образований в метрах);

б) историко-геологический метод — сравнение ожидаемых условий склона с условиями, в которых он находился ранее, на основе восстановления истории формирования и существования склона.

II. Прогноз размера и механизма возможного оползня:

7) использование эмпирических зависимостей между размерами и механизмом ранее возникавших оползней и условиями их образования.

Кроме того, при использовании методов прогноза (№ 1, 3 и 4) непосредственно определяются и размеры возможного оползня, а методы (№ 3 и 4) также определяют и его механизм.

III. Прогноз времени основного смещения оползня: *Методы, применимые на стадии скрытой подготовки*, когда новый оползень еще не обозначился на поверхности земли (долгосрочный и заблаговременный прогноз):

8) метод учета факторов-процессов, с использованием вышеуказанных методов (№ 1—5). Принципиальная схема определения минимального t_{\min} и максимального t_{\max} промежутка времени до смещения оползня в годах (по Е. П. Емельяновой):

$$t_{\min} = \frac{K_0 - A_{\max} - 1}{\Delta K}; \quad t_{\max} = \frac{K_0 - 1}{\Delta K},$$

где K_0 — среднее минимальное годовое значение коэффициента устойчивости склона в начале расчетного периода; ΔK — средняя прогнозная скорость необратимых изменений коэффициента устойчивости за год под влиянием факторов, действующих на склон (подмыв, выветривание и т. п.); A_{\max} — максимально возможное обратимое снижение коэффициента устойчивости при наиболее неблагоприятном сочетании соответствующих факторов (атмосферные осадки, землетрясения и т. п.).

Для определения наиболее вероятного времени возникновения оползня внутри промежутка времени от t_{\min} до t_{\max} может быть дополнительно использован метод учета влияния многолетних природных ритмов (11-летнего, 35-летнего и т. п.).

Для прогноза возможности повторного возникновения оползней первого порядка на уже оползшем участке склона возможно использование дополнительных методов (№ 9 и 10);

9) метод прогноза оставшейся части длительности оползневой цикла (для оползней в почти горизонтальных слоях, по Е. П. Емельяновой)

$$t = \frac{aH - Q}{q},$$

где t — время до смещения нового оползня первого порядка, лет; H — высота склона, м; a — средняя ширина захвата плато новым оползнем, м; Q — объем пород, отмытых после основного смещения предшествующего оползня первого порядка (может быть определено как путем наблюдений, так и путем сопоставления профилей склона на момент составления прогноза и на момент после основного смещения предшествующего оползня); q — средняя прогнозируемая скорость эрозии или абразии, м³ на 1 пог. м склона в год;

10) метод использования теории распознавания образов для определения времени перехода оползневой процесса из одной стадии в другую (общее предложение К. А. Гулакяна и А. А. Бондаренко; необходимые показатели не выявлены).

Методы, применимые на стадии явной подготовки оползня, когда границы оползня уже проявились на поверхности земли (уточнение заблаговременного прогноза, краткосрочный прогноз и экстренные предупреждения);

11) уточненный метод учета влияния факторов (№ 8) с использованием метеорологических, гидрологических, гидрогеологических и сейсмических прогнозов на ближайшее время, а также с учетом влияния короткопериодных природных ритмов (сезонного, месячного, суточного);

12) методы наблюдений за предвестниками оползневых смещений (наблюдения за ростом деформаций, за возникновением и развитием фазы прогрессирующей ползучести с использованием эмпирически устанавливаемой зависимости между скоростью ползучести и ее продолжительностью при данной скорости — по А. Я. Будину, или Ю. И. Туринцеву, или М. Сайто и Г. Ямада; наблюдения за признаками разрушения пород — за звуковыми явлениями, за изменениями электропроводности и других геофизических параметров, за возникновением, исчезновением или резким изменением дебита источников и т. п.).

IV. Прогноз скорости и амплитуды основного смещения вновь возникающего оползня:

13) аналитический метод, основанный на модели инерционного движения под действием неуравновешенных сил (по Е. П. Емельяновой); полная амплитуда смещения оползня определяется как состоящая из двух отрезков: D_I — проходимого оползнем до достижения им предельного равновесия, и D_{II} — проходимого по инерции; при круглоцилиндрической поверхности скольжения:

$$d_1 = (C_{II} - C_y) R \frac{L}{W}; \quad v_{\max} = \frac{(C_{II} - C_y) L}{W} \sqrt{gR},$$

где d_1 — горизонтальная проекция отрезка D_I ; C_{II} — пиковое сопротивление сдвигу, преодолеваемое в момент отрыва оползня (суммарное); C_y — остаточное (установившееся) сопротивление сдвигу по поверхности скольжения (суммарное); R — радиус кривизны поверхности скольжения; L — длина поверхности скольжения в направлении смещения; W — масса тела оползня; v_{\max} — максимальная скорость смещения, достигаемая в конце отрезка D_I ; g — ускорение силы тяжести;

14) метод суждения по аналогии с ранее наблюдаемыми скоростями и амплитудами смещения оползней того же типа в сходных геологических условиях.

Б. Прогноз активизации или продолжения движения ранее возникшего оползня:

V. Прогноз возможности повторного смещения всего оползня:

15) методы расчета коэффициента устойчивости по уже известной поверхности скольжения;

16) метод учета баланса земляных масс (для оползней вращения и выдавливания по Е. П. Емельяновой).

Ниже приведены уравнения баланса для верхней части оползня (расположенной выше его центра тяжести):

$$X_B = \Pi_B - P_B - haS,$$

для нижней части оползня

$$X_H = \Pi_H - P_H + haS,$$

где X — прибыль (при знаке плюс) или убыль (при знаке минус) массы грунта в рассматриваемой части оползня за период времени T , для которого подсчитывается баланс; Π — приход новых масс за счет обвалов, осыпей и смыва со стенки срыва и с прилегающих склонов, за счет искусственных подсыпок, отложения наносов на языке оползня и т. п.; P — расход масс за счет размыва языка оползня, образования промоин и оврагов, искусственных срезов и т. п.; h — средняя мощность оползня в сечении, отделяющем его верхнюю часть от нижней; a — ширина оползня в том же сечении; S — средняя величина смещения оползня в этом же сечении за период времени T ; v , n — индексы, указывающие, к какой части оползня — верхней или нижней — относятся соответствующие обозначения.

Если $X_B - X_H > 0$, то устойчивость оползня за период T уменьшилась, если $X_B - X_H < 0$, то устойчивость за тот же период увеличилась. Этот метод позволяет рассматривать пространственную задачу и не требует знания ни величины

сопротивления сдвигу по поверхности скольжения, ни абсолютной величины объема оползня.

VI. Прогноз скорости и амплитуды смещения при повторных подвижках или постоянном движении оползня включает две группы методов, основанных на прямо противоположном подходе к оценке возможности движения оползня.

Методы, основанные на представлении об оползании как о стационарном процессе (вечное движение или бесконечное повторение смещений), распространяются на следующие модели:

17) модель установившегося вязко-пластического течения грунтов по склону (по Н. В. Тябину, Н. Н. Маслову, А. С. Строганову и др.), для бесконечно-длинного слоя постоянной мощности h , залегающего на плоском склоне, наклоненном под углом β к горизонту:

$$v_{\max} = \frac{\gamma}{2\eta} (h - h_0)^2 \sin \beta,$$

где v_{\max} — максимальная скорость на поверхности земли; γ — объемная масса грунта; η — коэффициент вязкости; h_0 — мощность верхней части слоя, движущейся с одинаковой скоростью, равной v_{\max} («жесткий слой»);

$$h_0 = \frac{\tau_0}{\gamma \sin \beta} \quad \text{или} \quad h_0 = \frac{C}{\gamma (\sin \beta - \cos \beta \operatorname{tg} \varphi)},$$

где τ_0 — порог ползучести; C — сцепление, φ — угол внутреннего трения;

18) модель связи величины перемещений с водонасыщением тела оползня (с атмосферными осадками, уровнем подземных вод, влажностью грунтов, представлении о наличии «критической влажности» и т. п.).

Методы, основанные на представлении о саморегуляции величины перемещений в связи с уже происшедшими подвижками и изменением напряженного состояния в результате подвижек:

19) модель неустановившегося вязко-пластического течения, затухающего под влиянием перестройки склона в процессе смещения (при отсутствии уноса масс в языке оползня — по Э. М. Доброву);

20) модель динамического равновесия между перемещениями и балансом масс (при вогнутой поверхности скольжения, по Е. П. Емельяновой); при многократных повторных смещениях оползня, когда тело его почти все время находится в условиях предельного равновесия, соблюдается условие $X_B = X_H$, тогда величина смещения S за период T будет равна

$$S = \frac{P_B - P_B - P_H + P_H}{2ha}.$$

(условные обозначения см. при методе прогноза № 16).

Если приход масс отсутствует, а основной статьей расхода является подмыв языка оползня, то величина смещения его за год s будет равна

$$s = \frac{q}{2h},$$

где q — величина подмыва, м³ на 1 пог. м берега в год; h — средняя мощность оползня в поперечном сечении, проходящем через его центр тяжести.

В. Региональные прогнозы вероятности оползания, обычно без проведения различия между возникновением новых оползней и активизацией возникших ранее.

VII. Прогноз вероятного числа оползневых смещений на заданной площади в заданное время, без указания мест смещения:

21) методы, основанные на модели случайного распределения подвижек во времени: построение кривой распределения оползневых подвижек во времени в прошлом, которая принимается за кривую их вероятности и «обеспеченности» их количества в будущем;

22) методы, основанные на модели наличия ритмов в развитии оползней (связанных с общими природными ритмами разной продолжительности; обнаруженных в результате длительных наблюдений за оползнями вне зависимости от общеизвестных природных ритмов);

23) методы, основанные на выявлении связи между количеством атмосферных осадков или уровнем (дебитом) подземных вод, или глубиной промерзания и количеством оползневых смещений в заданном регионе.

VIII. Прогноз вероятности оползания в выделенном районе без привязки прогнозируемых оползней во времени или в пространстве:

24) методы регионального вероятностного пространственного прогноза, предложенные разными авторами в разных вариантах (по В. К. Кучаю, или Г. Л. Круковскому, или К. А. Гулакяну, В. В. Кюнтцелю и Г. П. Постоюеву и др.).

Меры борьбы с оползнями

Основное требование к комплексу противооползневых мероприятий сводится к необходимости обеспечить коэффициент устойчивости склона не ниже заданного его значения на заданный срок для всех возможных видов нарушения его устойчивости.

Классификации противооползневых мероприятий:

I. По интенсивности вмешательства в природные условия (по С. К. Абрамову): 1) пассивные или профилактические мероприятия — всевозможные запрещения (подрезки и подсыпки, уничтожения растительности и распахивания, полива и сброса вод, взрывных работ и т. п.) и ограничения (скорости движения транспорта, величины заряда при взрывах и т. п.); 2) активные (или инженерные) — специальные противооползневые сооружения и мероприятия.

II. По условиям создания необходимого запаса устойчивости склона (по К. Терцаги): 1) мероприятия, прекращающие или замедляющие уменьшение коэффициента устойчивости склона; 2) мероприятия, увеличивающие коэффициент устойчивости склона.

Основные виды специальных противооползневых сооружений и мероприятий:

I. Борьба с подмывом склона:

1) пассивная защита (мероприятия, не изменяющие режима водоема или водотока): сооружение стенок набережных, волноотбойных стен, оеясок; покрытие склонов железобетонными плитами и отмостками; создание берм из фигурных блоков, каменные наброски, фашины, габионы, искусственные пляжи, устройство коллекторов или лотков и быстротоков с перепадами в оврагах и т. п.;

2) активная защита (мероприятия, воздействующие на режим водоема или водотока): сооружение поперечных бун и продольных волноломов на берегах водоемов, струнаправляющих дамб, поперечных полузапруд, шпор на крупных реках, отвод водотоков, спрямление русел и т. п.

II. Изменение очертания и переустройство склонов и откосов: уполаживание, срезка верхней части, создание берм, террасирование, общая планировка, отсыпка банкетов, контрбанкетов и земляных траверсов, уборка оползающих грунтов; замена грунта; засыпка оврагов или устройство насыпи, перегораживающей овраг, с пропуском воды под ней и т. п.

III. Механическое удержание оползающих масс: подпорные стены, столбы, сваи, шпонки, анкерные связи, контрфорсы, обратные своды в выемках, иньекционные преграды.

IV. Мероприятия по дренированию подземных вод:

1) постоянное осушение или снижение уровня (самотечные дренажи): перехват подземных вод до их выклинивания на склоне; каптаж выходов подземных вод на склоне; осушение тела оползня, изменение направления гидродинамического давления, снижение уровня подземных вод в теле оползня;

2) временное осушение: откачки, иглофильтры, электродренаж.

V. Регулирование поверхностного стока:

1) возведение сооружений, перехватывающих подземные воды до их поступления на оползень, — различные нагорные канавы, лотки и валы;

2) мероприятия по организации и ускорению стока по поверхности оползня, его сбору и отводу — забивка трещин, микропланировка, выпуск воды из бессточных понижений, устройство водоотводящей, водосточной сети на оползне.

VI. Укрепление склонов и откосов растительностью — одерновка, посев трав, посадка специальных сортов деревьев и кустарников.

VII. Покрытие откосов одеждой, предохраняющей от выветривания и эрозии, уменьшающей инфильтрацию или теплоизолирующей, — различные облицовки, покрытия из грунтобетона, шлака, битума, втрамбовывание щебня, нефтевание и солонцевание грунта, полимерные пленки.

VIII. Изменение свойств грунтов — искусственное закрепление и мелиорация грунтов:

1) постоянное (необратимое) изменение свойств — обжиг или клинкеризация (при температуре $>800^{\circ}$), цементация и битуминизация трещиноватых и крупнопористых пород, силикатизация хорошо проницаемых песков, электрохимическое закрепление глин;

2) временное (обратимое) изменение свойств — замораживание, электродренаж, прогрев до температуры $200-300^{\circ}$ (просушивание).

Искусственное закрепление применяется только для небольших объемов грунта, т. е. для создания подземных барражей, контрфорсов и т. п.

Основные конструкции постоянного дренажа: 1) горизонтальный дренаж — открытые откосные дренажи, дренажные контрфорсы, прорези, трубчатые дренажи, галереи, штольни, горизонтальные скважины; 2) вертикальный дренаж — колодцы, сквозные фильтры, забивные фильтры, вакуум-фильтры; 3) комбинированные вертикальные и горизонтальные дренажи; 4) сочетание дренажа и вентиляции (просушивание грунтов).

Курумы

Классификация курумов

1. **Каменные мэра** (поля) — широкие по фронту скопления крупнообломочного материала, смещающегося (или смещавшегося ранее) по склону.

2. **Каменные реки** (потоки, глетчеры) — вытянутые по склону смещающиеся (или смещавшиеся ранее) скопления крупнообломочного материала, приуроченные к отрицательным элементам рельефа.

Схема описания курумов

Описание курумов производится по следующей схеме: 1) геоморфологический элемент, на котором залегает курум, форма курума в плане; 2) экспозиция склона, по которому смещается курум; 3) наличие области питания курума, ее характеристика, происхождение курума (накопление обвалов или элювиальное накопление); 4) наличие уноса масс или области аккумуляции у подошвы курума; 5) размеры курума — длина, ширина и мощность, угол склона (средний и в характерных местах), соотношение между мощностью курума и крутизной склона; 6) высота верхней и нижней границ (абсолютная и относительная); 7) характер границ и форма поперечного сечения (для каменных рек); 8) характер поверхности — ровная, ступенчатая, бугристая, струйчатая; 9) форма фронтальной части — прямая, выпуклая, фестончатая, образование крутого уступа, вала или серии концентрических валов, их размеры, ориентировка глыб в них; 10) состав и условия залегания подстилающих пород; 11) петрографический состав, размеры и форма обломков, составляющих курум, степень их выветрелости, острота или закругленность ребер, ориентировка (хаотическая или наличие преобладающего направления длинных осей), наличие сортировки материала по мощности и по длине курума, относительное количество мелкозема, его распределение и формы залегания; 12) признаки обводнения, наличие выходов подземных вод и выносов мелкозема; 13) присутствие снега или льда в куруме, характер их распределения и залегания; 14) наличие растительности, ее характер и возраст, степень покрытия; 15) указания на активность, скорость и механизм смещения — наличие деформированных,

поваленных или засыпанных деревьев, разрывы сплошности лишайникового покрова, пересечение курумом дорог, троп, нарушения искусственных сооружений; результаты непосредственного измерения скорости смещения; характер смещения — целиком или участками, распределение скоростей по длине и ширине курума.

ЛАВИНЫ

Классификация лавин (по Г. К. Тушинскому)

I. По типу и состоянию снега: 1) сухой метельный снег, снежные доски; 2) влажный старый метелевый снег; 3) мокрый фирновый снег.

II. По морфологии пути: 1) осовы — отрыв и скольжение снежных масс по всей поверхности ровного склона; 2) лотковые лавины — течение и перекатывание снежных масс по строго фиксированному руслу (логу или лотку); 3) прыгающие лавины — свободное падение снежных масс при наличии отвесных стен на их пути.

III. По морфологии лавиносбора: 1) эрозионный врез; 2) денудационная воронка; 3) деформированный кар.

Типы лавин именуются по трем показателям, например: а) лотковая влажная лавина из эрозионного вреза или б) прыгающая мокрая лавина из деформированного кара.

Схема описания лавин и районов их развития

1) Лавиноопасный склон: положение, экспозиция, относительная высота, форма в профиле и в плане, крутизна (в разных местах); геологическое строение, условия залегания пород, их состояние; 2) лавиносбор (снегосборный бассейн); генезис и морфология, размер, микрорельеф, растительность; 3) канал стока (лог): длина, уклон, его изменения по длине, форма в профиле и размеры поперечного сечения, следы скольжения, растительность («лавиновые прочесы»); 4) конус выноса: форма, размер, состав (разрез по данным шурфования), растительность, ее отличия от растительности вне конуса, дальность выброса снега по геоморфологическим и ботаническим признакам; 5) следы разрушений, причиненных лавинами (снегом и воздушной волной), и формы рельефа, созданные лавинами (борозды, рывтины, ямы выбивания, псевдобокковые морены и т. п.); 6) сведения о количестве падающих лавин, о времени (дата и час), о состоянии снега и погоды в момент падения лавин, о характере смещения, о предшествующих и сопровождающих звуковых и других явлениях; 7) наличие лавинозащитных сооружений, их состав и эффективность.

Факторы лавинообразования (по Г. К. Тушинскому)

1. Соотношение крутизны и мощности снега.
2. Структура снега, метаморфизация снежного покрова.
3. Температурный режим внутри снежной толщи и метеорологические условия.
4. Микрорельеф подстилающей поверхности.
5. Землетрясения и другие сотрясения.

Мероприятия по защите от лавин (по Г. К. Тушинскому)

I. Профилактические меры защиты: служба дозора и предупреждения (составления карт прогноза лавинной опасности, организация лавинных станций и другие организационные мероприятия, выработка правил поведения людей, создание спасательного отряда, оповещение работников и населения). Искусственное обрушение лавин (сброс лавин минометным огнем, подпиливание снежных карнизов).

II. Инженерные меры защиты включают: использование естественных видов защиты — особенностей микрорельефа, скальных террас и выступов.

Предупреждение снегонакопления в лавиносборах — каменные стенки, деревянные щиты. Предупреждение соскальзывания снега со склонов — облесение склонов, застройка склонов снегосборных бассейнов; тормозящие постройки

Общая генетическая классификация

Группы и подгруппы	Классы	Типы	Минимальный объем твердого материала, одновременно поступающего в водоток, вызывающий селя	
I. Очаги связанные со скоплением рыхлого материала в руслах временных и малых водотоков	1. Скопления рыхлого материала в водотоках с крутыми тальвегами (более 15°) 2. Скопления рыхлого материала в водотоках с пологими тальвегами (менее 15°)	1. Оползневые 2. Обвальные 3. Осыпные 4. Лавинные 5. Эрозионные 6. Селевые 7. Солифлюкционные 8. Курумов	Объем одновременного поступления материала не имеет значения	
II. Очаги, связанные с подпруживанием рек	Возможные подпруживания	1. Запруды на малых реках 2. Запруды на средних реках 3. Запруды на крупных реках	1. Оползневые 2. Обвальные 3. Лавинные 4. Селевые 5. Осовов осыпей 1. Оползневые 2. Обвальные 3. Селевые 1. Селевые 2. Обвальные 3. Оползневые	Тысячи м ³ Сотни тысяч м ³ Сотни миллионов—миллиарды м ³
	Древние завалы и плотины	1. Древние завалы	Разрушения завалов и плотин, вызванные: а) переливом воды в результате обвалов, оползней, селей б) землетрясениями в) суффозией	

очагов зарождения селей

Характер формирования твердой составляющей	Характер формирования водной составляющей	Характер формирования селевого потока
<p>Обычно постепенное (от нескольких месяцев до нескольких лет) загромождение русла (гальвега) рыхлообломочным материалом или одновременное с формированием селя</p>	<p>За счет дождей и таяния снега</p>	<p>Первоначальное сдвижение обломочного материала происходит в виде оползания или смещения под действием воды (эрозия). Катастрофа вызывается атмосферными осадками (дождями), реже интенсивным таянием снега</p>
<p>Очень быстрое (от нескольких минут до нескольких суток) поступление рыхлообломочного материала, который подпруживает реку</p>	<p>За счет воды, накопившейся за перемычкой (запрудой) за период с момента подпруживания до начала разрушения (до начала перелива через перемычку)</p>	<p>Селевая катастрофа наступает в результате прорыва запруды. Формирование селя непосредственно не зависит от атмосферных осадков и начинается при переливе воды через запруду</p>
<p>Твердая составляющая селей формируется за счет материала завала или плотины, размыва русловых отложений и подмыва берегов</p>	<p>За счет воды в озере или водохранилище</p>	<p>Селевая катастрофа вызывается в результате внезапного перелива воды через плотину или завала, вызванного обрушением бортов озера или селевыми потоками; формирование селя не зависит от атмосферных осадков</p>

Группы и подгруппы	Классы	Типы	Минимальный объем твердого материала, одновременно поступающего в водоток, вызывающий селя
III. Очаги, связанные с деятельностью современных ледников	1. Ледниковые озера 2. Временные запруды поверхностных и подземных водотоков	Разрушения перемычек, вызванные переливом воды в результате: а) интенсивного таяния льда и снега б) обрушения морены в озеро Разрушение перемычек в результате размыва	
IV. Очаги, связанные с деятельностью вулканов		1. Выбросы рыхлообломочного материала и водяных паров 2. Выбросы рыхлообломочного материала и прорыв кратерных озер (тип гунунга) 3. Таяние ледников при активизации вулканической деятельности	

(бетонные клинья). Изменение пути движения лавин — лавинорезы, отбойные дамбы, направляющие дамбы. Пропуск лавин над защищаемым объектом — навесы, галереи, тоннели.

II. СЕЛИ

Сели — это внезапные, кратковременные горные потоки, состоящие из смеси воды и твердого материала и возникающие во время дождей при интенсивном таянии снега и льда, а также при прорыве завалов и плотин в долинах, где имеются большие запасы рыхлообломочного материала. Для селей обычно характерно пульсирующее в виде валов движение селевой массы. На территории СССР сели имеют широкое распространение. Наиболее интенсивно они проявляются в горах Средней Азии, на Кавказе, в Прибайкалье, Забайкалье, Карпатах и Крыму.

Характер формирования твердой составляющей	Характер формирования водной составляющей	Характер формирования селевого потока
Твердая составляющая формируется за счет размыва морены, а также рыхлообломочных пород, слагающих русло водотока	За счет таяния ледников, прорыва моренных озер и подземных водоемов	Селевая катастрофа вызывается интенсивным таянием ледника, погребенного льда, очень редко летними теплыми дождями. Развитие катастрофы быстрое и наблюдается обычно в период жаркой погоды
Осаждение продуктов извержения вулканов перед ливнем и вместе с дождем, а также поступление продуктов разрушения при прорыве кратерных озер	За счет дождей, таяния снега и ледников, а также выплеска воды из кратерных озер во время извержения вулкана	Селевые потоки формируются во время и после извержения вулкана

Селеносным водотоком (ручьем, речкой, рекой) называется водоток постоянный или временный, по которому проходят селевые потоки.

Селевой бассейн — это водосборный бассейн, в пределах которого формируются селевые потоки. В нем различают три основные зоны.

1. *Зона формирования селей* — это часть бассейна, где находятся очаги твердой составляющей.

2. *Транзитная зона* — часть бассейна, где происходит русловое движение уже сформировавшегося селевого потока без существенных изменений в составе и режиме движения. В транзитной зоне может отлагаться небольшое количество селевого материала в виде боковых валов или в селевой поток может поступать незначительное количество рыхлообломочного материала за счет размыва бортов долины.

3. *Зона затухания, или разгрузки*, представляет собой конусы выноса селевого материала. В селеносном водотоке могут быть выражены не все зоны. Часто может не быть зоны транзита, и тогда зона формирования сразу переходит в зону затухания, или разгрузки. Такие случаи обычно наблюдаются на мелких селеносных водотоках. Зона затухания отсутствует в тех случаях, когда селевой поток разгружается в крупные водотоки.

Классификация селевых очагов и потоков

Общая генетическая классификация очагов зарождения селей приведена А. И. Шеко в табл. 26.

По гранулометрическому составу твердой составляющей М. А. Великанов все селевые потоки подразделил на грязевые, грязекаменные и водокаменные. С. М. Флейшман по этому признаку выделяет сели: грязевые, грязекаменные, каменногрязевые, водокаменные, водопесчаные, водопылеватые.

Классификация селевых потоков по гранулометрическому составу твердой составляющей разработана А. И. Шеко с учетом содержания трех фракций твердого материала: 1) глыбы; 2) гальки; валунов и 3) гравия.

По состоянию воды, которая определяет структурно-реологические особенности, селевые потоки могут быть связанными, где практически вся вода находится в оболочках мицелл, или несвязанными, где имеется большое количество свободной воды.

Селевые потоки могут двигаться в ламинарном (вернее квазиламинарном) или турбулентном режиме.

По характеру первоначального сдвижения твердой фазы можно выделить два основных типа зарождения селевых потоков: эрозионный и оползневой.

При эрозионном характере зарождения селей сдвиг с места и перенос осуществляются водой или суспензией. Твердая фаза движется как во взвешенном, так и во влекомом состоянии. При неоднородном гранулометрическом составе рыхлообломочных пород, накопившихся в русле или слагающих его дно, образуется отмостка из обломков, которая при данной скорости не может быть вовлечена в движение.

При достижении определенной величины кинетической энергии потока происходит лавинное разрушение (критической) отмостки. После срыва отмостки наблюдается глубинный размыв и быстрое насыщение водного потока твердым материалом. Насыщение водного потока рыхлообломочным материалом может быть определено по формуле А. И. Шеко:

$$C_T = \frac{W_T l}{Q_B},$$

где W_T — расход твердой фазы на единицу длины водотока, m^3/c ; l — расстояние от головы очага до рассматриваемого створа, м; Q — расход с учетом влажности размытой породы, m^3/c .

Меры борьбы с селевыми потоками

Противоселевые мероприятия подразделяются на две группы: препятствующие формированию селевых потоков (активные) и защищающие объекты народного хозяйства от воздействия селей (пассивные).

К первой группе относятся организационно-хозяйственные (сохранение леса, регулирование его вырубки, запрещение или регулирование выпаса скота на эродлируемых склонах, пропашка и обработка склонов вдоль горизонталей, регулирование склонового стока ускорение снеготаяния путем зачернения стока, замедления таяния снега путем создания дымового экрана, искусственное перенесение центра ливня, спуск ледниковых и подпрудных озер и т. д., а также агролесомелиоративные мероприятия).

Ко второй группе противоселевых мероприятий относятся различные типы гидротехнических сооружений (барражи, сквозные и сплошные бетонные, каменно-набросные и другие конструкции плотин, селеотводящие сооружения, селевые лотки над дорогами и другими объектами и т. д.).

III. КАРСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Карст по Ф. П. Саваренскому — это явления, связанные с деятельностью подземных вод, выражающиеся в выщелачивании горных пород (известняков, доломитов, гипса) и образовании пустот (каналов, пещер в породе), сопровождающихся часто провалами и оседаниями кровли и образованием воронок, озер и других впадин на земной поверхности.

Термин «карст» в применении к самим пустотам, возникшим путем растворения пород подземными водами, в настоящее время можно считать вышедшим из употребления, он заменен терминами: «карстовые формы», «карстовые пустоты», «пещеры» и т. д. Употребление слова «карст» во множественном числе («карсты») не рекомендовано решением Пермской карстовой конференции (1947 г.).

Типовая классификация карста по литологическому составу закарстованных пород приведена в табл. 27.

Признается неправильным также применение термина «карст» к явлениям и процессам, которые не являются результатом растворения пород и выноса из них вещества в растворенном виде, например как «глиняный карст», «лёссовый карст», «термокарст» и др., относящиеся к явлениям, лишь внешне сходным с карстом.

Общие закономерности развития карста (по Д. С. Соколову)

1. Снижение закарстованности массива с глубиной, что обусловлено: а) снижением с глубиной трещинной водопроницаемости; б) уменьшением с глубиной скоростей движения подземных вод и в) снижением с глубиной растворяющей способности подземных вод.

2. Усиление интенсивности процесса карстообразования вблизи речных долин — дрен и соответственно повышенная закарстованность придолинных участков по сравнению с ядрами водораздельных массивов. Главными причинами этой закономерности являются: а) повышенная водопроницаемость в придолинных участках; б) увеличение скорости движения карстовых вод вблизи долин — дрен как в их бортах, так и на дне; в) проникновение в карстующийся массив пресных речных вод и смешивание их с карстовыми водами, что происходит главным образом во время речных паводков в области подруслового потока зоны полного насыщения и в прибрежных участках зоны сезонных колебаний уровня карстовых вод.

3. Теснейшая связь развития карста с климатом, а карбонатного карста также и с растительностью (как продуктом климата). По мере перехода от зон с сухим климатом и слабо развитым растительным покровом к зонам влажного субтропического и тропического климата с пышным растительным покровом и круглогодичным вегетационным периодом интенсивность развития карста, в особенности карбонатного, в целом возрастает.

Т а б л и ц а 27

Типовая классификация карста (по А. Е. Голову и др.)

Группа	Тип	Подтип
I. В труднорастворимых породах	1. Карбонатный	Известняковый Доломитовый Меловой
	2. Сульфатный (гипсовый)	В кластических породах с карбонатным цементом
	3. Сульфатно-карбонатный	
	4. Соляной (выщелачивание соли)	
II. В легкорастворимых породах		

Растворимость карбонатных пород зависит от содержания в воде углекислоты. При повышении температуры кальцитовая емкость углекислых вод снижается.

Типизация важнейших особенностей залегания карстующихся пород и проявлений карста

А. По отношению к земной поверхности: 1) открытый карст (карстующиеся породы лежат непосредственно на поверхности); 2) скрытый карст (карстующиеся породы перекрываются слоями нерастворимых водонепроницаемых пород; карстующиеся породы перекрываются слоями нерастворимых водопроницаемых пород).

Б. По отношению к уровню подземных вод: 1) в зоне аэрации; 2) в зоне постоянного водонасыщения; 3) в зонах аэрации и постоянного водонасыщения.

Главнейшие гидрологические и гидрогеологические проявления карста сводятся к следующему: 1) исчезающие ручьи и реки; 2) участки с частичной потерей воды в реках; 3) локальные продольные депрессии; 4) крупные карстовые источники; 5) очаги разгрузки карстовых вод в руслах рек и озер; 6) субмаринные источники; 7) карстовые озера (поверхностного питания; подземного питания; смешанного питания); 8) подземные реки; 9) подземные озера.

Методы оценки закарстованности и скорости развития карста

1. Определение закарстованности территории путем подсчета количества воронок, карстовых озер, суходолов и других характерных проявлений карста, приходящихся на единицу площади. Подсчет ведется по отдельным участкам различного геологического строения и разной тектонической структуры или по различным геоморфологическим элементам (поймы, террасы, склоны и т. д.). Более точно закарстованность территории определяется отношением суммарной площади карстопоявлений к площади распространения закарстованных пород.

2. Определение объема пустот, который при естественной сработке уровня водоносного горизонта и при шахтном водоотливе равен объему вытекающей воды. Этот метод пригоден для определения степени трещиноватости и закарстованности лишь верхних частей толщ, для которых удается рассчитать баланс подземных вод.

3. Определение трещиноватости и закарстованности пород по замерам трещин и пустот в обнажениях и карьерах, в стенках горных выработок, в кернах скважин и в шлифах путем подсчета суммарной длины или площади этих трещин (в процентах), отнесенной к площади или объему пород, вскрытых горными выработками.

4. Использование результатов опытных работ и наблюдений за режимом подземных вод (откачки, наливов, нагнетания и др.) с определением величин коэффициента фильтрации, по интервалам глубин, удельного водопоглощения и других важнейших характеристик.

5. Учет потерь промывочных вод при бурении, указывающий на наличие в закарстованных породах поглощающих полостей, чередующихся с зонами разрушенных или монолитных пород.

6. Степень закарстованности можно установить по разности расходов реки до входа в пределы закарстованной территории и по выходу из нее. В ряде случаев речной поток, входя в закарстованные участки, полностью поглощается. Поэтому проведение таких замеров возможно лишь во время паводков, когда в русле имеется непрерывный поток воды.

7. Региональными методами определения степени закарстованности пород являются геофизические методы — сейсморазведка и электроразведка.

Скорость развития карста выражается отношением (в процентах) объема растворенной породы, выносимой подземными водами из карстового массива, к общему объему карстующихся пород за определенный отрезок времени (обычно принимается за тысячелетие).

Показатель современной активности карстового процесса выражается формулой

$$A = \frac{v}{V} 100\%,$$

где σ — объем растворенной породы, выносимой подземными водами карстового массива; V — общий объем карстующихся пород.

Структурно-геоморфологическая классификация карста (по Н. В. Родионову)

1. Эрозионный карст, приуроченный к современным и древним речным долинам и балкам.
2. Карст водораздельных (междуречных) пространств, развивающийся вдоль трещин первичной отдельности и выветривания.
3. Карст тектонических поднятий, возникающий при наличии системы тектонических трещин.
4. Карст зон тектонических разломов носит линейный характер, обусловленный наличием нарушений и трещиноватой зоны растворимых пород, примыкающих к ним.
5. Эрозионно-тектонический карст наблюдается в речных долинах, прорезающих зону тектонических поднятий.
6. Карст древних тектонических опусканий (погружений) наблюдается в виде карстовых пустот и каверн на больших глубинах. Это так называемый подземный (затопленный, погребенный, пассивный) карст.
7. Приконтактный карст распространяется вдоль контакта растворимых и нерасторимых пород.
8. Антропогенный карст, современная активность которого вызвана нарушением условий залегания и изменениями естественного режима вод и пород в широком региональном масштабе.

Инженерно-геологическая оценка месторождений в карстовых районах

Учитывая незначительные скорости растворения карбонатных пород и сравнительно короткие сроки эксплуатации месторождения, карст представляет интерес не столько как процесс в его динамике, сколько как явление. В связи с этим при разведке месторождений приходится оценивать главным образом степень уже имеющейся закарстованности пород.

Инженерно-геологическое изучение месторождений включает следующие вопросы: а) степень закарстованности массива пород; б) структура закарстованного массива, т. е. закономерности расположения отдельных карстовых полостей или закарстованных зон в пространстве. Оценка структуры закарстованного массива проводится по данным геолого-тектонических особенностей месторождения, геологической истории развития карстовых процессов в районе месторождения, связи их с отдельными этапами развития района и положения его относительно базиса эрозии в различные эпохи; в) наличие заполнителя в карстовых полостях, его состав и физико-механические свойства; г) динамика перемещения рыхлого (связного или несвязного) заполнителя в закарстованном массиве под действием природных процессов, а также при водопонижении и проведении горных выработок.

IV. СУФФОЗИЯ

Суффозией называют процесс вымывания мелких частиц из горных пород фильтрующейся водой, часто сопровождающийся оседанием вышележащих пород, образованием воронок, провалами и т. п.

Различают механическую и химическую суффозию. Механическая суффозия происходит за счет выноса частиц породы фильтрующейся водой, а химическая — за счет выноса в виде раствора растворимой части породы.

Встречается смешанный химико-механический тип суффозии. Например, в разнородном песчаннике может растворяться цементирующее вещество и механически могут выноситься мелкие частицы породы.

Независимо от типа суффозия может происходить как в глубине массива пород, так и вблизи поверхности.

Контактная суффозия — один из видов подземной суффозии, при которой на контакте двух пород мелкие частицы одной породы потоком воды разносятся по

порам другой. В связи с контактной суффозией вдоль контакта иногда создается слой породы, имеющей измененный гранулометрический состав и иные свойства.

В случаях, когда суффозия происходит на контакте мелкозернистого и крупнозернистого однородных песков, для определения скорости фильтрации, отвечающей началу выноса частиц (при условии движения воды от мелкозернистой породы к крупнозернистой), С. В. Избаш предложил формулу

$$v_v = v_0 + f \left(\frac{d^2}{D^2} \right), \text{ см/с,}$$

где v_0 — скорость, при которой преодолевается масса частицы; D и d — диаметры частиц породы разных слоев.

Л. И. Козлова уточнила эту формулу:

$$v_v = 0,26d^2 \left[1 + 1000 \left(\frac{d60}{D60} \right)^2 \right] \text{ см/с.}$$

Как механическая, так и химическая суффозия активно проявляется при естественном или искусственном изменении гидродинамических условий — формировании воронок депрессии, колебаниях уровня подземных или поверхностных вод и т. п. В откосах строительных выемок суффозионный вынос пород приводит к оседанию блоков породы, образованию провалов, воронок и оползней.

Для выявления пород, способных к суффозии, в Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР разработан прибор КГС-2 системы В. Н. Славянова, позволяющий в полевых условиях определять критические градиенты и давление воды, при которых начинается процесс суффозии (рис. 30).

Образец исследуемой породы в тонкостенном кольце 1 вкладывают в корпус прибора 2 на перфорированный диск 3, отделяющий водораспределительную камеру 4 от загрузочной. Камера

закрывается крышкой 6 с прозрачной пластмассовой трубой 8 и колпаком 9, защищающим от разбрызгивания. Между корпусом 2 и крышкой 6 ставят резиновую прокладку 7, в которую вдавлено на 1—2 мм режущее кольцо с грунтом для того, чтобы вода не могла просочиться между ним и корпусом прибора. Прокладки 11 и 12 находятся в местах свинчивания прозрачной пластмассовой трубы с крышкой прибора и колпаком. Крышка привинчивается болтами. Для этого имеется шесть отверстий 13 в корпусе и в крышке прибора. К одному из отверстий крепится держатель 14 манометра.

Прибор имеет три штуцера — два из них 5 в водораспределительной камере и один 10 в колпаке. В водораспределительную камеру 4 через штуцер 5 подают воду до полного заполнения и капиллярного смачивания образца (медленно без давления). После этого постепенно повышают давление в водораспределительной камере. К противоположному штуцеру присоединяют манометр.

Рис. 30. Прибор для изучения суффозии и плывунов ЛГГП системы В. Н. Славянова (с поперечным круговым сечением)

При исследовании различных песчано-глинистых пород можно ожидать различные результаты опыта.

1. Вода не фильтруется и образец в кольце сохраняет свою форму при создаваемых давлениях; порода является устойчивым водоупором при данных давлениях.

2. В стеклянной трубке появляется чистая вода, образец в кольце сохраняет свою форму; порода водопроницаема и при данных давлениях устойчива. Путем подсчета количества воды, проходящей через прибор в единицу времени, можно рассчитать коэффициент фильтрации породы.

3. В стеклянной трубке появляется мутная вода — порода способна к суффозии. Отмечается давление воды, при котором начинается суффозия. Воду, профильтровавшуюся через образец, собирают для исследования частиц, вынесенных из породы.

4. В прозрачной трубе прибора появляется выдавленный грунт (процесс аналогичен образованию пробок в буровых скважинах). Результат опыта непосредственно указывает на опасность появления пльвуна в данной породе при определенном давлении (критическом).

В некоторых породах при малом гидродинамическом давлении происходит фильтрация воды, при повышении давления начинается суффозия, а при еще большем — порода теряет связность и образуется пльвун.

Для борьбы с суффозией применяются: 1) осушение породы или уменьшение скоростей движения воды по породе до безопасных величин; 2) перекрытие мест выноса частиц породы, фильтрующей воду (например, путем присыпки песка); 3) искусственная цементация породы.

При значительном растворении породы химическая суффозия переходит в карст. При массовом выносе частиц породы механическая суффозия вызывает подземный или внутренний размыв (образование ниш и каналов размыва, карнизов оплывания и т. д.) и образование «глинистого карста».

При борьбе с «глинистым карстом» следует забивать отверстия, через которые проникает вода с поверхности земли, или заливать в них цементирующие вещества.

V. РАЗВЕВАНИЕ И ПЕРЕВЕВАНИЕ ПЕСКОВ

Эоловые процессы характерны для песчаных пустынь и обнаженных склонов, в менее заметной форме они протекают в пределах выветрелой зоны многих пород, между корнями растений, вдоль грунтовых дорог и в местах проведения земляных работ. Интенсивность эоловых процессов зависит от: 1) гранулометрического состава пород; 2) их связности; 3) наличия защитного покрова; 4) силы и режима обвевания ветром.

По данным Н. А. Соколова, для смещения песчаных частиц различного диаметра необходимы следующие скорости ветра:

Скорость ветра, м/с	Диаметр несцементированных частиц, мм
4,5	0,25
7,7	0,50
7,8	1,0
11,4	1,5

На крутых склонах, особенно на останцах пород, в связи с различным сопротивлением пород развеванию образуются структурные формы развевания — «свидетели», эоловые пещеры, структурные террасы и холмы развевания, эоловые карнизы и т. д. В пустынях и на площадях, покрытых песками, создаются эоловые формы: барханы, гряды, дюны, кучевые и бугристые пески.

Фактором защиты от развевания является формирование «пустынного загара», при котором рыхлые породы цементируются защитной коркой, состоящей из окислов железа, марганца или солей. В некоторых пустынях мощность такой корки достигает нескольких дециметров.

Для борьбы с эоловыми процессами применяют: 1) поверхностное закрепление пород растительностью (фитомелиорация) и цементирующими веществами; 2) защиту от ветра щитами, циновками из камыша и других материалов, пескоуловителями и т. д.; 3) создание безаккумуляционных форм сооружений.

Поверхностное закрепление песков производится путем перемешивания поверхностного слоя породы с торфом, глиной и вяжущими веществами; применяется также опрыскивание битумом, цементным молоком, растворами полимеров.

А. И. Знаменским разработан метод «безаккумуляторного переноса песков», основанный на том, что сооружениям придаются соответствующие формы, при которых на них не задерживаются песок и снег.

VI. ПЛЫВУННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПЕСКАХ

Плывуном называется способность водонасыщенных дисперсных пород переходить в текучее состояние. Разжиженная порода, образующаяся при этом, называется плывуном.

В плывунное состояние могут переходить пески различного гранулометрического состава, даже крупнозернистые. Наиболее опасен этот процесс для тонкозернистых песков с пылеватыми, илистыми, коллоидными и органическими фракциями, обладающими тиксотропными свойствами. *

Песчаные породы, обладающие ярко выраженными тиксотропными свойствами, могут образовать (по А. Ф. Лебедеву) истинный, или активный, плывун. Л. К. Танкаева эту группу пород с конденсационно-коагуляционными структурными связями делит на: а) песчано-коллоидные плывуны; б) пылевато-коллоидные плывуны; в) плывунные глины.

Породы, лишенные структурных связей, могут под влиянием гидродинамического давления перейти в текучее состояние. Такое движение породы называется, по А. Ф. Лебедеву, псевдоплывуном, или пассивным плывуном. Характерными показателями псевдоплывунов являются гидравлический градиент, при котором порода переходит в плывун (критический градиент), а также критическая пористость. Для псевдоплывунов критический градиент может быть определен по формуле

$$I_k = \frac{v - 1}{1 + \varepsilon},$$

где I_k — критический градиент возникновения плывуна; v — плотность породы; ε — коэффициент пористости.

Коллоиды плывунов могут содержать: а) живую органику (бактерии); б) мертвую органику (продукты разложения органических веществ); в) неорганические коллоиды. Наиболее подвижны плывуны с живой бактериологической органикой.

Основными причинами разжижения песчаных пород являются: 1) вибрация скелета пород; 2) волновые колебания грунтовых вод; 3) гидравлические удары; 4) фильтрационные силы; 5) воздействие динамических перегрузок; 6) изменение статических напряжений, деформирующее породу, и др.

Тиксотропное структурообразование зависит от: а) количества и состава высокодисперсных частиц; б) от формы и строения частиц (особенно глинистых минералов); в) состава, состояния и активности органического вещества; г) минерализации поровых растворов; состава обменных катионов и ряда других факторов. У монтмориллонитовых глинистых частиц тиксотропные свойства выражены сильнее, чем у каолиновых.

VII. ЯВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ВОДООТЛИВОМ

При строительных и горных работах, при откачках подземных вод для водоснабжения и при дренировании земель резко снижаются уровни подземных вод, что существенно влияет на развитие физико-геологических процессов и меняет инженерно-геологические условия строительства (табл. 28).

Уменьшение влажности глинистых и некоторых других пород часто сопровождается уменьшением их объема — усадкой. Величина возможного оседания

* Тиксотропия — самопроизвольное восстановление структуры дисперсных систем после ее разрушения (переход золя в гель) при постоянной влажности.

Процесс	Физико-геологические и инженерно-геологические процессы	Методы прогноза
Осушение пород Изменение направления, режима и скорости движения подземных вод	Оседание пород Образование трещин оседания Поверхностное рас- трескивание пород Осушение поймы и болот Уменьшение роста оврагов Изменение объемной массы и взвешенного состояния пород Общее укрепление устойчивости склонов Переход от пластового движения воды к движению по подземным ложбинам стока	Расчет оседания пород при осушении Анализ зон и поверхностей ослабления Изучение условий выветривания Изучение водоупоров под ними Определение роли подземных вод в развитии оврагов Расчеты изменения состояния Определение улучшения свойств пород при уменьшении влажности Изучение гипсометрии кровли подстилающего водоупора
Уположение кривых депрессии	Кольматация речного аллювия (при переходе от питания реки подземными водами к питанию водоносного горизонта речными водами) Изменение зон развития активного карста Уменьшение гидродинамического давления Уменьшение процессов суффозии Уменьшение подвижности пльвунов Изменение напряженного состояния пород Нарушение водоснабжения Осушение колодцев	Изучение режима водообмена между рекой и водоносными горизонтами Анализ развития кривых депрессий Расчет гидродинамического давления Определение критических градиентов для суффозии (см. разделы о суффозии и пльвунах) Моделирование Режимные наблюдения, гидрогеологические расчеты воронки депрессии

поверхности в результате усадки пород в природных условиях определяется по формуле

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \sigma_{yci} h_i,$$

где σ_{yci} — удельная усадка каждого слоя (i) породы; h_i — толщина того же слоя породы.

Удельную усадку определяют на компрессионных приборах и на приборах для определения набухания пород.

Наблюдения за усадкой территории при развитии воронки депрессии производят точным нивелированием реперных знаков или наблюдениями за глубинными

реперами. Глубинный репер представляет собой буровую скважину с обсадными трубами, в которой свободно располагается труба или штанга, закрепленная нижним концом ниже уровня возможного развития воронки депрессии.

VIII. ВЫВЕТРИВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Под выветриванием следует понимать совокупность физических, физико-химических и биологических процессов, изменяющих состав, состояние и свойства горных пород в верхней части земной коры под влиянием атмосферы, гидросферы и биосферы, а также хозяйственной деятельности человека. В результате процессов выветривания формируется кора выветривания.

Физические и физико-химические процессы заключаются в разуплотнении, растрескивании, разламывании, измельчении горных пород.

К химическим процессам, изменяющим состав и дисперсность горных пород, относятся: окисление, растворение, гидратация, гидролиз, катионный обмен.

Биологические процессы, развивающиеся под влиянием деятельности низших (бактерий, водорослей, грибов и т. д.) и высших растений и продуктов их разрушения, приводят к образованию органических и гуминовых кислот, углекислого газа, которые активно участвуют в процессе разрушения пород.

Интенсивность процессов выветривания зависит от климатических условий.

В полярных, приполярных, высокогорных областях преобладают процессы физического разрушения пород; химическое и биологическое разложение проявляются весьма слабо. Кора выветривания сложена продуктами физической дезинтеграции.

В условиях умеренно теплого и умеренно влажного климата в результате проявления физических и химических процессов появляются глинистые минералы. В верхней части коры выветривания формируются песчано-глинистые отложения с дресвой — зона тонкого дробления.

В условиях теплого полусухого климата в результате проявления химических и биохимических процессов образуется обывесткованная обломочная или лёссовидная кора выветривания.

Для областей с пустынным и полупустынным климатом характерно интенсивное физическое разрушение пород под действием колебания температур. Химические процессы в отсутствие воды протекают слабо. Среди них преобладает дегидратация, приводящая к обезвоживанию минералов (с образованием гётитов, красных гидратов), а также процессы соленаккопления.

В субтропических и тропических условиях обилие тепла и влаги, органических кислот и углекислого газа, образующихся при распаде тропической растительности, способствуют интенсивному развитию химических процессов, что приводит к образованию кор выветривания латеритового типа.

Коры выветривания по возрасту подразделяются на современные и древние.

Древняя кора в ходе истории геологического развития в большей или меньшей мере разрушалась и поэтому является остаточной. В настоящее время древние коры выветривания могут быть перекрыты более молодыми отложениями или залегать на поверхности. Мощность древних кор выветривания может достигать десятков метров.

Пространственная изменчивость мощности коры выветривания в пределах одной климатической зоны определяется тектонической раздробленностью и наличием ослабленных зон, условиями формирования, минеральным составом, структурно-текстурными особенностями пород, характером метаморфизма и наличием рудной вкрапленности, геоморфологическими и гидродинамическими условиями, продолжительностью корообразования.

Различают два типа кор выветривания — площадные и линейные. Площадная кора выветривания характеризуется относительно выдержанной мощностью, зональным строением в вертикальном разрезе, рельеф подошвы повторяет рельеф поверхности. Линейные коры выветривания приурочены к линиям крупных тектонических разломов и местам их пересечений, к крутопадающим контактам различных пород. Развитию линейных кор выветривания способствуют неотектонические подвижки по разломам, приводящие к брекчированию и катаклазированию пород; мощность линейных кор выветривания достигает 50—

70 м и более, т. е. увеличивается по сравнению с мощностью площадной коры выветривания в 3—5 раз.

В вертикальном профиле коры выветривания существуют общие тенденции в изменении физико-механических свойств, выражающиеся в снижении объемной массы, увеличении пористости, трещиноватости, понижении прочностных свойств вверх по разрезу.

Количественными оценками степени выветрелости пород могут служить:

1. Показатель степени выветрелости B_c (по Г. С. Золотареву)

$$B_c = \frac{F_n - F_o}{F_n - F_a},$$

где F — показатель среднего содержания состава (гипса, железа и т. п.) или какого-либо свойства породы (объемная масса, пористость, временное сопротивление пород сжатию); n, o, a — соответственно — невыветрелая, оцениваемая и предельно выветрелая порода.

По показателю выделяют четыре категории выветрелости:

сильно выветрелые $B_c > 0,9$,

выветрелые $B_c = 0,9 - 0,7$,

средней степени выветрелости $B_c = 0,7 - 0,3$,

слабо выветрелые $B_c < 0,3$.

2. Коэффициент выветрелости (показатель стойкости) — K_B (по П. Н. Панюкову)

$$K_B = \frac{\sigma_{сж1} - \sigma_{сж2}}{\sigma_{сж1}},$$

где $\sigma_{сж1}, \sigma_{сж2}$ — временное сопротивление пород сжатию соответственно в невыветрелом состоянии и после годичного цикла воздействия агентов выветривания.

3. Показатель интенсивности выветривания — K_V (по Л. А. Ярг) — отношение приращения какого-либо показателя к приращению мощности выветрелых пород

$$K_V = \frac{R_i, n - R_i (n-1)}{\frac{h_n}{2} + \frac{h_{n-1}}{2}} = \frac{2 \Delta R}{\Delta h},$$

где $R_i, n, R_i (n-1)$ — среднее значение какого-либо (i) показателя для соответствующей зоны выветривания; h_n, h_{n-1} — мощности зон выветривания.

Скорость процесса выветривания, приращение мощности выветрелых пород за единицу времени колеблется в широких пределах. Скорость физического выветривания может составлять от нескольких до десятка сантиметров в год. Приведем следующие показатели скорости выветривания.

1. Коэффициент скорости выветривания $K_{св}$ (по Г. С. Золотареву) есть отношение объема выветрелых пород к площади выветривания.

2. Годовое изменение прочности пород на поверхности откоса (по С. В. Каргмазовой)

$$q = a \cdot e^{-bt} + d,$$

где a, b, d — эмпирические коэффициенты; t — время обнажения откоса, месяцы, при $t = 0$; $q = a + d$ начальная прочность пород, при $t \rightarrow \infty, q \rightarrow d$ порода имеет прочность, при которой начинается осыпание и разрушение откоса с углом α , т. е. $d = A \cdot \alpha$ — критическая прочность; коэффициент b определяют, решая систему уравнений:

$$q_1 = a \cdot e^{-bt} + d; \quad q_2 = a \cdot e^{-bt} + d.$$

3. Показатель стойкости к атмосферному выветриванию Π (по В. М. Швецу, Б. Н. Мельникову, Л. А. Татариновой) — оценивает скорость снижения показателей состава или прочностных свойств пород:

$$\Pi = \frac{R'_i - R''_i}{t},$$

где R'_i, R''_i — для глинистых пород — временное сопротивление пород сжатию, для обломочных пород — степень разрушения обломков соответственно до и после воздействия процессов выветривания за время t . Степень разрушения обломков устанавливается по отношению массы фракции размером менее 2 мм, к массе частиц более 2 мм.

При инженерно-геологической оценке процесса выветривания необходимо: 1) установить закономерности пространственной изменчивости мощности коры выветривания; 2) расчленить коры выветривания на зоны по минералого-петрографическому составу, состоянию и физико-механическим свойствам пород; 3) получить обобщенные характеристики физико-механических свойств пород для каждой зоны; 4) определить скорость и интенсивность выветривания пород при вскрытии их искусственными обнажениями.

Мероприятия по борьбе с процессом выветривания сводятся к следующему: 1) покрытие пород непроницаемыми и теплоизолирующими материалами (гудроном, бетоном, цементом с известью, песком, сулинком); 2) пропитывание пород различными веществами — жидкое стекло, цементация, тесмолин, фтористые соединения; 3) искусственная нейтрализация агентов выветривания — введение в воду солей, уменьшающих их растворяющую способность, отвод поверхностных вод и др.

IX. ПЕРЕРАБОТКА БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩ

Сущность процесса переработки берегов заключается в том, что под воздействием абразии, вызываемой течениями, ветровыми и судовыми волнами, а также и другими факторами, береговой склон водохранилища разрушается и вырабатывается новый профиль равновесия. В результате переработки надводная часть берегового склона водохранилища отступает и приобретает новые очертания, а в подводной части склона, в пределах зоны сработки уровня водохранилища и глубины абрадирующего действия волны, формируется абразионно-аккумулятивная отмель.

Среди водохранилищ выделяются равнинные и горные. Равнинные водохранилища характеризуются широкой акваторией, на которой поднимаются волны до 2—3 м, сильно абрадирующие берега, небольшой глубиной, порядка первых десятков метров, и малой величиной сработки уровня до нескольких метров.

Т а б л и ц а 29

Меры защиты берегов водохранилищ

Мероприятия	Виды укреплений
Укрепление береговых склонов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Каменная мостовая 2. Камень в плетеных ивовых корзинах 3. Габионы (камень в проволочных сетках) 4. Бетонные плиты 5. Асфальтовые покрытия 6. Фашинно-хворостяные покрытия 7. Лесомелиорация (посадка корнеотпрысковых растений) 8. Свайные стенки 9. Шпунтовые заборы 10. Мелиорация грунтов (цементация, силикатизация, обжиг и пр.)
Гашение энергии волнения	<ol style="list-style-type: none"> 1. Защитные дамбы и волноломы 2. Посадка подводной растительности у берегов 3. Буны или шпоры 4. Намыв отмелей 5. Уполаживание подводного склона

Горные водохранилища устраиваются в долинах горных рек и каньонах. Акватория их значительно меньше равнинных, но глубина измеряется десятками, а иногда несколькими сотнями метров. Для них наряду с абразией характерно сильное выветривание горных пород, способствующее развитию осыпей, обвалов и оползней по высоким береговым склонам в зоне сработки уровня водохранилищ, измеряемой несколькими десятками метров.

Формы и скорость переработки берегов в различных горных породах различны. Наиболее интенсивно переработка берегов протекает в первые 2—3 года эксплуатации водохранилища, далее, как правило, она постепенно угасает по мере развития отмели и выравнивания береговой линии. В первые годы эксплуатации скорость отступления бровки берега, особенно в легкоразмываемых породах, составляет десятки метров, общая же ширина зоны переработки берега может достигнуть нескольких сотен метров.

Из многих существующих методов прогнозов переработки берегов в практике проектных организаций наиболее широко используются методы Е. Г. Качугина (1959 г.) и Г. С. Золотарева (1955 г.), однако следует отметить их избирательную применимость, определяемую геологическим строением берегов. Одним из наиболее перспективных методов прогноза этого процесса является метод Л. Б. Розовского (1962 г.), разработанный на основании теории геологического подобия. В последние годы делаются попытки применения математического аппарата для прогноза переработки берегов. В табл. 29 приведены меры защиты берегов от переработки, предложенные Е. В. Грэггдэвм.

X. ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ И СДВИЖЕНИЕ ПОРОД НАД ГОРНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ

Горные породы в земной коре до проведения выработок находятся в естественном напряженном состоянии. Согласно теории А. Гейма (1878 г.), напряжения в горных породах определяются глубиной их залегания от поверхности земли и равны произведению веса пород на глубину их залегания. Предполагалось, что напряжения подчиняются гидростатическому закону. Напряжения на глубине H соответственно равны

$$\sigma_x = -\gamma H, \quad \sigma_y = \sigma_z = -\xi \gamma H,$$

где γ — средняя величина объемного веса налегающих пород; ξ — коэффициент бокового распора, характеризующий величину передачи в бока вертикального давления.

Для твердых пород: $\xi = \frac{\mu}{1-\mu}$, для рыхлых пород: $\xi = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$, где μ — коэффициент Пуассона.

Многочисленные исследования и наблюдения при горных работах (вначале в Скандинавии, а затем в Советском Союзе — на месторождениях полезных ископаемых Кольского полуострова) показали, что твердые горные породы испытывают напряжения, вызванные горизонтальными силами. Особенно значительны эти напряжения в тектонически молодых областях, где они обычно неравномерны и могут превышать в десятки раз и более напряжения, обусловленные гравитационными силами. Избыточные горизонтальные напряжения отмечаются и в районах, удаленных от современных тектонических зон, но здесь они обычно более равномерные. Закономерности изменчивости полей напряжений изучены пока недостаточно, они во многом зависят от условий залегания пород и могут быть различными в разных частях геологических структур. Выявление этих закономерностей является важным для прогнозирования поведения пород при горных работах.

В зависимости от глубины проведения горных работ, прочности и других физико-механических свойств пород, неоднородности состава, их дислоцированности и трещиноватости, размеров горных выработок и видов крепления возникающее перераспределение напряжений может вызывать в зоне горных работ деформации пород.

Горное давление возникает при горных работах. Под ним (по Л. Шевякову) понимают силы, существующие в породах, окружающих горные выработки; при проявлении этих сил для устранения деформаций выработок требуется возведение крепи. П. Н. Панюков относит к горному давлению силу давления на крепь, вызванную движением горных пород в сторону выработки.

В настоящее время нет единого метода расчета величины горного давления на крепь и поэтому используются различные формулы.

Наблюдение за проявлением горного давления в шахтах входит в обязанности шахтных служб — геологической и маркшейдерской.

Для измерения величин горного давления в горных выработках имеется ряд методов (метод разгрузки с помощью обуривающих скважин, применения методов, измерительных стоек, сейсмо-акустических методов и др.).

Для управления горным давлением применяется полная или частичная закладка выработанного пространства и оставление целиков полезного ископаемого. В некоторых случаях горное давление используется для повышения эффективности горных работ путем разрушения полезного ископаемого в массиве и отжимания его в выработку с целью облегчения разработки.

С горным давлением связаны многие инженерно-геологические (или горно-геологические) явления, возникающие в подземных горных выработках — горные удары, выбросы пород, пучение, обрушение и куполение пород, их сдвигание и др.

Наибольшую опасность представляют горные удары, которые относятся к наименее изученным явлениям, происходящим на большой глубине (обычно более 500 м) и преимущественно в породах высокой прочности. Горные удары возникают в случаях мгновенного перехода потенциальной энергии упругих деформаций в кинетическую. Практически это явление представляет собой быстрый катастрофический выброс большого объема пород в горную выработку, сопровождающийся сильным гулом, сотрясанием окружающего массива пород и воздушной волной в выработках.

Для прогноза горных ударов используются акустические наблюдения в массиве пород. Признаком выбросоопасности пород (например, песчаников в Донбассе) является выход керна из опережающих скважин в виде выпукло-вогнутых дисков.

В выработках угольных шахт наблюдаются также внезапные выбросы угля и газа. Подобно горным ударам, это явление характерно для газоносных углей, залегающих среди довольно крепких пород (песчаников, глинистых сланцев) преимущественно на глубине более 200—300 м. На меньшей глубине выбросы могут происходить в сильно дислоцированных породах. В крепких породах наблюдается также стреляние пород, под которым в горной практике понимается отскакивание от стенок выработок отдельных кусков породы, сопровождающееся резким звуком.

Пучение (поддувание) заключается в выдавливании пород в горные выработки из стенок и почвы. Это явление связано в основном с горным давлением и лишь в некоторой степени с увеличением пород при их набухании или изменении свойств в результате выветривания.

Пучение иногда бывает настолько значительным, что усиленное деревянное, а иногда даже металлическое и железобетонное крепление ломается и полость выработки заполняется породой.

Наиболее интенсивное пучение наблюдается в глинах, для которых характерны деформации пластического типа. Однако оно может происходить и в глинистых породах с высокой степенью литификации (аргиллиты, глинистые сланцы и др.), вызывая их хрупкое разрушение.

Для расчета среднего давления d (Па) на единицу площади почвы выработки, сложенной глинами, предложена А. П. Максимовым формула:

$$d = \frac{\pi}{4} (\xi \gamma H - \gamma H' \operatorname{tg} \varphi - C) - \frac{3\beta v_{cp}}{2a},$$

где v_{cp} — средняя скорость движения породы к выработке; β — коэффициент вязкости.

Под сдвигением понимают деформации пород, залегающих над выработанным пространством. В общем случае (по С. Г. Авершину) для сдвижения характерно образование нескольких зон. Непосредственно в кровле выработанного пласта породы провисают и обрушаются, образуя зону беспорядочного обрушения. Высота h этой зоны ориентировочно равна

$$h = \frac{m}{K - 1},$$

где m — мощность вынимаемого пласта; K — коэффициент разрыхления пород при обрушении.

Величина коэффициента разрыхления изучена пока недостаточно. Она зависит (по С. Г. Авершину) от физико-механических свойств пород, мощности вынимаемого пласта, размеров обнаженной при обрушении площади, скорости продвижения забоя и изменяется в пределах от 1,0 до 1,5. Например, для глинистых сланцев В. Д. Слесарев принимает следующие величины этого коэффициента (табл. 30).

При большой крепости и монолитности пород их обрушения может не происходить даже при значительных пролетах над выработками. Такие «мосты» бывают устойчивы до определенной величины пролета выработки, свойственной данной породе. Если в кровле выработки залегают мощные слои глин, способных к пластическим деформациям, то может произойти плавная посадка кровли, без разрыва сплошности пород. В сильно трещиноватых слоистых породах в кровле выработки наблюдаются отдельные вывалы пород и куполение, т. е. образование над выработкой естественных сводов — куполов. Куполение может происходить также и в рыхлых породах, рыхлых рудах или песчано-глинистых толщах. Зоны и углы сдвижения зависят от условий залегания пород. Участок земной поверхности, подвергшийся сдвижению в результате проходки горных выработок, называют мульдой сдвижения. Для определения размеров мульды и углов сдвижения проводят специальные инструментальные наблюдения с установкой на поверхности реперов (станций наблюдений). Для расчета величины деформаций применяют метод построения профилей по данным оседания реперов и траекторий их смещения в плане.

Расчет величины наибольшего оседания поверхности в условиях полной подработки и пологого залегания слоев производят также по следующим эмпирическим формулам:

$$\eta_0 = \frac{a}{a + \sqrt{H}} m,$$

где η_0 — наибольшее оседание поверхности; H — средняя глубина разработок; m — мощность вынимаемого пласта; a — эмпирическая величина, принимаемая, например для Донбасса, равной 25;

$$\eta_0 = 2\eta m,$$

Таблица 30

Величина коэффициента разрыхления для глинистых сланцев

Мощность вынимаемого пласта, м	Крепость сланцев	Коэффициент разрыхления, K
До 1	Слабые	1,15—1,20
	Крепкие	1,20—1,25
От 1 до 2	Слабые	1,25—1,30
	Крепкие	1,30—1,35
От 2 до 3	Слабые	1,30—1,35
	Крепкие	1,35—1,40

где t и e — коэффициенты, определяемые по формулам

$$t = \frac{\operatorname{ctg} \psi}{\operatorname{ctg} \psi + \operatorname{ctg} \delta}, \quad e = \frac{P}{mS},$$

где P — площадь сечения мулды по главному направлению; S — сечение вырабатанного пространства; ψ — угол полной подработки; δ — угол сдвижения.

XI. ТРЕЩИНОВАТОСТЬ

Степень и характер трещиноватости горных пород в массиве определяют оценку: 1) деформируемости и устойчивости массива; 2) водопроницаемости; 3) блочности; 4) разрабатываемости; 5) горного давления.

Трещины в горных породах могут различаться по геометрии, морфологии и генезису.

Множество трещин, совместно развитых в той или иной части массива, образуют пространственную сеть (или решетку) трещиноватости. Сеть трещин может быть охарактеризована набором параметров трещиноватости. По геометрическим особенностям М. В. Рац и С. Н. Чернышов выделяют три основных типа сетей трещин: 1) системные; 2) хаотические и 3) полигональные*.

Системой трещин называется множество трещин, примерно, параллельных друг другу. Системная сеть, как правило, образуется не менее чем тремя системами трещин, каждая из которых может быть охарактеризована следующими основными параметрами: 1) азимут падения плоскости трещин (α°); 2) их угол падения (β°); 3) расстояние между соседними трещинами (a); 4) ширина (раскрытие) трещин (σ); 5) протяженность следов трещин в плоскости обнажения (l м).

Геометрические классификации трещин позволяют рассчитать множество различно ориентированных в пространстве систем трещин на характерные группы. Геометрическая классификация может осуществляться по одному параметру (например, по углу падения: вертикальные трещины с углами падения $72-90^\circ$, крутые — $45-72^\circ$, пологие — $6-45^\circ$, горизонтальные — $0-6^\circ$) или по двум параметрам (например, по величине углов пересечения трещин со слоистостью и осью складки и т. п.).

Морфологическим типом трещин называется множество трещин, обладающих сходным обликом. Морфологический тип может включать несколько различно ориентированных систем трещин, реже одна система может включать трещины различных морфологических типов.

Генетическим типом трещин называется множество трещин, сформировавшихся под действием одних и тех же геологических причин. Генетический тип трещин по объему может совпадать с морфологическим. Различают три основных генетических типа трещин: 1) литогенетические; 2) тектонические и 3) экзогенные.

Литогенетические трещины подразделяются по условиям их образования на глубинные и поверхностные. К глубинным относятся контракционные трещины в интрузиях, диастромах (трещины «напластования») и так называемые «общие» трещины в осадочных породах.

Характерной особенностью глубинных литогенетических трещин является взаимная ортогональность их систем. В отличие от них поверхностные литогенетические трещины (остывания в эффузивах и усыхания в осадочных породах) чаще образуют полигональную 5—6-угольную отдельность. По механическому типу все литогенетические трещины относятся к трещинам отрыва.

Тектонические трещины могут быть разделены по приуроченности к складчатым структурам или разрывам, а по механическому типу — на трещины отрыва и трещины скалывания. Трещины отрыва обычно характеризуются неровными, шероховатыми стенками и значительной шириной. В отличие от них трещины скалывания часто сомкнуты и несут на стенках следы скольжения (борозды, штрихи, зеркала скольжения). К тектоническим трещинам скалывания может быть

* Другие типы сетей (например, так называемые структуры «конского хвоста») встречаются очень редко.

условно отнесена группа трещин кливажа, характеризующихся очень большой густотой и региональным развитием в некоторых районах.

Экзогенные трещины делятся на две основные группы: естественные и искусственные, сформировавшиеся в результате инженерной деятельности человека. Естественные экзогенные трещины включают трещины выветривания, разгрузки (в частности, трещины «бортового отпора»), трещины связанные с просадочными явлениями и оползнями. Искусственные экзогенные трещины объединяют два основных вида трещин, трещины разгрузки вблизи карьеров и строительных котлованов и трещины взрывов.

Для выявления систем трещин по результатам замеров горным компасом строят круговые диаграммы на сетках Вальтера—Шмидта или Каврайского. Ввиду значительной трудоемкости аналитической обработки диаграмм на практике обычно ограничиваются графической обработкой замеров.

Замеры индивидуальных трещин производятся раздельно по типам и системам, т. е. сначала замеряются параметры одной системы данного морфологического типа трещин, затем другой системы того же типа; покончив с одним типом трещин, переходят к другому.

Замеры индивидуальных трещин данной системы производятся в следующем порядке. Сначала замеряется ориентировка трещин. Когда число замеров будет достаточным и ориентировка системы очевидна, переходят к замерам остальных параметров с помощью металлического метра или стальной линейки с миллиметровыми делениями. Расстояние между соседними трещинами и их ширина замеряются подряд — для всех трещин данной системы, выходящих на поверхность обнажения, начиная от произвольной точки: ширина первой трещины, расстояние между первой и второй, ширина второй трещины, расстояние между второй и третьей и т. д. Протяженность трещин измеряется либо параллельно с замерами ширины, либо отдельно, по окончании замеров ширины и густоты.

Замеры расстояний между соседними трещинами желательно проводить по перпендикуляру к плоскостям трещин, чтобы избежать введения тригонометрических поправок или влияния экспозиции обнажения на результаты замеров.

Камеральная обработка состоит в вычислении средних и среднеквадратических отклонений значений параметров трещиноватости по каждому типу и системе трещин для каждого обнажения в отдельности по формулам

$$a = \frac{\sum_{n=1}^n a_i}{n}, \quad \sigma_a = \sqrt{\frac{\sum (a_i - a)^2}{n - 1}},$$

где a_i — единичные замеры параметров; n — число замеров.

Принципы обобщения параметров трещиноватости по площади определяются геологическими условиями района. Прежде всего выделяется фон трещиноватости, характерный для данной геологической формации. Затем производится обобщение параметров ориентировки и параллельно районирование территории с выделением участков, обладающих единообразной пространственной сетью трещин (одинаковой геометрией систем). Для каждого такого участка составляется сводная диаграмма трещиноватости.

Следующий этап состоит в обобщении количественных характеристик трещиноватости с параллельным делением на участки, обладающие устойчивой густотой трещин. Для каждого такого участка составляется таблица осредненных параметров.

При документации горных работ основной задачей исследования является изучение закономерностей сужения трещин в глубь массива, изменения в характере и состоянии заполнителя. Трещины сужаются в глубь массива по разным законам, поэтому необходимо раздельное изучение трещин по типам и системам.

При изучении трещиноватости по скважинам следует фиксировать углы падения трещин, число трещин на 1 пог. м керна и характер заполнения. Большую пользу может принести также исследование стенок скважин с помощью фотобуроскопа.

Весьма ценными косвенными признаками, позволяющими оценивать относительную трещиноватость пород, являются скорость чистого бурения, размер столбиков и процент выхода керна. Статистическое исследование этих признаков

совместно с непосредственными наблюдениями трещиноватости и данными геофизической разведки (сейсмоакустические методы, электрокаротаж, вертикальное электрическое зондирование) позволяют получить достаточно точное для практических целей представление о трещиноватости пород, вскрытых скважиной.

Объемная трещинная пустотность массива может быть оценена по формуле

$$\Pi = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i}{a_i + \sigma_i} 100\%,$$

где \bar{a}_i и σ_i — средние значения ширины и расстояния между соседними трещинами по каждой из систем, совместно развитых в данном массиве.

ХИ. СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Сейсмические процессы подразделяются на естественные и искусственные. Первые вызываются тектоническими процессами, вулканическими извержениями, горными обвалами и карстовыми провалами. Вторые связаны с промышленными и иными взрывами, например ядерными, с созданием водохранилищ и др. Последние делятся на воздушные, наземные и подземные. Все они сопровождаются сейсмическими процессами.

По месту проявления различают землетрясения и моретрясения. Последние сопровождаются крупными океаническими волнами — цунами.

Область зарождения землетрясения, находящуюся на некоторой глубине от поверхности земли, называют очагом, или гипоцентром, а область, лежащую над ним на поверхности земли, — эпицентром, или эпицентральной областью. Различают очаги нормальные, расположенные на глубине до 70—80 км, промежуточные, находящиеся на глубине 70—300 км, и глубокие — на глубине более 300 км. Область проявления разрушительных землетрясений называется плейстосейстовой областью.

Сейсмические волны

Из сейсмического очага, или эпицентра, где зарождается сейсмическая энергия, по всем направлениям распространяются упругие волны — сейсмические волны нескольких видов. Глубинные волны делятся на продольные — объемные волны, вызывающие расширение и сжатие пород, и поперечные, вызывающие в них деформации сдвига — изменение формы. Продольные волны распространяются во всех средах — твердых, жидких и газообразных, поперечные — только в твердых средах.

Шкала сейсмической балльности

Интенсивность землетрясений выражают в баллах, определяющих силу землетрясения на поверхности земли.

Для определения по шкале интенсивности землетрясения в баллах используется поведение построек и грунтов при землетрясении, ощущения людей и т. д.

Классификация, принятая в шкале

I. Типы сооружений (здания, возведенные без необходимых антисейсмических мероприятий):

тип А — здания из рваного камня, сельские постройки, дома из кирпича-сырца, глинобитные дома; тип Б — обычные кирпичные дома, здания крупноблочного и панельного типов, фахверковые строения, здания из естественного тесаного камня; тип В — каркасные железобетонные здания, деревянные дома хорошей постройки.

II. Количественные оценки числа разрушенных сооружений: 1) разрушены отдельные — около 5% от общего числа сооружений; 2) разрушены многие — около 50% от общего числа сооружений; 3) разрушено большинство — около 75% от общего числа сооружений.

III. Классификация повреждений: 1-я степень — легкие повреждения (тонкие трещины в штукатурке и откалывание небольших кусков штукатурки); 2-я степень — умеренные повреждения (небольшие трещины в стенах, откалывание довольно больших кусков штукатурки, падение кровельных черепиц, трещины в дымовых трубах, падение отдельных частей дымовых труб); 3-я степень — тяжелые повреждения (большие и глубокие трещины в стенах, падение дымовых труб); 4-я степень — разрушения (сквозные трещины и проломы в стенах, обрушения частей зданий, разрушение связей между отдельными частями зданий, обрушение внутренних стен и стен заполнения каркаса); 5-я степень — обвалы (полное разрушение зданий).

IV. Группировка признаков шкалы: люди и их окружение, сооружения, природные явления.

Интенсивность (в баллах)

1. **Неощутимое землетрясение:** интенсивность колебаний лежит ниже предела чувствительности людей; сотрясения почвы обнаруживаются и регистрируются только сейсмографами.

2. **Едва ощутимое землетрясение:** колебания ощущаются только отдельными людьми, находящимися в покое внутри помещений, особенно на верхних этажах.

3. **Слабое сотрясение:** землетрясение ощущается немногими людьми, находящимися внутри помещений; под открытым небом — только в благоприятных условиях. Колебания схожи с сотрясением, создаваемым проезжающим легким грузовиком. Внимательные люди замечают легкое раскачивание висячих предметов, несколько более сильное на верхних этажах.

4. **Заметное сотрясение:** землетрясение ощущается внутри зданий многими людьми, под открытым небом — немногими. Некоторые спящие просыпаются, но никто не пугается. Колебания схожи с сотрясением, создаваемым проезжающим тяжело нагруженным грузовиком. Дребезжание окон, дверей, посуды. Скрип полов и стен. Начинается дрожание мебели. Висячие предметы слегка раскачиваются. Жидкость в открытых сосудах слегка колеблется. В стоящих на месте автомашинах толчок заметен.

5. **Пробуждение. А.** Землетрясение ощущается всеми людьми внутри помещений, под открытым небом — многими. Большинство спящих просыпаются. Немногие люди выбегают из помещений. Животные беспокоятся. Сотрясение зданий в целом. Висячие предметы сильно качаются. Картины сдвигаются с места. В редких случаях останавливаются маятниковые часы. Некоторые неустойчивые предметы опрокидываются или сдвигаются. Незапертые двери и окна распахиваются и снова захлопываются. Из наполненных открытых сосудов в небольших количествах выплескивается жидкость. Ощущаемые колебания схожи с колебаниями, создаваемыми падением тяжелых предметов внутри здания.

Б. Возможны повреждения 1-й степени в отдельных зданиях типа А.

В. В некоторых случаях меняется дебит источников.

6. **Испуг. А.** Землетрясение ощущается большинством людей как внутри помещений, так и под открытым небом. Многие люди, находящиеся в зданиях, пугаются и выбегают на улицу. Некоторые теряют равновесие. Домашние животные выбегают из укрытий. В отдельных случаях может разбиться посуда и другие стеклянные изделия; падают книги. Возможно движение тяжелой мебели; может быть слышен звон малых колоколов на колокольнях.

Б. Повреждения 1-й степени происходят в отдельных зданиях типа Б и во многих зданиях типа А. В отдельных зданиях типа А — повреждения 2-й степени.

В. В немногих случаях в сырых грунтах возможны трещины шириной до 1 см; в горных районах наблюдаются отдельные случаи оползней. Отмечаются изменения дебита источников и уровня воды в колодцах.

7. **Повреждения зданий. 1.** Большинство людей испуганы и выбегают из помещений. Многие люди с трудом удерживаются на ногах. Колебания отмечаются лицами, ведущими автомашины. Звонят большие колокола.

2. Во многих зданиях типа В — происходят повреждения 1-й степени, типа Б — повреждения 2-й степени, типа А — повреждения 3-й степени, в отдельных

зданиях этого типа — повреждения 4-й степени. В отдельных случаях наблюдаются оползни проезжих частей дорог на крутых склонах и трещины на дорогах. Нарушения стыков трубопроводов; трещины в каменных оградах.

3. На поверхности воды образуются волны, вода становится мутной вследствие поднятия ила. Изменяется уровень воды в колодцах и дебит источников. В немногих случаях возникают или пропадают существующие источники воды. Наблюдаются отдельные случаи оползней на песчаных или гравелистых берегах рек.

8. **Сильные повреждения зданий.** 1. Испуг и паника; испытывают беспокойство даже люди, ведущие автомашины. Кое-где обламываются ветви деревьев. Сдвигается и иногда опрокидывается тяжелая мебель. Часть висячих ламп повреждается.

2. Во многих зданиях типа В происходят повреждения 2-й степени, в отдельных зданиях этой группы — повреждения 3-й степени. Во многих зданиях типа А происходят повреждения 4-й степени, в отдельных — 5-й степени. Наблюдаются случаи разрыва стыков трубопроводов. Памятники и статуи сдвигаются с мест. Надгробные камни опрокидываются. Каменные ограды разрушаются.

3. Наблюдаются небольшие оползни на крутых откосах выемок и насыпей дорог; трещины в грунтах достигают нескольких сантиметров. Возникают новые водоемы. Иногда пересохшие колодцы наполняются водой, а существующие колодцы исчезают. Во многих случаях изменяются дебит источников и уровень воды в колодцах.

9. **Массовое повреждение зданий.** 1. Всеобщая паника; большие повреждения мебели. Животные мечутся и издают крики.

2. Во многих зданиях типа В происходят повреждения 3-й степени и в отдельных — 4-й степени. Во многих зданиях типа Б — повреждения 4-й степени и в отдельных — 5-й степени. Во многих зданиях типа А — повреждения 5-й степени. Памятники и колонны опрокидываются. Значительные повреждения искусственных водоемов; разрывы части подземных трубопроводов. В отдельных случаях наблюдаются искривление железнодорожных рельсов и повреждения проезжих частей дорог.

3. На равнинах возникают наводнения, часто заметны наносы песка и ила. Трещины в грунтах достигают ширины 10 см, а по склонам и берегам рек — свыше 10 см; кроме того, наблюдается большое количество тонких трещин в грунтах. Скалы обваливаются; происходят отдельные оползни и осыпания грунта. На поверхности воды появляются большие волны.

10. **Всеобщие разрушения зданий.** 1. Во многих зданиях типа В происходят повреждения 4-й степени, а в отдельных — 5-й степени. Во многих зданиях типа Б — повреждения 5-й степени, в большинстве зданий типа А — повреждения 5-й степени. Наблюдаются опасные повреждения плотин и дамб, серьезные повреждения мостов; легкие искривления железнодорожных рельсов, разрывы или искривления подземных трубопроводов. Дорожные покрытия и асфальт образуют волнообразную поверхность.

2. Трещины в грунтах достигают ширины нескольких дециметров, а в некоторых случаях 1 м. Параллельно руслам водных потоков появляются широкие разрывы. Наблюдается осыпание рыхлых пород с крутых склонов. Возможны большие оползни на берегах рек и крутых морских побережьях. В прибрежных районах перемещаются песчаные и илестые массы. Отмечается выплескивание воды из каналов, озер, рек и т. д. Возникают новые озера.

11. **Катастрофа.** 1. Серьезные повреждения даже зданий хорошей постройки, мостов, плотин и железнодорожных путей; шоссе и дороги приходят в негодность; разрушение подземных трубопроводов.

2. Значительные деформации почвы в виде широких трещин, разрывов и перемещений в вертикальном и горизонтальном направлениях; многочисленные горные обвалы. Определение интенсивности сотрясения (балльности) требует специального исследования.

12. **Изменение рельефа.** 1. Сильное повреждение или разрушение практически всех наземных и подземных сооружений.

2. Радикальные изменения земной поверхности.

Сейсмическое микрорайонирование территории в инженерных целях

Сейсмическое районирование, выполняемое для обоснования строительства городов, промышленных предприятий, гидроэнергетического и других видов строительства, получило название сейсмического микрорайонирования, которое обычно ведется в масштабе 1 : 5000—1 : 10 000, в отдельных случаях — 1 : 25 000.

Оно основывается на следующих данных: 1) сейсмостатистических — сведениях о положении очагов, распределении эпицентров и т. п.; 2) инструментальных сейсмических наблюдений — графиках повторяемости землетрясений, картах активности, сотрясаемости и т. д.; 3) инженерно-геологических, определяющих состав грунтов, особенности их залегания, положение уровня грунтовых вод, характер развития физико-геологических явлений и остаточных деформаций грунтов, возникающих при сильных землетрясениях; 4) инструментальных определений приращения сейсмической интенсивности.

ХIII. ПРОГНОЗ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Некоторые исследователи различают следующие виды прогноза: а) пространственный, б) временной.

Пространственные прогнозы определяют место проявления экзогенных геологических процессов (ЭГП). Они могут быть региональными и локальными. В ходе региональных пространственных прогнозов решаются следующие основные задачи: 1) определение вероятности проявления различных типов ЭГП на данной территории; 2) районирование по условиям и возможной интенсивности их проявления.

В качестве косвенного показателя интенсивности проявления ЭГП принимается пораженность территории экзогенными геологическими процессами (табл. 31).

Коэффициент площадной пораженности, например, оползнями (K_p) — это отношение площади, занятой оползневыми формами рельефа без учета их возраста (f_p), ко всей площади участка (F):

$$K_p = \frac{f_p}{F}.$$

Коэффициент частоты оползней (K'_p) — отношение числа оползней на данном участке (n) к площади этого участка (F):

$$K'_p = \frac{n}{F}.$$

Т а б л и ц а 31

Классификация территории по пораженности ее экзогенными геологическими процессами

Категория пораженности	Коэффициент пораженности экзогенными геологическими процессами	Категория пораженности	Коэффициент пораженности экзогенными геологическими процессами
I. Территория не поражена	Формы проявления ЭГП не обнаружены	IV. Средняя	0,2—0,3 0,3—0,4
II. Весьма слабая	Единичные формы	V. Сильная	0,4—0,5 0,5—0,6
III. Слабая	<0,01 0,0—0,1 0,1—0,2	VI. Очень сильная	0,6—0,7 0,7—0,8
		VII. Весьма сильная	>0,8

Коэффициент пораженности обвалами, осыпями и другими процессами, которые характеризуются площадным типом распространения, определяется по аналогичным формулам.

Интенсивность проявления селей оценивается коэффициентом селенности (K_S), под которым понимается отношение длины русел постоянных и временных водотоков, по которым проходят селевые потоки (l_S) к общей длине русел всех водотоков на данном участке (L).

$$K_S = \frac{l_S}{L}.$$

Прогнозное районирование производится по ряду наиболее существенных признаков, к числу которых относятся: состав литолого-стратиграфических комплексов пород, гидрогеологические условия, сеймотектоническая активность территории, энергия рельефа и его горизонтальная расчлененность, климатические характеристики и т. д. Каждый признак по степени влияния на экзогенные геологические процессы (слабое, среднее, сильное) делится на классы. Им присваиваются числовые индексы.

Количественное влияние всех рассматриваемых признаков на устойчивость территории оценивается в баллах путем подсчета сумм индексов отдельных классов признаков и числа их наихудших значений. Таким образом, в пределах исследуемой территории выделяется несколько категорий районов (областей) по степени ее устойчивости к воздействию исследуемых экзогенных геологических процессов.

Временные прогнозы. К категории временных прогнозов относятся определение видов годовых сезонов и многолетних периодов наиболее вероятного проявления экзогенных геологических процессов.

Сверхдолгосрочные прогнозы составляются в пределах векового (80—90 лет) солнечного цикла, а долгосрочные в пределах 11-летнего цикла. Долговременные прогнозы должны составляться с учетом истории геологического развития и климатических изменений, которые в этом случае рассматриваются как фон.

Общая технологическая схема долгосрочных региональных прогнозов ЭГП приведена на рис. 31.



Рис. 31. Технологическая схема долгосрочных прогнозов экзогенных геологических процессов

При долговременных прогнозах ЭГП используется комплекс методов гармонического и корреляционно-регрессионного анализов. Кроме строгих математических методов, используются анализ проявления ЭГП и изменения основных и производных факторов по частям 11-летнего солнечного цикла, анализ и сравнение интегральных кривых модульных коэффициентов изменяющихся факторов, солнечной активности, с одной стороны, и проявление ЭГП, с другой.

В том случае, когда имеются достаточно длинные ряды наблюдений непосредственно за экзогенными геологическими процессами, выявляются циклы их активизации и для прогноза может быть использовано уравнение

$$x(t) = \eta(t) + Z(t) + \varepsilon(t),$$

где $\eta(t)$ — тренд; $Z(t)$ — циклы разной амплитуды и продолжительности; $\varepsilon(t)$ — случайная компонента.

Основное достоинство этой модели заключается в том, что для прогноза не требуется знания факторов, обуславливающих развитие ЭГП, так как влияние их учитывается в отрезке ряда, на котором проводится обучение ЭВМ. Поэтому интервал обучения следует выбирать таким образом, чтобы он отражал основные особенности наблюдаемого ряда и дальнейшую его тенденцию.

ХIV. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ПРИРОДЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

Мероприятия по охране природной среды предусматриваются: 1) в проектах, на основе которых проводятся инженерно-геологические работы; 2) в технических условиях проведения инженерно-геологических работ; 3) в дополнительных проектах; 4) в специальных указаниях и требованиях, сформулированных дополнительно в процессе работ.

На проведение инженерно-геологических работ от Государственных органов по контролю за охраной природы должны быть получены специальные разрешения. Особенно это распространяется на заповедники, курортные, водоохранные зоны, а также на зоны питания источников минеральных вод, водозаборы пресных подземных вод, шельфовые зоны, районы горных разработок, города и урбанизированные зоны.

Проектируемые и реализуемые при производстве инженерно-геологических работ мероприятия направлены на охрану земель, растительности, фауны, поверхностных и подземных вод, недр, на предотвращение возникновения шума и загрязнения воздушной среды.

Контроль за планированием и осуществлением мероприятий по охране окружающей природной среды при проведении инженерно-геологических работ осуществляется Государственными органами по контролю за охраной природы и отделами вышестоящих организаций.

Характер проведения природоохранных мероприятий и их геологическая эффективность кратко отражаются во вводной части отчетов по исследованию инженерно-геологических объектов.

Охрана природных объектов включает охрану земель и растительности.

Охрана земель подразумевает разработку и осуществление мероприятий, направленных к всемерному снижению площади и количества участков, в пределах которых в результате производства инженерно-геологических работ будут нарушены почвенный слой или растительность, и к восстановлению земельных участков в состояние, пригодное для использования в сельском, лесном или рыбном хозяйстве, а при производстве указанных работ на других землях — в состояние, пригодное для использования их по назначению. Размеры производственных участков должны устанавливаться в соответствии с разработанными нормативами.

Подъездные пути и инженерные коммуникации между участком производства буровых или опытных работ и существующими транспортными и инженерными сетями на землях сельскохозяйственного, лесохозяйственного или иного пользования должны прокладываться по оптимально кратчайшему расстоянию с максимальным использованием имеющихся полевой, дорожной или инженерной сети, с учетом существующих просек, границ полей и т. п. В районах криолитозоны —

также с учетом мерзлотно-грунтовых условий и применением мероприятий, обеспечивающих предотвращение или снижение возможности развития термокарстовых процессов.

При проведении работ на землях, использовавшихся ранее в сельском или лесном хозяйстве, в рекреационных или иных подобных целях почвенный слой должен быть снят и сохранен до окончания работ и в последующем использован для рекультивации.

Почвенно-растительный слой должен быть сохранен или восстановлен там, где его уничтожение может вызвать или активизировать развитие нежелательных инженерно-геологических, в том числе геокриологических процессов.

В целях охраны почвы от загрязнения бытовыми и производственными отходами на участках, эксплуатируемых при инженерно-геологических работах, необходимо эти отходы складировать в контейнерах или емкостях, а затем сжигать или захоронять.

Почвенный слой, пропитанный нефтехимическими продуктами, снимают и вывозят в ближайшие отвалы и захороняют на глубину не менее двух метров, при обеспечении его изоляции от грунтовых вод.

Охрана растительности — подразумевает выполнение мероприятий, направленных к снижению ущербов, наносимых лесным массивам и другим видам растительности.

Инженерно-геологические экспедиции, партии и отряды обязаны до начала работ зарегистрировать в лесхозах, на территории которых будут производиться работы, места проведения работ, места расположения основных баз, а также маршруты следования по лесу. Рубка леса на топливо, строительство или иные нужды допускается только по разрешению (ордеру, порубочному билету), выдаваемому органами лесного хозяйства.

Не допускается рубка леса: а) в заповедниках, памятниках природы, национальных парках и других территориях с установленным специальным режимом природопользования; б) в водоохраных зонах по берегам рек, озер и водохранилищ; на площадях инфильтрации и питания подземных вод; в) на площадях, где лесная растительность предотвращает развитие нежелательных эрозийных и других физико-геологических процессов (на склонах гор, в лесополосах, в районах развития овражной и других типов эрозии, эоловых процессов, процессов засоления и заболачивания почв); г) в условиях развития многолетнемерзлых пород, на таликах и в иных местах, где нарушение теплового баланса почво-грунтов, вызванное вырубкой леса, может ухудшить состояние других природных комплексов территории или привести к развитию нежелательных геокриологических процессов.

Охрана фауны предполагает строгое выполнение (при проведении полевых работ) сроков, норм и правил охоты и рыболовства, установленных для территории СССР, союзных республик, краев, областей и автономных республик, а также на территории национальных парков, заповедников и заказников. С целью охраны животных при производстве работ необходимо принимать меры по ограждению и своевременной ликвидации всех горных выработок, а также меры по предотвращению случайного воздействия на животных токсичных химических реактивов.

Охрана поверхностных вод подразумевает разработку и осуществление мероприятий, направленных к предупреждению возможности их загрязнения горюче-смазочными материалами, химическими реактивами, используемыми для проведения буровых или опытных работ, бытовыми отходами.

Охрана подземных вод предусматривает проектирование и осуществление мероприятий, предотвращающих нежелательные изменения режима и качества подземных вод в результате проведения инженерно-геологических работ. В число таких мероприятий входит:

а) проведение инженерно-геологических работ в строгом соответствии с существующими инструкциями и методическими указаниями, включая указания по бурению, опробованию и ликвидации скважин и горных выработок; б) своевременная ликвидация самоизливающихся скважин; в) всемерное ограничение использования в практике бурения в качестве бурового раствора соленых вод, а также нефтепродуктов для консервации скважин или при ликвидации аварий; г) пре-

дотворщение ухудшения качества подземных вод путем надежной изоляции жидких производственных отходов, складов и отходов ГСМ, использования для консервации скважин в условиях мерзлой зоны греющего кабеля вместо солевого раствора или нефтепродуктов.

Предупреждение возникновения шума особенно важно при работе в городах и населенных пунктах, оно сводится к: а) соблюдению предельно допустимых значений вредного влияния шума в окружающей человека среде путем правильной эксплуатации технического оборудования; б) выбору места работ с учетом расстояния до жилых домов и общественных зданий с таким расчетом, чтобы воздействие шума не превышало норм, установленных санитарно-эпидемиологической службой.

Охрана атмосферного воздуха от загрязнений отработанными газами транспортных средств и двигателей буровых установок состоит в регулярном (в соответствии с ТУ эксплуатации двигателей) контроле двигателей и поддержании их в технически исправном состоянии. Необходимо проводить инструментальный контроль за выбросом вредных веществ на основе их измерения в выхлопных газах и не допускать эксплуатацию двигателей, которые по содержанию выхлопных газов не отвечают техническим условиям.

Охрана недр предусматривает предотвращение вредного влияния производства работ на сохранность запасов полезных ископаемых, предотвращение вредного влияния работ на состояние подземных сооружений, горных выработок и буровых скважин.

Природоохранные мероприятия, осуществляемые при инженерно-геологических работах, реализуются через особенности технологии производства инженерно-геологических работ, обеспечивая охрану природных объектов.

Мероприятия, осуществляемые при строительстве временных поселков и обустройстве полевых лагерей, включают расчистку и оборудование площадок под хозяйственно-бытовые постройки, сооружение подъездных путей, строительство и эксплуатацию силовых установок и бытовых служб (пекарни, столовые, бани, туалеты и т. п.) и других сооружений, не связанных непосредственно с производством работ.

Временные поселки и полевые лагеря должны оборудоваться накопителями (контейнерами, выгребными ямами) для складирования бытовых отходов и туалетами, расположенными так, чтобы предотвратить возможность загрязнения природных, особенно — водных объектов. При необходимости, емкости накопителей должны быть снабжены глинистыми противофильтрационными экранами или зацементированы.

Меры особой предосторожности должны приниматься против загрязнения природных объектов нефтепродуктами. В этих целях временные склады ГСМ и стоянки автотранспорта должны располагаться таким образом, чтобы исключить попадание нефтепродуктов в поверхностные или подземные воды, а при необходимости оборудоваться противофильтрационным экраном (покрытием). Горючесмазочные материалы, попавшие на покрытие площадок, должны быть собраны в отстойниках-ловушках и затем сожжены.

Мероприятия, осуществляемые при буровых работах. В проектах буровых работ должен предусматриваться комплекс мероприятий по охране природных объектов.

Размеры и оборудование участка, отводимого под буровую установку, должны отвечать требованиям нормативов и предусматривать возможность восстановления земель после окончания работы.

Конструкция скважин должна, как правило, обеспечивать полную изоляцию всех горизонтов подземных вод от поверхностных вод и верховодки и грунтовых вод от артезианских.

Бурение инженерно-геологических скважин должно осуществляться, как правило, всухую или с продувкой воздухом, использованием в качестве промывочного раствора пресной воды или растворов на водной основе, не обладающих токсичными свойствами. Использование для этих целей глинистого раствора или соленой воды (в мерзлых породах) допускается, как исключение, при условии специального обоснования в проекте работ и тщательного контроля за качеством глинистого раствора.

В случае аварии, приведшей к утечке нефтепродуктов, химических реагентов, вод высокой минерализации или вод, содержащих в себе токсичные компоненты, способные привести к загрязнению почвы, поверхностных или подземных вод, необходимо принять меры к локализации и последующей ликвидации очага загрязнения, поставить в известность Государственные органы по охране природы.

Все скважины, бурение которых прекращено по геологическим или техническим причинам, и которые выполнили свое назначение, подлежат обязательной ликвидации, согласно существующим правилам и рекомендациям.

Мероприятия, осуществляемые при проведении горных работ, должны быть направлены к снижению отрицательных последствий и влияния их на окружающую среду. Все выработки, выполнившие свое назначение, должны быть ликвидированы (засыпаны), а на землях сельскохозяйственного, лесохозяйственного, рекреационного и иного назначения — рекультивированы с восстановлением почвенного слоя, в лесопарковых и рекреационных зонах — дернового покрова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горяинов Н. Н., Ляховицкий Ф. М.* Сейсмические методы в инженерной геологии. — М.: Недра, 1979. — 119 с. с ил.
2. *Емельянова Е. П.* Сравнительный метод оценки устойчивости склонов и прогноза оползней. — М.: Недра, 1971. — 115 с.
3. *Емельянова Е. П.* Основные закономерности оползневых процессов. — М.: Недра, 1972. — 281 с.
4. *Золотарев Г. С.* Инженерно-геологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработки. — Тр. Лаб. гидрогеол. пробл. АН СССР, 1955, в. 12, с. 182—235.
5. *Качугин Е. Г.* Переработка берегов при подпоре рек. — М.: Госгеолиздат, 1949, с. 26—82.
6. *Костомаров В. М.* Противооползневые мероприятия в городах. — М.: Стройиздат, 1967. — 174 с.
7. *Ляховицкий Ф. М.* О соотношении упругих и прочностных свойств горных пород. — В кн.: Геофизические исследования, № 1. Изд-во МГУ, 1964, с. 294—305 с ил.
8. *Методическое руководство по комплексному изучению селей.* Под ред. М. В. Чуринова и А. И. Шeko. М.: Недра, 1971. — 164 с.
9. *Рац М. В., Чернышов С. Н.* Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. — М.: Недра, 1970. — 160 с.
10. *Розовский Л. Б.* Оценка устойчивости склонов водохранилищ по аналогиям. — В кн.: Материалы совещания по вопросам изучения оползней и мер борьбы с ними. — Киев, изд-во КГУ, 1964, с. 180—186.
11. *Рекомендации по применению сейсмической разведки для изучения физико-механических свойств рыхлых грунтов в естественном залегании для строительных целей.* — М.: Стройиздат, 1974. — 142 с.
12. *Родионов Н. В.* Карст европейской части СССР, Урала и Кавказа. — М.: Госгеолтехиздат, 1963. — 175 с.
13. *Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в оползневых районах.* — М.: Стройиздат, 1966. — 81 с.
14. *Славянов В. Н., Фандеева В. И.* Влияние горных работ на природные условия КМА. — В кн.: Инженерно-геологические процессы и явления, их значение для строительства. — М.: 1963, с. 75—82.
15. *Славянов В. Н.* Инженерно-геологические прогнозы устойчивости откосов. — М.: Госстройиздат, 1964, с. 85—100.
16. *Указатель литературы по оползням* (составитель Н. Ф. Погребов). — М.: ОНТИ, 1936. — 78 с.
17. *Указатель литературы по оползням и устойчивости склонов*, изданной в 1936—1960 гг. (составитель Е. П. Емельянова). — М.: ВСЕГИНГЕО, 1962. — 71 с.
18. *Указатель литературы по оползням*, изданной в 1961—1971 гг. (составители К. А. Гулякин и В. В. Кюнтцель). — М.: ВСЕГИНГЕО, 1972.
19. *Федынский В. В.* Введение к т. 1 Справочника геофизика, 2-е изд. — М.: Недра, 1977, с. 5—14.
20. *Флейшман С. М.* Сели. — Л.: Гидрометеониздат, 1970. — 352 с.

Глава пятая

ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

I. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

В данном разделе справочника рассматриваются виды исследований, перечень главнейших характеристик и показателей, получаемых при проведении государственной среднемасштабной (1 : 200 000) инженерно-геологической съемки.

Содержание инженерно-геологической съемки представлено в табличной форме и выполнено в соответствии с требованиями, изложенными в методическом руководстве по инженерно-геологической съемке масштаба 1 : 200 000 (1 : 500 000) под общей редакцией Е. С. Мельникова.

Методы получения инженерно-геологической информации при разведке и опробовании горных пород детально приводятся в разделах II—X данной главы.

Под инженерно-геологической съемкой следует понимать выполнение комплекса полевых, лабораторных и камеральных исследований с целью получения информации (табл. 32—44) об инженерно-геологических условиях территории.

II. ЛАНДШАФТНО-ИНДИКАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные сведения по индикационному ландшафтоведению. Ландшафтно-индикационными называются исследования, способные определять те или иные природные условия (в том числе инженерно-геологические) по внешнему облику изучаемой территории или по ее аэрофотоизображению.

Природные взаимосвязные системы, образующие ландшафтную оболочку Земли, именуются природно-территориальными комплексами (ПТК), которые являются целостными объектами-экосистемами, формирующимися в силу взаимозависимости природных условий в пределах генетически однородной части биосферы. ПТК — понятие родовое и может быть применимо к системам как крупным, так и мелким*. При полевых исследованиях природно-территориальные комплексы опознаются на местности как отдельные обособленные участки, отличающиеся друг от друга по своему внешнему облику, зависящему в первую очередь от рельефа и растительного покрова, и сильно варьирующие по величине в зависимости от масштаба производимых работ и детальности, с которой производится выделение ПТК.

Главнейшими компонентами ПТК являются литогенная основа его (т. е. горные породы и подземные воды со всеми их тектоническими, геохимическими и прочими особенностями и чертами строения), климат, рельеф, гидрографическая сеть, почва, растительность, животный мир и искусственные объекты. Литогенная основа и климат (температура, осадки и др.), а часто — искусственные объекты (деятельность человека) являются ведущими компонентами ПТК, определяющими возникновение определенных форм рельефа, почв и растительных сообществ.

* В некоторых отечественных и зарубежных работах в качестве синонимов «природно-территориального комплекса» применяются термины «экосистема», «геосистема» и «ландшафт».

Инженерно-геологическая съемка

Цели, задачи, содержание	Этапы, виды и методы выполняемых работ		
	подготовительный	полевой	камеральный
<p>Получение комплекса сведений геологического характера определяющих: местоположение крупных территориальных и гражданских объектов массового строительства неглубокого заложения, условия их устойчивости и работы, тип конструкции, методы строительства и режим эксплуатации</p> <p>Выявление закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геологических условий</p> <p>Установление взаимосвязи природных процессов с существующими инженерными сооружениями</p> <p>Прогноз изменения инженерно-геологических условий в естественных и нарушенных условиях</p>	<p>Сбор и анализ литературных и фондовых материалов. Предварительное дешифрирование аэрофотоматериалов. Составление ландшафтно-индикационной карты</p> <p>Намечаются главные направления изменчивости, ключевые участки, сетка маршрутов аэровизуальных наблюдений</p> <p>Составление проекта и сметы на инженерно-геологическую съемку</p>	<p>Определение количества, размеров и местоположения ключевых участков. Наземные полевые работы на предположительно типичных (ключевых) по инженерно-геологическим условиям участках с последующей экстраполяцией результатов их изучения на прилегающую территорию</p> <p>Опорные маршруты</p> <p>Широкое использование аэрометодов. Применение ландшафтно-индикационного метода; инженерно-геологического опробования; пенетрационного метода; геофизических методов; горно-проходческих работ, инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических наблюдений</p> <p>Обследование состояния инженерных сооружений</p> <p>Обобщение опыта строительства</p>	<p>Систематизация и окончательная обработка материалов, полученных в процессе полевого этапа</p> <p>Обработка полевой и лабораторной информации с применением перфокартного и математического методов</p> <p>Составление инженерно-геологической карты, разрезом, колонки и таблиц</p> <p>Составление отчета о съемке и пояснительной записки к инженерно-геологической карте</p>

Изучение физико-географических условий,
влияющих на выбор места строительства сооружений
(главным образом: путем сбора наименований, имеющейся информации)

Климатические сведения по данным гидрометеослужб	Гидрогеологические данные	Рельеф
<p>Температура воздуха — средняя годовая, годовая амплитуда колебаний среднемесячных температур</p> <p>Общая продолжительность морозного периода в месяцах и днях, среднемноголетние данные о датах его начала и конца, максимальные морозы и их продолжительность</p> <p>Влажность воздуха — относительная и абсолютная, распределение ее по месяцам и сезонам, число дней с дождями и туманами</p> <p>Осадки — их виды, среднемноголетняя сумма за год, по сезонам и месяцам, максимум и минимум с датами, периодичность ливневых дождей</p> <p>Снежный покров — продолжительность, средняя и максимальная толщина, максимальная средняя плотность снега, распределение в зависимости от рельефа и растительности</p> <p>Гололед — его распределение по месяцам</p> <p>Ветры — их преобладающее направление по сезонам, частота, скорость, число дней с метелями по месяцам</p> <p>Инсоляция — число солнечных дней и часов в году, суммарная солнечная радиация и величина радиационного баланса</p>	<p>Дается гидрогеологическая характеристика естественным и искусственным водотокам и водоемам</p> <p>По главнейшим рекам — длина, площадь водосбора, ширина, глубина, скорость течения, расход, высота паводка, площади затопления, гидрограф и график колебания уровня по месяцам и сезонам</p> <p>Размывающая и аккумулятивная деятельность</p> <p>Режимные наблюдения с целью оценки скорости и интенсивности роста оврагов</p> <p>Для водоемов — площадь зеркала, глубина, скорость и направление прибрежного течения и волнения, частота, средняя и максимальная высота волны</p> <p>Абразионная деятельность</p> <p>Генезис и стадия развития озер</p> <p>Площадь, мощность торфа, глубина до твердого дна, тип и генезис болот</p> <p>Искусственные каналы — устойчивость</p>	<p>Гипсометрическое положение местности</p> <p>Относительные высоты</p> <p>Интенсивность вертикального расчленения (энергия рельефа)</p> <p>Горизонтальное расчленение (густота долинно-балочной сети)</p> <p>Наклон и форма склонов</p> <p>Почвы (сведения о типах почв запрашиваются в местных сельскохозяйственных организациях)</p> <p>Дополняется определением химического состава и водно-физических свойств почв</p> <p>Растительность (сведения получают в лесничествах и заповедниках)</p> <p>Структура растительного покрова, видовой состав, покрытие</p>

**Изучение геологического строения, геоморфологических и гидрогеологических условий
в процессе инженерно-геологической съемки**

Геологическое строение	Тектоника	Геоморфология	Гидрогеология
<p>Выполняются контрольные наблюдения на ключевых участках и опорных маршрутах</p> <p>Проводится визуальное и лабораторное изучение условий залегания, состава, трещиноватости, выветрелости горных пород и их взаимозависимости с генезисом рельефа, распространением подземных вод и современных геологических процессов</p> <p>Выполняется расчленение горных пород по формационному и литолого-генетическому принципу, принятому за основу классификации горных пород</p> <p>Выделяются формации геосинклинальных, платформенных и орогенных областей дочетвертичных пород и генетические типы четвертичных отложений. Они разделяются на стратиграфо-генетические комплексы, в пределах которых выделяются петрографические типы пород</p>	<p>Устанавливается принадлежность территории к тектонической структуре</p> <p>Уточняется характер горных пород в зонах тектонического дробления, мощность и распространение этих зон, приуроченность к ним отрицательных форм рельефа, выходов подземных вод и современных геологических процессов</p> <p>Выявляется тектоническое строение пород, трещиноватость, характер неотектонических движений</p>	<p>Выявляются закономерности распространения, виды и динамика современных геологических процессов</p> <p>Устанавливаются генетические группы рельефа и их возраст</p> <p>Выявляется взаимосвязь современных геологических процессов от характера склонов</p> <p>Оценивается устойчивость склонов</p>	<p>Устанавливается влияние подземных вод на изменение состава, состояния и свойств горных пород; активизацию современных геологических процессов; условия строительства и эксплуатацию сооружений, возможные притоки в строительные котлованы и подземные сооружения; потери в водохранилищах; на строительные материалы и металл (агрессивность и коррозионность); на фильтрационные свойства зоны аэрации; на многолетнее промерзание и оттаивание пород</p>

**Изучение геокриологических условий
в процессе инженерно-геологической съемки**

Вид требуемой информации	Перечень устанавливаемых характеристик, показателей и свойств
Состав и генезис многолетне-мерзлых пород	<p>Напластование, мощность слоев, их распределение по площади, приуроченность к геологическим структурам и элементам рельефа</p> <p>Генезис пород, их состав и стратиграфическая принадлежность. Наличие мономинеральных скоплений льда и их генезис, форма, условия залегания, текстурные особенности льда</p>
Криогенное строение	<p>Первичные текстурные особенности пород (пористость, слоистость, сландцеватость) трещиноватость, кавернозность и др.</p> <p>Криогенная текстура пород по слоям и их объемная льдистость</p> <p>Тип промерзания (эпи- или сингенетический) рыхлых четвертичных отложений</p> <p>Генезис пустот, степень их заполненности льдом, текстурные и структурные особенности льда, его химический состав. Выявление трещинных и трещинно-жильных криогенных текстур изверженных и метаморфических пород и пластовых типов для скальных и полускальных осадочных пород</p>
Сезонное промерзание и протаивание (СПиП)	<p>Глубины СПиП пород на момент исследования и приведение их к средне-многолетним значениям расчетными методами</p> <p>Генезис, распространение, литология пород слоя СПиП в пределах ПТК</p> <p>Криогенные структуры и льдистость пород слоя СПиП</p> <p>Влияние снежного и растительного покрова, состава и влажности пород на среднегодовые температуры пород, амплитуды температур на поверхности почвы глубины СПиП в определенных литолого-влажностных условиях для основных типов ПТК</p> <p>Среднегодовая температура пород у подошвы СПиП слоев</p> <p>Годовая амплитуда колебаний среднемесячных температур на поверхности почвы</p> <p>Показатели физических свойств грунтов (объемная масса, удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности горных пород). Водный режим и водные свойства пород — естественная влажность, полная влагоемкость, количество незамерзшей воды слоя СПиП</p>
Температурный режим	<p>Среднегодовая температура пород у подошвы слоя годовых колебаний</p> <p>Распределение температур ниже слоя годовых колебаний (в мерзлых толщах до их подошвы, а в талых зонах на возможно большую глубину)</p> <p>Распределение температур ниже подошвы мерзлой толщи</p>
Распространение, условия залегания, мощность мерзлых толщ	<p>Соотношение мерзлых и талых пород по площади</p> <p>Установление зависимостей распространения и мощностей многолетне-мерзлых пород от геолого-тектонических и гидрогеологических условий, среднегодовых температур у поверхности почвы и подошвы слоя, характера рельефа, состава, возраста, генезиса и свойств горных пород, условий и обводненности до промерзания (характер водоносности и минерализация вод)</p> <p>История геологического и неотектонического развития района в четвертичное время</p> <p>История формирования физико-географических условий</p>

**Перечень основных классификационных показателей
свойств горных пород, рекомендуемых к определению
при инженерно-геологической съемке**

Породы	Показатели	Характеристика
В талом состоянии Глинистые	Гранулометрический состав Объемная масса породы ненарушенного сложения при естественной влажности Коэффициент пористости породы ненарушенного сложения при естественной влажности Степень влажности Число пластичности Показатель, позволяющий разделять просадочные и набухающие породы	Предел уплотненности Содержание растительных остатков Засоленность Предельное напряжение сдвига (прибором МВ-2) Временное сопротивление сжатию (прибором ОСВ-1 или ИГП-10)
Песчаные	Гранулометрический состав Объемная масса породы ненарушенного сложения при естественной влажности Показатель степени плотности Содержание растительных остатков	Засоленность Угол естественного откоса
Крупнообломочные (для пылеватоглинистого заполнителя)	Гранулометрический состав Объемная масса породы ненарушенного сложения при естественной влажности Коэффициент пористости породы ненарушенного сложения Степень влажности	Число пластичности Показатель консистенции Показатель, характеризующий способность глинистых пород увеличивать или уменьшать объем при замачивании Выветрелость
Скальные	Временное сопротивление одноосному сжатию в сухом и водонасыщенном состоянии	Растворимость
В мерзлом состоянии Глинистые, песчаные, крупнообломочные, скальные	Температура Криогенная текстура Льдистость (кроме скальных) Объемная льдистость Объемная масса скелета мерзлых горных пород (кроме скальных) Осадка при оттаивании мерзлых горных пород	

Перечень характеристики показателей, оцениваемых
при изучении современных экзогенных геологических процессов

Процессы, обусловленные			
гравитационным смещением пород на склонах	действием поверхностных вод	действием подземных вод	развеванием и выветриванием
<p>Обвалы и осыпи Генезис, возраст, условия формирования Масштаб, мощность, форма в плане Материал, механический состав пород Степень активности Оценка интенсивности Оползни Генезис, повторяемость, приуроченность и расположение на склоне, форма в плане, параметры, мощность и глубина захвата Состав и свойства пород смещенных и в коренном залегании. Обводненность склона Степень пораженности склона Деформации сооружений Курумы Связь с высотой и крутизной склона. Размеры и состав обломков, наличие льда, обводненность, характер застывленности Скорость движения Лавины щебенисто-глинистые Экспозиция, высота, крутизна склона Размеры лавиносбросов и лавиносборов. Пути схода лавин, участки возможной лавиноопасности</p>	<p>Эрозия Вид, условия и стадия развития. Размываемые участки, относительная сопротивляемость пород размыву Интенсивность и скорость размыва Сели Очаги зарождения, оценка запасов обломочного материала Гранулометрический состав твердой составляющей Объемы, размеры, тип селевых потоков, динамика Наличие подпруживания вод и оценка их возможного прорыва Абразия и аккумуляция морских берегов Протяженность абразионных берегов. Коэффициент волнового размыва пород Объем переработки пород Поступление насосов Количественная оценка интенсивности процессов абразии аккумуляции</p>	<p>Карст Тип Состав карстующихся пород и примесей Обнаженность Трещиноватость Условия движения подземных вод Карстовые формы Оценка степени закарстованности Суффозия Состав пород, способных к суффозии, условия фильтрации воды с большими градиентами Суффозионные формы Объемы выноса к объему толщи в год</p>	<p>Эоловые Области разрушения, транспортировки и накопления Относительный возраст форм Направленность процесса, интенсивность в зависимости от силы и розы ветров Объемы развевания Площадь развевания Выветривание Границы, мощность и площадь зон выветривания Степень выветрелости и свойства выветрелых пород Коэффициент скорости выветривания</p>

Перечень главных показателей, оцениваемых при изучении криогенных процессов с целью прогноза их возникновения

Процессы, обусловленные				
ежегодным протаиванием и промерзанием	температурными объемно-градиентными напряжениями и деформациями сезонно-многолетнемерзлых пород	многолетним промерзанием верхних горизонтов пород и новообразованием мерзлых толщ	многолетним протаиванием верхних горизонтов мерзлых пород и содержащихся в них подземных льдов	мерзлотно-гидрогеологическими условиями
<p>Солифлюкация Пучение</p> <p>Связь с динамикой сезонного промерзания и протаивания Влажностной режим пород</p> <p>Особенности верховодки и надмерзлотных вод в пределах талых участков</p> <p>Установление образований на талом и мерзлом субстрате</p>	<p>Образование морозобойных полигональных трещин Повторно-жильные льды</p> <p>Установление генезиса льдов (эпигенетический или сингенетический)</p> <p>Установление форм на сезонно- и многолетнемерзлом субстрате</p>	<p>Бугры пучения (многолетние) Булгуньяхи, гидролакколиты</p> <p>Причины многолетнего промерзания талых пород</p> <p>Характер вод Происхождение льдов (сегрегационное, инъекционное, смешанное)</p>	<p>Термокарст Термоэрозия Термоабразия</p> <p>Установление причин изменения теплообмена на поверхности земли Условия развития, связь с эрозией и абразией Генезис и условия залегания подземных льдов</p>	<p>Наледи</p> <p>Генезис Положение в рельефе</p> <p>Продолжительность существования</p> <p>Характер залегающих Время образования Источники питания Мощность льда и объем Химический состав вод</p>

Этапы и виды ландшафтно-индикационных исследований при среднемасштабной инженерно-геологической съемке

Подготовительный (предполевой)	Полевой	Камеральный
<p>Задача — выявление взаимосвязей между внешними и внутренними компонентами ландшафта с целью предварительного установления индикаторов инженерно-геологических условий</p> <p>С этой целью производится сравнительный анализ комплекса карт — топографических, геоморфологических, почвенных, климатических, ландшафтных и геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических с целью нахождения (выявления) общих черт их структуры и обнаружения взаимосвязи (сопряженности) ландшафта с характеристиками литологической основы и др.</p> <p>Выполняется предварительное дешифрирование с целью выявления предварительных дешифровочных признаков ландшафтных индикаторов инженерно-геологических условий и внесения их в индикационные схемы</p>	<p>Задача — проверка индикационного значения частных и комплексных ландшафтных индикаторов инженерно-геологических условий, сбор фактического материала, определение дешифровочных признаков. С этой целью на ключевых участках проводится работа по рациональному и оптимальному размещению всех видов точек наблюдений, ландшафтная их привязка, полевое дешифрирование аэроснимков, составление полевых ландшафтно-индикационных карт и схем</p> <p>Изучаются при опорных маршрутах взаиморасположение единиц ПТК и их границ, расположение шурфов, скважин и всех видов точек других наблюдений</p> <p>Выполняется полевое дешифрирование путем фиксации точек наземных наблюдений на аэрофотоснимке; нанесение границ ПТК и частных индикаторов; детальное стереоскопическое дешифрирование аэроснимков изучаемых типов* ПТК; составление ландшафтно-индикационных карт ключевых участков и таблиц взаимосвязей компонентов ПТК</p>	<p>Задача — установление типов ПТК — индикаторов стратиграфо-генетических комплексов, состава пород, гидрогеологических условий, современных геологических процессов, сезонно-талого (мерзлого) слоя, присутствия многолетней мерзлоты</p> <p>С этой целью составляется типологическая классификация ПТК и их компонентов-индикаторов инженерно-геологических условий</p> <p>Оценивается достоверность индикационного значения ландшафтных индикаторов инженерно-геологических условий</p> <p>Составляется сводная индикационная схема</p> <p>Выполняется окончательное дешифрирование аэрофотоматериалов</p> <p>Составляется ландшафтно-индикационная карта, на которой цветом изображаются ПТК — простые и сложные урочища — основные окончательные комплексные индикаторы инженерно-геологических условий</p>

**Инженерно-геологическое опробование горных пород —
проведение комплекса последовательных работ
с целью определения состава, состояния и свойств пород
при инженерно-геологической съемке м-ба 1 : 100 000—1 : 500 000**

Задачи	Методы	Этапы, их целевое назначение и содержание
<p>Выделить и опробовать на ключевых участках петрографические типы пород, которые характеризуются едиными классификационными показателями свойств</p> <p>Определить комплексные показатели — сопротивление резанию, показатели пенетрации, предельное напряжение сдвига с целью использования их для характеристики пространственной изменчивости свойств пород и анизотропии выделенных единиц инженерно-геологической стратификации пород по мере рассеяния показателей этих свойств</p>	<p>Полевые методы, пенетрация Геофизические Лабораторные экспресс-методы</p>	<p>Рекогносцировочный — определение оптимальной схемы опробования с целью установления точек отбора образцов и расчетов статистических характеристик свойств пород в поле по главным направлениям изменчивости</p>
	<p>Горно-буровые Скоростные полевые Лабораторные экспресс-методы Статистические расчеты Программирование Моделирование</p>	<p>Детальных работ — определение показателей свойств пород в условиях естественного залегания</p> <p>Расчетов — вычисление обобщенных показателей свойств пород и разработка математических моделей полей показателей свойств по главным направлениям изменчивости</p>

**Перечень задач, решаемых геофизическими методами на различных этапах
проведения инженерно-геологической съемки**
Преимущества — высокая информативность, производительность, мобильность,
значительно снижающие стоимость съемочных работ

Предполевой — подготовительный этап	Полевой этап	
<p>Использование материалов ранее проведенных геофизических работ</p> <p>Предварительное расчленение разреза на петрографические типы</p> <p>Выделение зон массивных и трещиноватых пород, водоносных и водоупорных толщ</p> <p>Ориентировочная оценка мощности рыхлых нелигифицированных пород</p> <p>мощности зоны аэрации, состава скального основания</p> <p>Предполагаемое прослеживание разломов, зон дробления</p> <p>Устанавливается на основе изучения геоэлектрических разрезов, особенностей кривых ВЭЗ и графиков электропрофилеирования — ЭП</p>	<p>Опорные маршрутные и площадные геофизические работы</p> <p>Уточнение дешифрирования аэрофото материалов</p> <p>Окончательный выбор ключевых участков (ЭП)</p>	<p>Геофизические работы на ключевых участках</p> <p>Расчленение геологического разреза до петрографических типов, их мощность (ВЭЗ, ВЭЗ, ВП)</p> <p>Водонасыщенность отложений, глубина залегания кровли скальных пород. Установление зон тектонических нарушений, мощности коры выветривания, трещиноватости (ВЭЗ).</p> <p>Глубина залегания грунтовых вод, положение водоупора (сейсморазведка)</p> <p>Минерализация подземных вод, граница пресных и соленых вод (ЭП)</p> <p>Картирование в плане мерзлых толщ, выявление мощности слоя сезонного протаивания, подземных льдов, участков повышенной льдистости, оконтуривание талых зон — межмерзлотных таликов (ЭП и ВЭЗ)</p> <p>Установление эпигенетических и сингенетических толщ мерзлых пород, их состава, генезиса льдистости и мощности (метод дискретных значений удельного электрического сопротивления)</p> <p>Определение кровли многолетнемерзлых пород (сейсморазведка)</p> <p>Установление карста (геоэлектрические методы, ЭП), оползней в плане, поверхности скольжения и кровли коренных пород (ВЭЗ, ЭП, сейсморазведка)</p> <p>Определение массы и влажности пород (экспресс-методы, геофизические и радиоизотопные), модули деформации (сейсморазведка, плотномеры, нейтронный)</p>

Пенетрационные методы
Преимущества — простота оборудования,
высокая производительность и экономичность,
позволяющие сократить объемы разведочных работ

Т а б л и ц а 42

Перечень задач, решаемых при

динамическом зондировании (экспресс-метод) (до глубины 60 м)	статическом зондировании (до глубины 30 м)	пенетрационно-каротажных методах (до глубины 30 м)
<p>Общая оценка неоднородности разреза пород плотности — прочности их сложения. Расчленение разреза</p> <p>Определение положения кровли скальных пород</p> <p>Оконтуривание ослабленных маломощных отложений</p> <p>Установление режима пространственной изменчивости состава и свойств пород</p> <p>Подсчет показателей динамического сопротивления грунта (P_D), N и др.</p>	<p>Расчленение разреза на слои, выделение ослабленных прослоев, включений обломочных пород</p> <p>Оценка степени однородности разреза</p> <p>Установление удельного сопротивления наконечнику зонда</p> <p>Оценка (P_q) показателей физико-механических свойств пород — плотности песков, консистенции глинистых и суглинистых пород, модуля деформации и сопротивления сдвигу</p>	<p>Установление разреза песчано-глинистых пород, выделение пластов, линз, слоев, однородности, вида горной породы</p> <p>Определение физико-механических свойств — объемной массы, объемной влажности, пористости через удельное лобовое сопротивление внедрению наконечника (R), удельное трение по боковой поверхности зонда (T) и величину ответственности радиоактивности пород (I_γ)</p>

Изучение опыта строительства
при проведении инженерно-геологической съемки
на основе обследования состояния инженерных сооружений

Т а б л и ц а 43

Предварительная подготовка	Натурное обследование сооружений	Решаемые задачи в результате обработки собранных материалов
<p>Выбор объектов обследования</p> <p>Сбор и изучение архивных материалов о деформации сооружений, конструктивных особенностях деформируемых сооружений, типах фундаментов, принятых нагрузках, составе и свойствах пород, слагающих основания</p> <p>Сбор данных, характеризующих условия строительства, — величины на осадок сооружений, принятые углы откосов котлованов, выемок и насыпей</p>	<p>Осмотр сооружения — оценка состояния стен, перекрытий, внутренних помещений, фундаментов, а также откосов, насыпей и дорожных покрытий</p> <p>Осмотр местности, окружающей сооружение естественных и искусственных обнажений, современных геологических процессов, водопроявлений, инженерно-геологических процессов (осадка, выпирание, разжижение пород и др.), уничтожение растительности, распашка склонов, орошение и пр.</p> <p>Осмотр сооружений, находящихся в сходных инженерно-геологических условиях</p>	<p>Выявление причин деформаций пород, инженерно-геологических процессов</p> <p>Оценка эффективности защитных мероприятий</p> <p>Оконтуривание площадей для различных типов сооружений</p>

Перечень и содержание отчетных материалов инженерно-геологической съемки

Инженерно-геологическая карта	Разрезы	Отчет	Фактический материал
<p>Принцип построения — литолого-генетический</p> <p>Объекты картирования — части геологических формаций, стратиграфо-генетические комплексы, петрографические типы пород</p> <p>Глубинность — опробование до глубины взаимодействия инженерных сооружений</p> <p>Инженерно-геологическая оценка до глубины геологической изученности (два разреза)</p> <p>Гидрогеологическая оценка — тип подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта, глубина залегания и агрессивность</p> <p>Геокриологические данные — распространение, температура, мощность, льдистость пород, сезонное промерзание и протаивание</p> <p>Современные геологические (включая криогенные) и инженерно-геологические процессы</p> <p>Форма проявления, пораженность</p>	<p>Два инженерно-геологических разреза к номенклатурному листу карты до глубины геологической изученности территории, находящейся в сфере инженерной деятельности человека</p> <p>Вертикальный масштаб от 1 : 1000 до 1 : 2000</p> <p>Отношение вертикального масштаба разрезов по отношению к горизонтальному увеличивается для платформенных областей от 50 до 200 раз, а для горных до 5 раз</p>	<p>Главы</p> <p>I. Введение</p> <p>II. Физико-географическая характеристика</p> <p>III. История геологической, гидрогеологической и инженерно-геологической изученности</p> <p>IV. Геологическое строение (глава заканчивается краткой характеристикой стройматериалов)</p> <p>V. Геоморфология</p> <p>VI. Гидрогеологические условия (описание первого от поверхности водоносного горизонта грунтовых вод, верховодки; особое внимание обращается на глубины залегания, агрессивность и коррозийность подземных вод)</p> <p>VII. Геокриологические условия (распространение, мощность, температура, льдистость многолетнемерзлых пород, условия залегания подземных вод, глубины и сроки сезонного промерзания и протаивания, изменение геокриологических условий под влиянием строительства)</p>	<p>Карта фактического материала</p> <p>Ландшафтно-индикационная карта</p> <p>Полевые дневники, каталог буровых скважин</p> <p>Графики геофизического профилирования и пенетрационно-каротажных работ</p> <p>Таблицы инженерно-геологических свойств: горных пород и результатов опытных работ</p>

Инженерно-геологическая карта	Разрезы	Отчет	Фактический материал
Оконтуривание районов, где проявляются деформации сооружений		<p>VIII. Инженерно-геологические свойства горных пород (описываются выделенные стратиграфо-генетические комплексы, приводятся классификационные показатели инженерно-геологических свойств и петрографических типов горных пород). В табличной форме даются обобщенные значения показателей состава и свойств пород</p> <p>IX. Современные геологические и инженерно-геологические процессы (детально описываются процессы, которые могут оказывать влияние на строительство и эксплуатацию сооружений, а также проявления инженерно-геологических процессов и опыт строительства)</p> <p>X. Заключение</p>	

Все компоненты ПТК находятся в теснейшей взаимосвязи. В итоге взаимодействий изменение, возникшее в каком-либо одном компоненте ПТК, влечет за собой те или иные перемены в других компонентах и в конечном счете во всей системе.

С точки зрения доступности для исследований и для аэрофотографирования все компоненты ПТК могут быть разделены на физиономические (легко доступные наблюдению и аэрофотографированию) и деципиентные (трудно доступные визуальному наблюдению и аэрофотографированию). Главнейшими физиономическими компонентами являются рельеф, растительность, гидрографическая сеть. Литогенная основа, климат (температура, осадки и др.) и почва обычно являются деципиентными. К числу физиономических компонентов часто относятся гидрологические и антропогенные черты внешнего облика ПТК, а в некоторых типах ПТК также и почвы (если они обнажены). Ландшафтной индикацией называется определение деципиентных компонентов по физиономическим.

Ландшафтная индикация может быть определена как способ познания деципиентных компонентов ПТК по физиономическим его компонентам. Широкое использование аэрометодов при ландшафтной индикации приводит к тому, что ее часто именуют аэроландшафтной.

Физиономические компоненты ПТК являются индикаторами, а деципиентные компоненты — объектами индикации. Индикаторы могут быть геоморфологическими (элементы рельефа), геоботаническими (растения и растительные сообщества), антропогенными (сооружения и различные внешние черты ПТК, созданные человеком), гидрологическими (водоемы) и комплексными или ландшафтными (представляющими собой сочетание нескольких из перечисленных ранее — чаще всего это сочетания рельефа и растительности). Нередко эти группы индикаторов объединяются под названием частных и противопоставляются, в целом, комплексным или ландшафтным индикаторам.

Из инженерно-геологических условий объектами ландшафтной индикации наиболее часто оказываются те или иные горные породы (в особенности отложения, образующие рыхлый чехол, прикрывающий коренные породы) и проявления различных экзогенных процессов. Широко распространена ландшафтная индикация тектонического строения и в особенности проявлений новейших и современных тектонических процессов. Аэроландшафтная индикация применяется для распознавания различных антропогенных процессов, вызванных инженерным воздействием человека на природно-территориальные комплексы.

Степень сопряженности индикаторов и индикаторов проверяется путем исследования значительного числа участков, выбираемых там, где встречается исследуемый индикатор. В зависимости от обязательности связи индикатора и индикатора, индикаторы подразделяются по степеням достоверности. Существуют разнообразные шкалы достоверности.

По характеру взаимосвязи индикатора и индикатора среди последних различаются прямые и косвенные. Прямыми индикаторами называются те, которые имеют непосредственную связь с индикатором, косвенными — те, которые связаны с индикатором через какое-либо промежуточное звено (так, например, растения-фреатофиты, присутствие которых возможно лишь при связи их корневой системы с грунтовыми водами, являются прямыми индикаторами последних, а растения, указывающие на поверхностную увлажненность и засоленность грунта, являются лишь косвенными, так как позволяют предполагать близкое залегание грунтовых вод, но не дают этому безусловного доказательства). Прямые индикаторы обычно отличаются постоянством своего значения, а косвенные подвержены сильным колебаниям.

По пространственной устойчивости своего значения индикаторы могут быть разделены на панареальные, региональные и локальные. Панареальными именуются те, которые сохраняют устойчивое индикационное значение на всей той территории, в пределах которой они встречаются, т. е. своего ареала. Региональный индикатор сохраняет определенное значение лишь в пределах одной или нескольких физико-географических областей. Локальные индикаторы обладают устойчивой связью с индикатором лишь в каком-либо физико-географическом районе. Панареальные индикаторы обычно являются прямыми, а региональные и локальные чаще бывают косвенными.

Индикатами могут являться не только отдельные компоненты ПТК и их свойства, но и протекающие в них процессы. Индикаторами в этом случае выступают ландшафтно-генетические ряды или ряды, образованные эктоярусами природно-территориальных комплексов, расположенных в пространстве в той последовательности, в какой эти комплексы сменяют друг друга во времени. Обычными примерами служат ряды ПТК, возникающие в водоемах по мере их высыхания или заболачивания, ряды олуговения на осушенных болотах, ряды выветривания на обнажениях горных пород и др. Возможности индикации процесса по ландшафтно-генетическому ряду обосновывается тем, что сам ряд является результатом процесса и развивается по мере хода последнего.

Связь процесса и ряда наглядно проявляется при анализе различных рядов растительных сообществ, формирующихся в ходе генетически обусловленных смен растительности во времени. Поэтому ряды растительных сообществ эколого-генетические, обусловленные теми или иными процессами, очень широко применяются для индикации последних.

Природно-территориальные комплексы имеют различную степень сложности. По таксономической системе, предложенной Н. А. Солнцевым (1949), наиболее простой элементарный ПТК образует фация (именуемая в некоторых работах микроландшафтом или разновидностью ландшафта). Фация характеризуется полной однородностью своей структуры, занимая один элемент микрорельефа (или один элемент мезоформы рельефа), засоленный одним растительным сообществом при однородности литологической разности, образующей литогенную основу фации и при единообразии почвенного покрова. В поле фация опознается обычно по рельефу и растительности, так как внешний ярус ее характеризуется сочетанием определенного растительного сообщества с микроформой (или частью мезоформой) рельефа. При слабой выраженности форм рельефа фации выделяются по границам растительных сообществ.

Для того чтобы составить представление о масштабе фаций, укажем, что в качестве фаций обычно фигурируют разные части склонов (занимаемые соответственно разными почвами и растительностью), днища ложин, центральные и периферические части мелких западин, старичные понижения на поймах, мелкие котловины выдувания в песках, гряды и мочажины на болоте и т. д.

Закономерное чередование нескольких типов фаций образует урочище. Для него характерны однообразный литологический состав пород, повторение определенных микроформ рельефа (в пределах одной мезоформы), а также сопряженных с ними почв и растительных сообществ. В полевых условиях урочище опознается по связи с одной мезоформой рельефа и по наличию закономерно построенного ряда входящих в него фаций.

В качестве примеров урочищ можно указать ПТК балок, оврагов, плоских водоразделов с однородными покровными отложениями, камы, озы, разновозрастные части болотных массивов, солончаковых бессточных впадин, пустынь и т. п.

Урочища являются основными единицами при среднемасштабном изучении ПТК и выделяются при картировании последних — на картах масштаба 1 : 25 000—1 : 200 000.

Урочище может быть простым и сложным. К простым урочищам относятся те, в которых каждая микроформа рельефа или элемент мезоформы его занят только одной фацией. Сложными называются те урочища, когда на вышеупомянутых элементах рельефа располагаются несколько фаций (что бывает чаще всего при сильной выраженности наиболее мелких форм рельефа — объединяемых обычно под названием нанорельефа). Такие группы фаций, входящие в состав сложного урочища, иногда выделяются в особые ПТК и определяются как подурочища. Таким образом, подурочище представляет собой ПТК по своему объему располагающейся между фацией и урочищем (но лишь в случае сопряженности нескольких фаций с одними и теми же элементарными составляющими форм поверхности). Наиболее сложный ПТК — это ландшафт, представляющий собой систему закономерно повторяющихся урочищ. Литогенная основа ландшафта, не обладая литологической однородностью, имеет единообразный генезис, образуя единый стратиграфо-генетический комплекс. Урочища, входящие в состав ландшафта, обычно создают взаимосвязанные ряды. Ландшафт обладает значительной тер-

риториальной протяженностью, и границы его в полевых условиях выявляются в результате более или менее длительного изучения. Решающим признаком при этом является повторение определенных сочетаний экотягурсов урочищ.

Ландшафт — сложная природная система, занимающая обычно обширную площадь. Так, в пределах центра Русской равнины выделяются ландшафты: моренной равнины, задровой равнины, эрозионной долинно-балочной равнины. Ландшафты могут быть выделены на картах среднего и мелкого масштаба.

На территориях, обладающих сложным расчленением рельефа, целесообразно выделять промежуточный ПТК — местность, которая в классификационной шкале располагается между урочищем и ландшафтом. Местность объединяет группы урочищ, более или менее сходные по расчлененности рельефа (что в свою очередь зависит от геологического строения территории).

Для целей гидрогеологических и инженерно-геологических съемок, проводимых с применением аэро- и космических методов, наиболее важным является типологическое рассмотрение ПТК, поскольку оно открывает возможность строить съемочные работы на основе экстраполяции. Сложность такого построения заключается в том, что полевые наземные работы и все сопряженные с ними исследования концентрируются на площадях, являющихся как бы образцами (эталоном) данного типа ПТК, и достигнутые результаты экстраполируются на всю площадь съемки на основе дешифрирования аэрофотоматериалов. Такой способ работы получил название ключевого метода. Он является основным при ландшафтно-индикационных исследованиях, при использовании аэрометодов инженерной геологии и при составлении ландшафтно-индикационных карт.

Методика выявления индикаторов. Ландшафтно-индикационные исследования ставят перед собой две основные задачи: 1) выявить индикаторы тех или иных литологических, инженерно-геологических и прочих условий и 2) использовать выявленные индикаторы при составлении ландшафтно-индикационной карты. Вторая из указанных задач решается на основе использования аэрометодов и рассматривается в разделе «Применение аэрометодов в инженерно-геологических исследованиях».

Работы по выявлению индикаторов распадаются на три периода: подготовительный камеральный, полевой и заключительный камеральный. В первый период производится сбор и систематизация фондовых и литературных материалов. Особое внимание обращается на то, чтобы извлечь сведения о связи различных компонентов ландшафта друг с другом и о возможных индикаторах и индикатах. Для этого к конспекту того или иного источника целесообразно прилагать итоговую индикационную таблицу, содержащую в сжатой форме основную индикационную информацию, извлеченную из него. Образец такой таблицы приводится ниже (табл. 45).

Кроме того, для каждого источника, носящего общегеографический характер и содержащего описание ландшафтов района будущих работ (независимо от того, содержит ли он индикационные данные или нет), необходимо составлять

Т а б л и ц а 45

**Сокращенная итоговая индикационная таблица
по району Ильменского заповедника**

Вероятные ландшафтные индикаторы	Объекты индикации
<p>Сосняки с подлеском из ракитника и багульника и разреженным травостоем. Бедные осоковые и осоково-злаковые луга. В лугах — черноольшанники</p> <p>Сосново-лиственничные и лиственничные леса с примесью березы и богатым травяным покровом. Широкоотравные луга с богатым разнотравьем. В лугах — сероольшанники</p>	<p>Область распространения гранито-гнейсов</p> <p>Область распространения миаскитов</p>

**Перечень ландшафтов, выделенных в работе
(название, автор, выходные данные)**

Ландшафт	Рельеф	Почва	Горная порода	Растительность	Примечания

таблицу с перечнем выделенных ландшафтов и основных их компонентов. Форма такой таблицы следующая (табл. 46).

На основе собранных данных производится составление предварительной ландшафтно-индикационной схемы, обобщающей все, что удалось извлечь из анализа различных источников. Обычно она составляется в такой форме, что в одной части схемы перечисляются все выделенные ландшафты, а также урочища и фации, входящие в каждый ландшафт; далее для каждой из ландшафтных единиц указываются ее физиономические компоненты (рельеф, растительность и др.), а далее — деципиентные компоненты (почвы, горные породы, подземные воды). В отдельной графе описываются особенности аэрофотоизображений.

После этих работ производится выбор ключевых участков для полевых исследований. Они выбираются на основе анализа ландшафтной карты, на которой нанесены границы типов ПТК. Если такой карты нет, ее необходимо составить хотя бы в ориентировочном варианте на основе предварительного дешифрирования аэрофотоматериалов. Число и размеры участков определяются количеством типов ландшафтов и урочищ, сложностью структуры, степенью их сопряженности. В сумме участки должны представлять как бы миниатюрную копию изучаемой территории. Желательно, чтобы каждый тип ПТК был охарактеризован не менее чем пятью участками. Один ключ может охватывать несколько ПТК, соседствующих друг с другом.

В полевой период производятся работы на ключах. На каждом ключе описываются все урочища, подурочища, а при крупномасштабных работах — фации или микроландшафты. На ключах должны быть сосредоточены и все виды наземных исследований — изучение свойств грунтов, пенетрационные и геофизические работы. В каждом из ПТК, лежащем на ключе, закладываются шурфы до уровня грунтовых вод (при залегании последних глубже 3—5 м — до материнской почвообразующей породы). Из каждого горизонта отбираются: проба для механического анализа, для анализа водной вытяжки (при наличии торфа — пробы торфа на определение влажности, степени разложения, ботанического состава, кислотности, зольности). Если вскрыты грунтовые воды, то отбирается их проба. Около шурфов описываются детально рельеф и растительность (с составлением флористических списков господствующих растений с учетом их обилия). На ключах ведется сплошное полевое дешифрирование.

Удобно все точки описаний (около шурфов и вне их) располагать по некоторому профилю, пересекающему ключевой участок вкрест рельефа. На профиле же производятся геофизические, пенетрационно-зондировочные, пенетрационно-каротажные и буровые работы. Их следует располагать так, чтобы они давали характеристику каждой фации или урочища, пересекаемого профилем.

Все точки описаний, шурфы, положение профилей и расположение рабочих точек по отдельным видам исследований наносятся на аэрофотоснимки или фото-схемы. Документация описаний ведется в специальных дневниках или на особых бланках.

Работы в заключительный период состоят в составлении окончательной ландшафтно-индикационной схемы путем сопоставления описаний физиономических компонентов ландшафта, сделанных на ключах (и приобретающих значение индикаторов) с описаниями и анализами образцов деципиентных компонентов — горных пород, почв, подземных вод, а также с результатами пенетра-

ционных, зондировочных и прочих исследований. В результате этого составляется таблица, в одной части которой дается характеристика признаков, по которым можно опознать ландшафтный индикатор, а в другой — характеристика соответствующего комплекса деципиентных компонентов ландшафта (его литогенной основы).

При создании окончательной ландшафтно-индикационной схемы необходимо сопоставить ее с предварительной ландшафтно-индикационной схемой. Окончательная схема служит легендой к ландшафтно-индикационной карте.

Применение ландшафтной индикации в различных природных условиях. Тундра и лесотундра. Ландшафтные методы широко применяются для индикации всего комплекса инженерно-геологических условий, в целом.

Для геокриологических условий выявлены наиболее постоянные ландшафтные индикаторы сезоннопротаивающих пород в пределах целых подзон. Так, для подзоны типичных тундр в качестве индикаторов приводятся внешние ярусы следующих ландшафтов: 1) слабо расчлененная поверхность водоразделов морской равнины с мелкопочковатыми кустарничковыми лишайниковыми тундрами (пески и супеси, перекрытые торфом; мощность слоя сезонного протаивания 0,3—0,5 м; средняя годовая температура менее -5°C ; 2) плоская поверхность морской равнины с пятнистыми кустарничково-моховыми и кустарничково-мохово-лишайниковыми тундрами (пески; мощность слоя сезонного протаивания 1,0—1,2 м; средняя годовая температура пород от -2 до -5° . Моховые тундры тяготеют к более тяжелым субстратам, лишайниковые — к более щелочистым и легким).

Лесо-болотные и лугово-лесные ландшафты. Здесь наиболее распространены индикация литологических разностей типов и генезиса болотных массивов, проявления некоторых современных геодинамических тектонических и техногенных процессов.

Наиболее частым индикатором является внешний облик лесов и болот. На зеленых территориях господство той или иной древесной породы дает лишь самые ориентировочные данные о литологических условиях (общезвестное тяготение ели, дуба, липы к суглинкам, сосны — к пескам, черной ольхи — к заторфованным участкам). Для детальной индикации необходимо изучение кустарничкового, травяного и мохово-лишайникового покрова, а также наблюдения за состоянием древостоя (суховершинность, угнетенность, неправильные очертания крон). Работы выполняются с использованием специальных справочников (Верейский и Востоков, 1963 г.; «Ландшафтный метод лесного дешифрирования аэроснимков», 1976 г.). При этом даже при господстве одной и той же древесной породы можно достичь очень подробного определения литологических условий. По условиям водного питания различают следующие типы болот: низинные (грунтового питания), верховые (атмосферного питания), переходные (смешанного питания). Первые опознаются по господству болотного крупнотравья и болотных кустарников и деревьев (ива, ольха и др.), а также по тяготению к отрицательным формам рельефа. Вторые опознаются по развитию характерного специфического рельефа (бугры, гряды, мочажины, озерки), по специфической растительности (буро-зеленые, бурые, розоватые, красноватые сфагновые мхи, типичные болотные кустарники и кустарнички — багульник, подбел, голубика, клюква, морошка), по характерной полого-выпуклой форме болота и по наличию лагга — т. е. обводненной окраины болота. Верховые болота чаще встречаются на водораздельных равнинах. Переходные болота имеют смешанные признаки.

В верховых массивах неравномерность движения воды в торфе обуславливает возникновение различных топей. Они могут быть распознаны лишь по индикаторам: застойные водораздельные топи (бессточные участки внутренней части болота) обозначаются зарослями осок и других болотных трав при слабо-развитом моховом ковре, фильтрационные топи (с активным стоком) обозначаются густой системой мочажин с погруженными в воду мхами и редкими грядками с болотной сосной.

Для определения генезиса болота большое индикационное значение имеет их конфигурация (округлая — у бессточных котловин, трапециевидная — на склонах и т. п.).

Степи, полупустыни, пустыни. В пределах их приобретают значение галоиндикация (индикация засоления), гидроиндикация и выявление земель древнего орошения для повторного сельскохозяйственного освоения. В качестве индикаторов в первую очередь следует использовать типы пустынь, поскольку они дают указание на господство определенных грунтов (песчаные, гипсовые, каменистые, солончаковые и др.). Более детальную индикацию нужно вести по растительным сообществам (хотя в песчаных пустынях большое индикационное значение имеет и рельеф), используя индикационные справочники (Федоров, 1964 г.; Востокова, Шавырина, Ларичева, 1962 г.; Каленов, 1975 г.; Ларин, 1953 г.; Викторов, 1976 г.).

Широко применима индикация закрепленности песков и процессов инфильтрации влаги в них по ландшафтно-генетическим рядам (Викторов, 1976 г.). Земли древнего орошения, а также явления техногенного нарушения грунтов выявляются по антропогенным индикаторам (Викторов, 1973 г.).

III. АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ДЕШИФРИРОВАНИЕ

Общие понятия об аэрокосмических методах исследований. Под аэрокосмическими методами понимается комплекс дистанционных исследований поверхности Земли и земной коры, осуществляемых с помощью искусственных спутников, орбитальных станций, пилотируемых космических кораблей, ракет, самолетов, вертолетов, путем регистрации собственного или отраженного электромагнитного излучения природных образований приемными устройствами с последующим анализом и интерпретацией полученной информации.

Применение аэрокосмических методов способствует повышению эффективности инженерно-геологических исследований и выражается в улучшении качества составляемых карт, ускорении производства исследований, совершенствовании организации работ и снижении их стоимости. Наиболее эффективно применение аэрокосмических методов в труднодоступных и малоисследованных районах. Виды аэрокосмических съемок рассматриваются в табл. 47.

Материалы аэрокосмических съемок, их масштабы и информационные возможности. Основными материалами аэрокосмических съемок, используемых при инженерно-геологических исследованиях, являются различного рода изображения (снимки, схемы, планы и карты).

Существует тесная связь между масштабом, степенью генерализации и информационными возможностями аэрокосмических изображений. Эмпирически установлено, что качественное изменение информативности при прочих равных условиях происходит при изменении масштаба изображения земной поверхности в 3—5 раз. Поэтому выделяют пять уровней генерализации аэрокосмических изображений: глобальный, континентальный, региональный, локальный и детальный.

Снимки глобального уровня генерализации имеют масштаб порядка 1 : 100 000 000 и охватывают почти всю освещенную часть планеты в момент съемки. На таких снимках выявляются наиболее крупные геоструктурные зоны.

Снимки континентального уровня генерализации имеют масштаб 1 : 10 000 000—1 : 15 000 000 и охватывают отдельные континенты или их части. Они позволяют устанавливать геологические структуры I и II порядка, инженерно-геологические формации горных пород и основные генетические группы экзогенных процессов. При дешифрировании таких снимков обращается внимание на выявление различных генетических типов разрывных нарушений, определяющих формирование общей инженерно-геологической обстановки крупных территорий.

Снимки регионального уровня генерализации имеют масштаб 1 : 2 500 000—1 : 3 500 000 и охватывают отдельные регионы или их части. Они дают возможность установить складчатую и разрывную тектонику, выделить генетические и возрастные группы четвертичных отложений и парагенетические комплексы экзогенных процессов.

Снимки локального уровня генерализации имеют масштаб порядка 1 : 1 000 000 и крупнее и охватывают отдельные крупные территории

Основные виды и характеристика дистанционных аэрокосмических методов

Виды дистанционных методов	Физическая основа метода	Используемые частоты	Чувствительный элемент	Получаемые данные	Условия применения в зависимости от освещенности и метеоусловий
Фотосъемка (ФС)	Регистрация отраженного электромагнитного излучения Солнца в широком диапазоне спектра	320—1000 нм	Различные типы пленок	Фотоснимки	Дневное время, хорошие метеоусловия
Телевизионная съемка (ТС)	То же	320—740 нм	Приемники типа «Видикон» с электронным сканированием	Телевизионное изображение	То же
Инфракрасная съемка (ИК)	Регистрация собственного теплового электромагнитного излучения объектов	1,5—14 мкм	Фотоспротивление приемника	Тепловое изображение	Дневное и ночное время, почти при любых метеоусловиях
Радиотепловая съемка (РТ)	Регистрация собственного теплового электромагнитного излучения объектов	0,3—10 см	Узконаправленная антенна	Тепловое изображение, регистрограммы	Дневное и ночное время, почти при любых метеоусловиях
Радиолокационная съемка (РЛ) (радарная)	Регистрация отраженного электромагнитного излучения от источника, установленного на борту носителя	1—100 см	Радиолокационная антенна	Регистрограммы отраженных радиолокационных контрастов, радиолокационное изображение	То же
Многоспектральная съемка (МС)	Регистрация отраженного электромагнитного излучения от Солнца, от собственного теплового излучения объектов Земли и от источника, установленного на борту носителя	0,41—12,5 мк	Фильтр с фотоэлектронным умножителем, монохроматор	Регистрограммы отраженных электромагнитных волн и радиоволн Спектральные изображения в узкой зоне спектра	»

площадь в десятки тысяч квадратных километров. Они обеспечивают получение информации о литолого-петрографическом составе отложений, глубине залегания грунтовых вод и их минерализации, проявлении экзогенных процессов и т. д. Снимки данного уровня генерализации используются непосредственно в процессе среднемасштабного инженерно-геологического картирования и районирования.

Снимки детального уровня генерализации имеют масштаб крупнее 1 : 100 000. К ним относятся преимущественно материалы аэросъемки. На таких снимках изучаются сравнительно ограниченные площади. Вследствие детальности изображения на снимках хорошо выделяются отдельные элементы инженерно-геологической обстановки: выходы подземных вод, участки заболачивания почво-грунтов, формы проявления экзогенных процессов, отдельные литологические разности горных пород и т. д. Это дает возможность осуществлять средние и крупномасштабное инженерно-геологическое картирование с использованием снимков детального уровня генерализации, а также решать специальные вопросы изучения экзогенных геологических процессов и их динамики.

Как показывает опыт, для обеспечения большей полноты и надежности информации, получаемой с помощью аэрокосмических методов в процессе инженерно-геологических исследований, целесообразно их комплексное применение, заключающееся в использовании снимков различного масштаба и совместном использовании различных видов съемок (фотографических, инфракрасных, радиолокационных и т. д.).

Оптимальным считается такой масштабный ряд, когда основной масштаб используемых снимков соответствует масштабу инженерно-геологической съемки, а вспомогательными служат снимки более мелкого и крупного масштаба, отличающиеся от основного на один разряд (т. е. в 3—5 раз мельче и крупнее основного масштаба).

При совместном использовании различных видов съемок фотографирование является основным видом исследования, а специальные съемки (инфракрасная, радиотепловая, радарная) рассматриваются в качестве вспомогательных, позволяющих решать более узкий круг задач. Поэтому эти виды съемок проводятся выборочно на таких участках, где их применение может дать хорошие результаты, и обязательно сопровождается фотографированием.

Так, инфракрасная и радиотепловая съемки могут быть использованы при изучении природных образований, имеющих тепловые контрасты в соответствующих диапазонах длин волн и отличающихся от фоновых. Наиболее эффективно применение этих съемок при обнаружении и картировании обводненных, увлажненных и заболоченных участков, многолетнемерзлых пород и островной мерзлоты, а также при изучении экзогенных геологических процессов, развития которых связано с динамикой влажности, температуры и засоленности грунтов.

Радиолокационная съемка может быть использована для выявления складчатых и разрывных тектонических структур под толщей рыхлых образований, установления мощности поверхностных отложений и их взаимоотношения с коренными породами, а также в отдельных случаях для определения механического состава отложений.

Использование многозональных снимков, одновременно сфотографированных в нескольких зонах спектра, позволяет получить качественно новую и более полную информацию как об отдельных элементах инженерно-геологической обстановки (степень увлажненности поверхностных отложений, мощность рыхлых отложений и т. п.), так и об инженерно-геологических условиях в целом.

Инженерно-геологическое дешифрирование материалов аэрокосмических съемок. Основой использования материалов аэрокосмических съемок в инженерной геологии является дешифрирование. Под инженерно-геологическим дешифрированием понимается получение информации об инженерно-геологических условиях изучаемой территории путем анализа и интерпретации материалов аэрокосмических съемок.

Основной инженерно-геологического дешифрирования является ландшафтно-индикационный метод.

Инженерно-геологическое дешифрирование осуществляется на основе информации, получаемой в процессе изучения литературы, а также ранее нако-

пленного опыта и опирается на использование дешифровочных признаков, ландшафтных индикаторов и дешифровочных критериев.

Под дешифровочными признаками понимаются особенности аэрокосмических изображений внешних черт ландшафта, связанные с геометрическими и оптическими их свойствами. С помощью дешифровочных признаков можно выявить лишь те объекты, которые непосредственно отображаются на аэрокосмических снимках (табл. 48).

Под ландшафтными индикаторами понимаются внешние компоненты ландшафта, коррелятивно связанные с деципиентами.

Под дешифровочными критериями понимаются факторы и условия, не получившие отображения на аэрокосмических снимках, но определяющие особенности изображения или характер внутриландшафтных связей. Эти критерии подразделяются на: природные, атмосферно-оптические, технические и психофизиологические.

Инженерно-геологическое дешифрирование может осуществляться прямым и косвенным путем. В первом случае компоненты инженерно-геологических условий, непосредственно отображающиеся на аэрокосмических снимках, опознаются по их дешифровочным признакам. Косвенное дешифрирование осуществляется в том случае, если инженерно-геологические условия скрыты от непосредственного наблюдения и не находят отображения на материалах аэрокосмических съемок. В этом случае дешифрирование производится по схеме: дешифровочные признаки → индикатор → компоненты инженерно-геологических условий. В том и другом случае знание дешифровочных критериев обеспечивает повышение эффективности дешифровочного процесса.

В процессе дешифрирования аэрокосмических изображений необходимо руководствоваться рядом методических приемов, обеспечивающих более полное и достоверное получение требуемой инженерно-геологической информации. Такими методическими приемами являются: 1) последовательное масштабное и диагностическое приближение; 2) анализ и синтез дешифровочной информации; 3) индивидуальное и совещательное дешифрирование; 4) сравнительное дешифрирование; 5) экстраполяция результатов дешифрирования.

На основе комплексного дешифрирования составляется ландшафтно-индикационная карта, которая преобразуется в предварительную карту инженерно-геологического районирования и инженерно-геологических условий.

В практике дешифрирования аэроснимков успешно применяются приемы сравнительного дешифрирования разновременных снимков, что представляет интерес для выявления динамики некоторых природных явлений, например, ряда экзогенных процессов: оползней, селей, эрозии, абразии и др. Путем стереоизмерений по снимкам, полученным в разные годы, возможно выявление особенностей динамики этих процессов, что представляет собой основу для прогнозирования. Целесообразно применять для этих целей и космические снимки, позволяющие проследить динамику природных процессов на больших территориях. Важное значение приобретает сравнительное дешифрирование материалов съемок, полученных в разных зонах спектра. Это позволяет, с одной стороны, определить наиболее информативную зону спектра для решения конкретных задач инженерной геологии, а с другой — более точно и детально осуществлять дешифрирование отдельных компонентов ландшафта, используемых в качестве индикаторов инженерно-геологических условий.

Контроль правильности дешифрирования материалов аэрокосмических съемок. Информация, получаемая с помощью аэрокосмических методов, имеет субъективный характер и нуждается в уточнении, подтверждении и оценке достоверности. В связи с этим большую роль приобретают методы наземного обоснования, с помощью которых можно установить взаимосвязь между индикаторами и дешифровочными признаками, физическими параметрами изучаемых объектов и их изображений. В комплекс методов наземного обоснования входят: ландшафтно-индикационные исследования с полевым дешифрированием аэрокосмических материалов, радиозотопные экспресс-методы определения влажности и плотности горных пород, отбор проб грунтов и подземных вод для лабораторных определений, а также горнобуровые и геофизические работы. Работы по наземному обоснованию осуществляются при помощи двух методических

Характеристика дешифровочных признаков, ландшафтных при инженерно-геологическом

Дешифровочные признаки	Ландшафтные		
	Наименование	Содержание	Наименование
	Частные		
Форма объектов	Геоморфологические	Тип рельефа, мезо- и микроформы, морфологические и морфометрические характеристики рельефа	Мегакомплекс тектоморфогенный (эктоярус группы ландшафтов)
Размер объектов	Гидрографические	Форма, густота, разветвленность и другие характеристики гидрографической сети Характеристика отдельных водных объектов	Макрокомплекс — экзотектоморфогенный (эктоярус ландшафтов)
Тон и яркий контраст изображения	Геоботанические	Характер, строение, состояние и проективное покрытие растительного покрова. Наличие растительных ассоциаций и растительных форм индикаторов	
Цвет, светлота и насыщенность изображения	Почвенные	Строение почвенного покрова, наличие характерных типов почв и их разновидностей	Мезокомплекс — морфобиогенный (эктоярус сложных урочищ местности)
Тени объектов, собственные и падающие	Зоогенные	Наличие характерных форм, созданных жизнедеятельностью организмов	
Структура и рисунок изображения	Антропогенные (хозяйственного использования территории)	Степень и характер хозяйственного освоения территории, густота и характер дорожной сети, наличие карьеров, мелиоративных и ирригационных сооружений, характерных промышленных предприятий (кирпичные, цементные заводы, торфоразработки и пр.)	Микрокомплекс биоморфогенный (эктоярус фаций)

индикаторов и дешифровочных критериев
дешифрировании

индикаторы		Дешифровочные критерии	
Содержание		Наименование	Содержание
Комплексные			
<p>Морфоструктуры, отвечающие геоструктурным зонам и группам инженерно-геологических формаций горных пород</p> <p>Морфосистемы и морфогенетические типы рельефа в пределах природной подзоны, высотной зоны, отвечающие инженерно-геологическим формациям и стратиграфо-генетическим комплексам отложений</p> <p>Мезоформы рельефа, сопряженные с группировками растительных сообществ, отвечающие однородным литологическим разностям пород</p> <p>Определенные растительные сообщества, сопряженные с микроформами рельефа, отвечающие однородным литологическим разностям пород с одинаковыми условиями увлажнения</p>		<p>Природные, климатические</p> <p>Историко-геологические</p> <p>Неотектонические</p> <p>Атмосферно-оптические</p> <p>Технические</p> <p>Психофизиологические</p>	<p>Климатическая зона, подзона, сектор, провинция Средние многолетние климатические характеристики</p> <p>Данные об изменениях климатических условий в последний период жизни Земли, которые могли сказаться на формировании ландшафта</p> <p>Основные этапы геологической истории, определившие инженерно-геологические условия района Характер и интенсивность современных тектонических движений, сейсмическая активность</p> <p>Сезон и время съемки, освещенность, положение солнца, наличие дымки, облаков и пр.</p> <p>Летательные средства, высота съемки, виды приемников, их технические характеристики, условия передачи и обработки информации</p> <p>Острота и стереоскопичность зрения, свето- и цветоразличие, утомляемость, навык оператора</p>

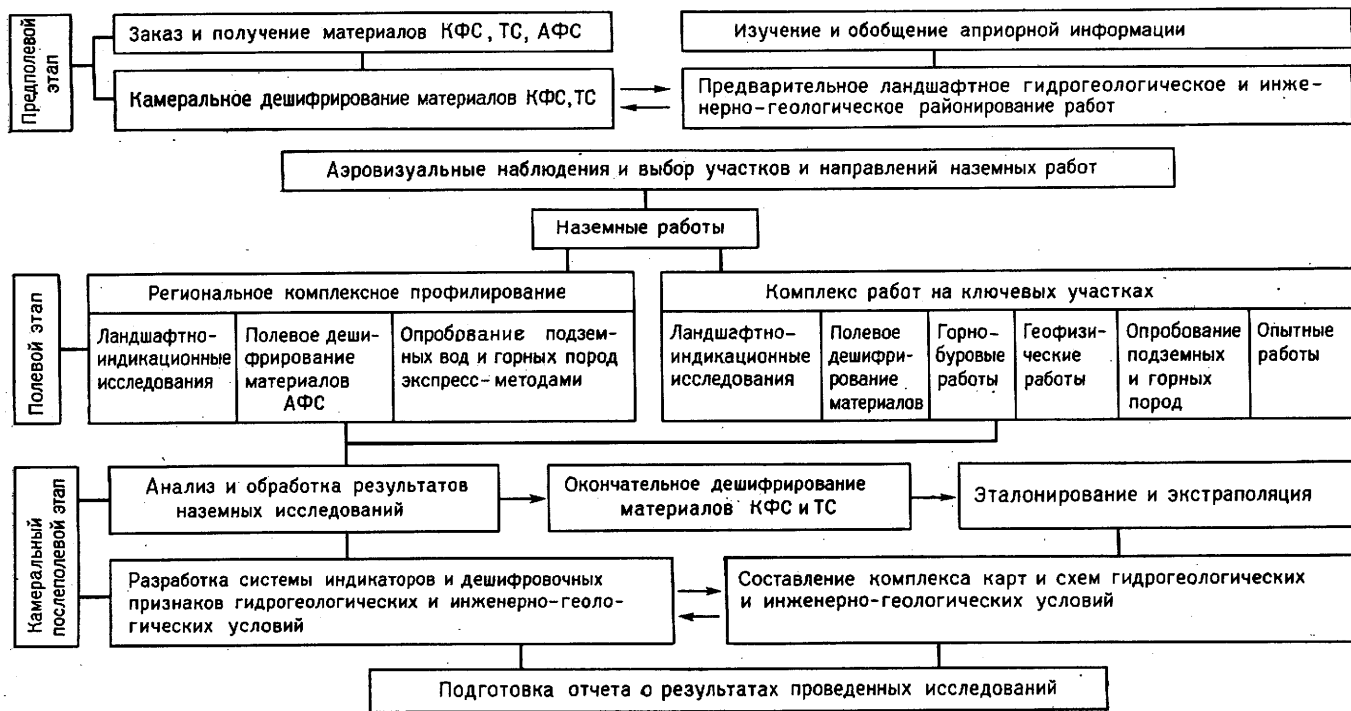


Рис. 32. Общая структурно-технологическая схема гидрогеологических и инженерно-геологических исследований с применением аэрокосмических методов

приемов: комплексного профилирования и площадных работ на ключевых участках.

Комплексное профилирование — предусматривает изучение инженерно-геологических условий по характерным профилям, ориентированным в главных направлениях изменчивости компонентов инженерно-геологических условий: строения складчатых тектонических структур, литологии и свойства горных пород, развития экзогенных процессов и формирования подземных вод. В общем виде закономерности изменчивости отражаются в морфологии ландшафтов, что позволяет изучать инженерно-геологические условия путем выявления их индикационных связей с физиономическими компонентами ландшафта. Региональное комплексное профилирование проводится по главным направлениям изменчивости инженерно-геологических условий. Изучаются все основные группы и типы ландшафта с учетом их зональных особенностей. Этот вид профилирования осуществляется в масштабах 1 : 100 000—1 : 200 000. В период подготовительного этапа (на основе анализа фондовых и литературных материалов) составляется предварительный региональный инженерно-геологический разрез. На разрез выносятся данные о составе пород, глубине залегания грунтовых вод и их химизме, развитии экзогенных процессов. В процессе полевых работ по линии заданного профиля выполняется полевое дешифрирование материалов аэрокосмических съемок с целью проверки результатов камерального дешифрирования, уточнения и корректировки выявленных индикаторов и дешифровочных признаков и оценки их достоверности. Определяются показатели физико-механических свойств пород верхней части разреза, химического состава подземных вод, отбираются пробы для анализа гранулометрического состава пород и их свойств влажности, плотности, пластичности объемной массы засоленности.

Все виды исследований, начиная с дешифрирования и кончая отбором проб, выполняются комплексно в каждой точке с ландшафтно-индикационными описаниями по профилю.

Локальное комплексное профилирование осуществляется на узловых отрезках регионального профиля и на ключевых участках. Если при региональном профилировании можно выявить и оценить комплексные индикаторы инженерно-геологических условий сложных урочищ, типов местности и ландшафта, то в процессе локального профилирования появляется возможность установить частные (геоморфологические, геоботанические, почвенные) и комплексные (фации и простые урочища) индикаторы. При локальном профилировании возможна индикация деталей инженерно-геологической обстановки: характера активности проявлений экзогенных процессов, глубины залегания первого от поверхности водоносного горизонта. Локальное профилирование ведется в масштабе 1 : 10 000—1 : 25 000. В процессе локального комплексного профилирования проводятся электро- и сейсморазведка.

Ключевые участки для исследований выбираются на основе обобщения имеющихся литературных и фондовых материалов, дешифрирования материалов аэрокосмической съемки, аэровизуальных наблюдений и результатов комплексного профилирования.

Число, размеры и форма ключевых участков устанавливаются исходя из анализа материалов аэрокосмических съемок с учетом сложности инженерно-геологических условий. При выборе ключевых участков следует учитывать и принцип экономичности, предусматривающий решение инженерно-геологических задач с минимальными материальными и временными затратами. При исследованиях на ключевых участках должен быть проведен более широкий комплекс исследований, чем при осуществлении комплексного профилирования, с большей детальностью, позволяющей в ходе работ получить данные, характеризующие всю площадь ключевых участков.

В общем виде структурно-технологическая схема работ приведена на рис. 32.

IV. ГОРНОПРОХОДСКИЕ И БУРОВЫЕ РАБОТЫ

Буровые скважины и горнопроходческие выработки проходятся для изучения геологического разреза, отбора образцов грунта на лабораторные испытания и для постановки опытных работ.

**Назначение инженерно-геологических скважин,
их диаметры и правила отбора образцов**

Тип скважин по назначению	Диаметр * скважины, мм	Цель отбора образцов и виды работ в скважинах	Правила отбора образцов при бурении
Зондировочные	33—127	Ориентировочная геологическая документация	Образцы в основном нарушенного сложения, отбираются через определенные интервалы
Разведочные	108—219	Детальная геологическая документация, определение физико-механических свойств грунтов (по монолитам)	Непрерывный отбор образцов нарушенного сложения, допускается отбор образцов через определенные интервалы; монолиты отбираются по всему интервалу бурения либо с определенных участков
Гидрогеологические	108—426	Гидрогеологическая документация, проведение опытных откачек	Образцы нарушенного сложения отбираются в случае необходимости
Специального назначения	325—2000	Различные опытные работы, отбор крупных монолитов	Правила отбора образцов определяются специальными требованиями

* Здесь и далее диаметр скважин указан по стандартизированному диаметру обсадных труб.

Рекомендуемые области применения различных видов и способов бурения инженерно-геологических скважин

Виды и разновидности способов бурения	Способы бурения скважин и их модификации		Породы, степень их обводненности	Глубина скважин, м	Тип скважин по назначению	Способ отбора монолитов
Вращательный	С промывкой водой		Скальные (монолитные и слаботрещиноватые), обводненные и необводненные	Во всем диапазоне глубин	Разведочные, технические, зондировочные	Отбираются одинарными колонковыми трубами
	С промывкой глинистым раствором		Скальные (трещиноватые), крупнообломочные, глинистые, песчаные, обводненные и необводненные	То же	То же	Отбираются двойными колонковыми трубами
	С промывкой соевыми охлажденными растворами		Мерзлые	От 30 и более	»	Отбираются одинарными и двойными колонковыми трубами
	С продувкой воздухом		Скальные (монолитные и трещиноватые), необводненные или слабообводненные, мерзлые	То же	»	То же
	Всухую и с обратной призабойной циркуляцией промывочной жидкости		Крупнообломочные, глинистые, песчаные, обводненные и слабообводненные, мерзлые	До 30	»	Отбираются с помощью обуривающих и вдавливаемых грунтоносов
Шнековый	Поточный сплошным забоем	Переносными мотобурами Самоходными установками	Глинистые, песчаные, слабообводненные	До 10	Зондировочные	Монолиты не отбираются
			То же	До 30		То же

Виды и разновидности способов бурения	Способы бурения скважин и их модификации	Породы, степень их обводненности	Глубина скважин, м	Тип скважин по назначению	Способ отбора монолитов	
Вращательный	Шнековый	Рейсовый сплошным забоем	Глинистые, песчаные, слабообводненные	До 30	Разведочные	Отбираются с помощью обуривающих и вдавливаемых грунтоносов
		Винтовой сплошным забоем	Глинистые, слабо-связанные (илы, торфы и др.), сильно- и слабообводненные	До 10	Зондировочные, разведочные	Монолиты не отбираются
		Кольцевым забоем	Глинистые	До 30	Разведочные, технические	Отбираются из магазинных шнеков и шнекоколонковых буров
	Медленно-вращательный сплошным забоем	С использованием инструмента для ударно-вращательного бурения (ложковых буров, змеевиков и т. д.)	Глинистые, песчаные, крупнообломочные, обводненные и необводненные	До 30	Зондировочные, разведочные	Отбираются с помощью обуривающих и вдавливаемых грунтоносов
	Роторный сплошным забоем	С промывкой и продувкой	Скальные, крупнообломочные, глинистые, обводненные и необводненные, мерзлые	От 30 и более	Гидрогеологические	Монолиты не отбираются
	Ударно-канатный кольцевым забоем	Забивной «Клюющий»	Глинистые (полуобводненные, пластичные, текучие), песчаные, сильно и слабообводненные Глинистые (лёссовидные), слабообводненные	До 30 До 30	Зондировочные, разведочные, технические То же	Отбираются с помощью забивных грунтоносов То же

Ударный

Комбинированный

Ударно-канатный сплошным забоем	С применением долот и желонки	Крупнообломочные, глинистые, песчаные, сильно- и слабообводненные, в отдельных случаях полускальные и скальные	Во всем диапазоне глубин	Гидрогеологические	Монолиты не отбираются
Грейферный Пневмоударный кольцевым забоем	Сплошным забоем С применением твердосплавного инструмента	В основном крупнообломочные грунты, обводненные, слабообводненные и необводненные Скальные крупнообломочные, глинистые, песчаные, необводненные и слабообводненные, мерзлые	До 30 До 30	Гидрогеологические и скважины спецназначения Разведочные, технические	Монолиты не отбираются Отбираются валовые пробы Отбираются с помощью забивных грунтоносов
Ударно-вибрационный кольцевым забоем	С применением вибратора или вибромолота	Глинистые, песчаные, слабообводненные и обводненные	До 30	Разведочные, технические	Отбираются с помощью забивных грунтоносов
Вибрационно-вращательный кольцевым забоем	То же	Полускальные, крупнообломочные, глинистые, песчаные, обводненные и слабообводненные	До 50	То же	Отбираются с помощью обуривающих и забивных грунтоносов

По назначению скважины подразделяются на зондировочные и разведочные. Зондировочные скважины проходятся для изучения геологического разреза. Назначение разведочных скважин заключается в детальном изучении геологического разреза и в опробовании горных работ и подземных вод.

Начальный диаметр скважин обусловлен их целевым назначением, глубиной и характером геологического разреза. Для зондировочных скважин конечный диаметр должен быть не менее 30 мм; для разведочных — 108 мм.

Виды и назначение скважин, их диаметр и правила отбора образцов при бурении указаны в табл. 49.

Способы бурения скважин, которые могут быть использованы при инженерно-геологических исследованиях, и рекомендации по использованию этих способов указаны в табл. 50. Предпочтительными способами бурения являются: колонковый «всухую», ударно-канатный кольцевым забоем, ударно-вибрационный. Самую высокую производительность обеспечивает ударно-вибрационный способ (до 70 м в смену).

По качеству извлекаемого из скважины материала все способы бурения, используемые при инженерно-геологических исследованиях, могут быть подразделены на три группы: 1) способы, дающие керн в виде столбика грунта относительно ненарушенного сложения с последовательностью слоев, включений, текстурных и структурных особенностей, в значительной степени соответствующих природным. К этой группе относятся колонковый, шнековый кольцевым забоем, ударно-канатный кольцевым забоем, вибрационный, пневмоударный, вибрационно-вращательный способы бурения; 2) способы, дающие керн в виде перемятого грунта с резко нарушенным сложением. Установление по такому керну глубин залегания контактов затруднено. Сюда следует отнести ручной ударно-вращательный, медленно-вращательный, шнековый (поточный, рейсовый), отчасти винтовой способы бурения; 3) способы, дающие только шлам. К ним относится ударно-канатное бурение сплошным забоем (грейферное и роторное), применяемое в основном для бурения гидрогеологических скважин.

Предварительную оценку точности установления границ слоев при бурении скважин различными способами в песчано-глинистых породах можно произвести с помощью табл. 51.

Т а б л и ц а 51

Значения количественных характеристик
точности фиксации положения слоев
в геологическом разрезе различными способами бурения

Способы бурения	Состояние извлекаемого грунта	Точность фиксации контактов, м	Средняя мощность одного пропущенного слоя, м
Ударно-вибрационный	Керн в виде столбика грунта	$\pm 0,11$	0,10
Ударно-канатный кольцевым забоем (забивной)		$\pm 0,20$	0,18
Колонковый всухую		$\pm 0,22$	0,22
Медленно-вращательный	Комки грунта с нарушенным сложением	$\pm 0,34$	0,33
Шнековый рейсовый		$\pm 0,36$	0,20
Шнековый поточный		$\pm 0,53$	0,38

При инженерно-геологических исследованиях проходятся следующие виды горных выработок: расчистки, закопшки, канавы, шурфы и штольни. Наиболее распространенным видом горных выработок являются шурфы. Последние проходятся для детального и точного изучения геологического разреза, отбора качественных образцов ненарушенного сложения и постановки различных опытных работ. Шурфы бывают круглого и прямоугольного сечения. Круглые шурфы могут проходиться специализированными шурфопроходческими установками либо буровыми станками. Диаметр шурфов круглого сечения должен быть не менее 0,7 м. Прямоугольные шурфы должны иметь сечение не менее $1,25 \times 1$ м.

Для отбора монолитов из скважин необходимо применять грунтоносы. Отбор монолитов из породоразрушающего инструмента, которым углубляется скважина, не допускается. Внутренний диаметр керноприемной гильзы грунтоноса должен быть не менее 94 мм, при высоте не менее одного и не более двух диаметров. Для внедрения грунтоносов допускается использовать следующие способы: обуривающий, вдавливаемый, забивной и вибрационный. Предпочтительными являются обуривающий и вдавливаемый способы. Правила отбора монолитов регламентированы ГОСТ 12071—72 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов». Следует помнить, что отбор монолитов из скважины — это достаточно ответственная операция, требующая особенной тщательности и внимания.

V. ОПРОБОВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

Инженерно-геологическое опробование горных пород — это комплекс последовательных операций по определению их состава, состояния и свойств. Схема операций опробования помещена на рис. 33.

Опробование ведут при инженерно-геологических поисках и при разведке мест, выбранных для строительства сооружений. В первом случае опробование сосредоточивают на ключевых участках, а во втором — на площадках намечаемого строительства. Опробование проводят в несколько этапов (табл. 52).

В результате осуществления операций этапа рекогносцировочных работ должны быть получены данные для ориентировки системы опробования и для расчета ее параметров, т. е. расстояний между точками опробования.

Этапы опробования

Т а б л и ц а 52

Этап	Цель работ	Основное содержание работ
Рекогносцировочных работ	Установление оптимального расположения в пространстве точек опробования (точек отбора образцов или проведения полевых испытаний) и их числа	Проведение измерения показателей свойств пород скоростными методами (геофизическими или пенетрационными), расчеты параметров систем опробования
Детальных работ	Определение свойств пород в условиях естественного залегания или в лабораторных условиях	Отбор образцов пород, консервация, транспортировка и лабораторные испытания проб; испытания пород в полевых условиях
Обработки данных	Вычисление обобщенных показателей и их оценок, выбор расчетных показателей, разработка математических моделей	Накопление информации о составе и свойствах пород, расчеты, в том числе получение статистических характеристик, программирование и расчет с помощью вычислительной техники

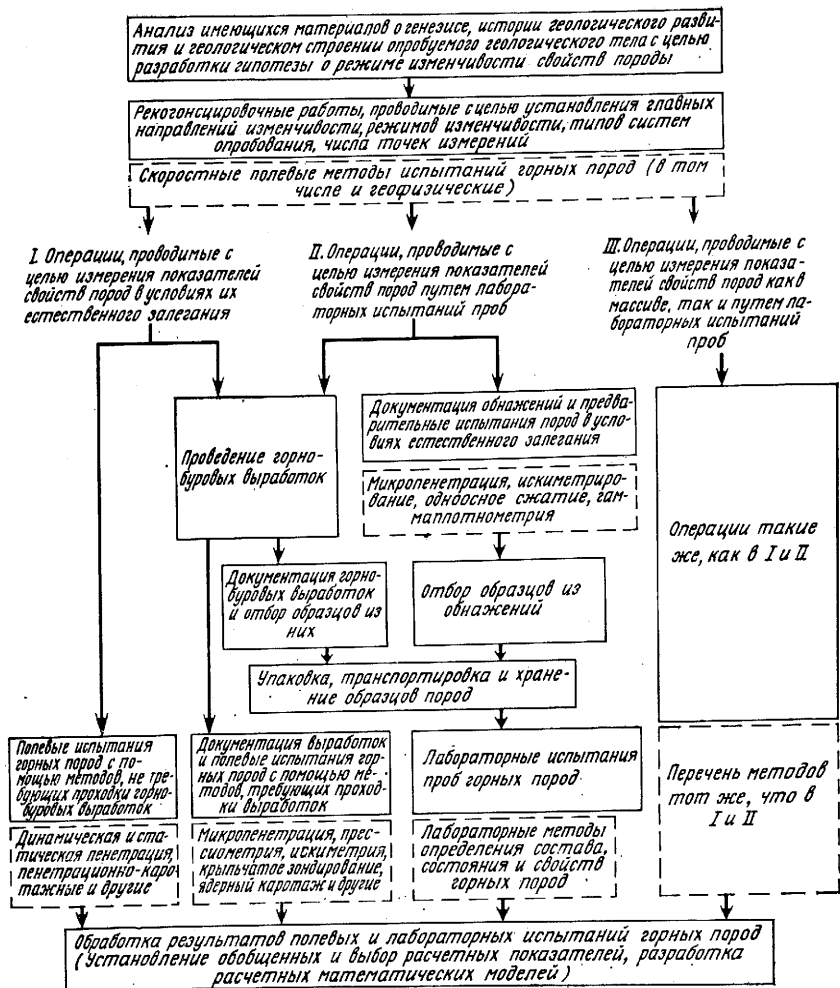


Рис. 33. Схема последовательных операций, выполняемых в процессе инженерно-геологического опробования:

1 — название операций по опробованию; 2 — название методов, с помощью которых выполняют операцию

При опробовании пород на ключевых участках ориентируют системы опробования по главным направлениям изменчивости *, а на площадках предполагаемого строительства — по направлениям, отвечающим экстремальным значениям градиентов показателей свойств пород.

* См. Г. К. Бондарик «Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород». — М.: Недра, 1971.

Параметры систем опробования определяют из выражений

$$\Delta \xi_1 = \frac{L_{\xi_1}}{\sqrt[3]{n \frac{D_{\xi_1}^2}{D_{\xi_2} D_{\xi_3}}}}, \quad \Delta \xi_2 = \frac{L_{\xi_2}}{\sqrt[3]{n \frac{D_{\xi_2}^2}{D_{\xi_1} D_{\xi_3}}}}, \quad \Delta \xi_3 = \frac{L_{\xi_3}}{\sqrt[3]{n \frac{D_{\xi_3}^2}{D_{\xi_1} D_{\xi_2}}}},$$

в которых $\Delta \xi_1$ — шаг опробования по сносу; $\Delta \xi_2$ — шаг опробования вдоль фронта сноса; $\Delta \xi_3$ — интервал опробования (по глубине); L_{ξ_1} и L_{ξ_2} — размеры опробуемого геологического тела (пласта, линзы, залежи) в главных направлениях изменчивости (при инженерно-геологических поисках) или в направлениях, отвечающих экстремальным значениям градиентов показателей (при разведке площадок предполагаемого строительства); L_{ξ_3} — мощность тела; n — необходимое число испытаний; D_{ξ_1} , D_{ξ_2} и D_{ξ_3} — дисперсии показателей свойств в характерных направлениях изменчивости (соответственно по ξ_1 , ξ_2 и ξ_3).

Число испытаний n устанавливают методом доверительных пределов по таблицам и номограммам достаточно больших чисел (рис. 34) или аналитически по формуле

$$n = \frac{t_\alpha^2 \sigma^2}{\Delta^2},$$

где σ^2 — дисперсия показателя; t_α — показатель, определяемый по табл. 53 в зависимости от принятой вероятности α ; Δ — величина предельного отклонения выборочного среднего от генерального.

Для установления числа проб в процессе испытаний используют также последовательный анализ *, метод оптимальной выборки и др. По методу оптимальной выборки число испытаний определяют по формуле $n = \frac{\max |\Delta R_n|}{E}$,

где $\max |\Delta R_n|$ — наибольшее по абсолютному значению отклонение частного значения показателя от выборочного среднего; E — заданная разность между математическим ожиданием и оценкой среднего значения (абсолютная точность, с которой получают оценку среднего значения показателя свойств по n определениям).

Н. В. Коломенский и И. Н. Иванова рекомендуют производить для получения обобщенных показателей состава и свойств глинистых пород 10—15 испытаний, а для параметров прочности — 20—25 опытов (при доверительной вероятности 0,75—0,99).

После расчета параметров системы опробования проводят детальные работы на обнажениях и в выработках. При этом следует руководствоваться следующими положениями: 1) опробование следует вести послонно; 2) опробуется каждый слой (линза) пород мощностью не менее 50 см; 3) при опробовании

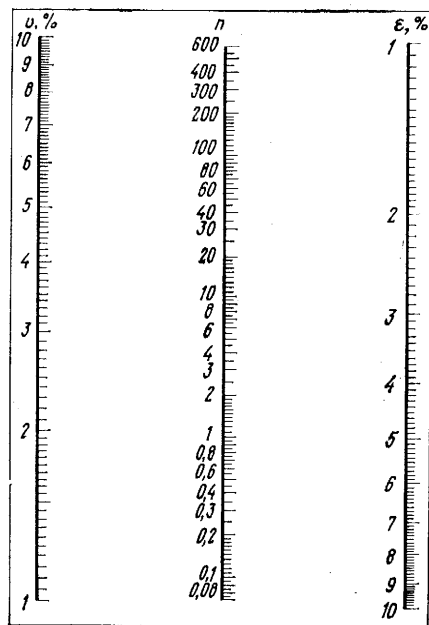


Рис. 34. Номограмма достаточно больших чисел при величине вероятности $P = 0,99$

* См. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению пород, т. 1 Изд-во МГУ, 1968.

Коэффициент t_α (СНиП II-15-74)

Число степеней свободы ($n-1$) для R_c и v ($n-2$) для s и φ	Коэффициент t_α при односторонней доверительной вероятности α , равной				
	0,85	0,90	0,95	0,98	0,99
2	1,34	1,89	2,92	4,87	6,96
3	1,25	1,64	2,35	3,45	4,54
4	1,19	1,53	2,13	3,02	3,75
5	1,16	1,48	2,01	2,74	3,36
6	1,13	1,44	1,94	2,63	3,14
7	1,12	1,41	1,90	2,54	3,00
8	1,11	1,40	1,86	2,49	2,90
9	1,10	1,38	1,83	2,44	2,82
10	1,10	1,37	1,81	2,40	2,76
11	1,09	1,36	1,80	2,36	2,72
12	1,08	1,36	1,78	2,33	2,68
13	1,08	1,35	1,77	2,30	2,65
14	1,08	1,34	1,76	2,28	2,62
15	1,07	1,34	1,75	2,27	2,60
16	1,07	1,34	1,75	2,26	2,58
17	1,07	1,33	1,74	2,25	2,57
18	1,07	1,33	1,73	2,24	2,55
19	1,07	1,33	1,73	2,23	2,54
20	1,06	1,32	1,72	2,22	2,53
25	1,06	1,32	1,71	2,19	2,49
30	1,05	1,31	1,70	2,17	2,46
40	1,05	1,30	1,68	2,14	2,42
60	1,05	1,30	1,67	2,12	2,39

в максимальной степени должны быть учтены геологические данные: генезис, геологическое строение, структурно-текстурные особенности пород и др.; 4) требования к надежности данных опробования повышаются для тех слоев, которые оказывают наибольшее влияние на несущую способность и устойчивость основания.

Отбор образцов пород нарушенного сложения и монолитов. При отборе образцов горных пород для инженерно-геологических целей рекомендуется применять три способа отбора: точечный, бороздковый, валовой.

Основным способом отбора проб является точечный способ. Бороздковый и валовой способы применяются для отбора образцов с нарушенным сложением, предназначенных для определения гранулометрического состава, минералогических анализов и анализов засоленности. Эти способы дают возможность после обработки пробы получать образцы, обладающие средними значениями показателей свойств. Их применение позволяет значительно сократить количество образцов и объемы лабораторных исследований.

Бороздовый способ при вырезании борозды специальным ножом может применяться для получения среднего значения объемной массы породы с естественной влажностью δ , которая вычисляется по формуле

$$\delta = \frac{P}{L\omega},$$

где P — масса породы, извлеченной из борозды, г; L — длина борозды, см; ω — площадь поперечного сечения борозды, см².

В табл. 54 * представлены данные, характеризующие требования к образцам пород с нарушенной и ненарушенной структурой при определении показателей их свойств.

При точечном опробовании образцы с ненарушенной структурой отбирают из шурфов и скважин вырезанием, вдавливанием, забивкой или обуриванием.

При вдавливании, забивке и обурировании наблюдается нарушение естественной структуры образца вблизи его поверхности (табл. 55), поэтому минимальный диаметр монолита должен превышать внутренний диаметр кольца лабораторного прибора, по крайней мере, на удвоенную толщину зоны нарушенного слоения.

Отбор образцов пород ведут в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов, а также в «Рекомендациях по отбору, упаковке, транспортированию и хранению образцов грунтов при инженерно-геологических изысканиях для строительства». Документацию отбора ведут по ГОСТ.

Порядок вскрытия монолита и отбор породы для анализов. Существует следующий порядок отбора породы для анализов.

1. Монолит вскрывается в верхней части (где находится этикетка). Для этого срезается с верхней грани марля, пропитанная парафином, и освобождаются боковые грани.

2. Ножом срезается верхний слой породы (около 1 см), пропитанный изоляционным веществом.

3. Породу для анализов отбирают из монолита немедленно после его вскрытия.

4. После отбора породы для анализов монолит парафинируется в целях дальнейшего его использования. Для этого: а) выравниваются верхняя и частично боковые грани в местах отбора пробы; б) на породу кладется сверху этикетка, завернутая в кальку; в) монолит обертывается марлей, пропитанной парафином; при этом используется та марля, которая использовалась первоначально при взятии образца; г) на верхнюю грань монолита, обернутого марлей, помещается этикетка, на которой указываются данные о породе и даты вскрытия монолита.

5. При дальнейших вскрытиях монолита перечисленные операции повторяются.

6. Образцы пород нарушенной структуры с естественной влажностью, сохраняемые в герметически закрывающихся банках, вскрываются и используются только один раз.

Условия и сроки хранения образцов. Помещение, где хранятся монолиты, должно иметь температуру воздуха не ниже 0 и не выше 20° и абсолютную влажность не менее 80%.

Образцы пород нарушенной структуры, потерявшие естественную влажность, хранятся в помещении при положительной температуре.

Сроки сохранения образцов пород естественной влажности и структуры глинистых пород в указанных условиях приведены в табл. 56.

Образцы пород нарушенной структуры, не сохранившие естественной влажности (в воздушно-сухом состоянии), могут находиться в указанных условиях в течение неопределенного срока.

* Инструкция по хранению образцов горных пород, отобранных в инженерно-геологических целях. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1962.

Объем и масса инженерно-геологических проб

Показатели состояния и физико-механических свойств пород	Состав и состояние породы	Количество (масса или объем) породы
Физические свойства		
Гранулометрический состав	<p>Глинистые породы нарушенной структуры, не сохранившие естественной влажности, в воздушно-сухом состоянии</p> <p>Супесчаные породы, не сохранившие естественной влажности и структуры</p> <p>Пески в воздушно-сухом состоянии</p>	<p>10—20 г, полученные квартованием из объема 250 см³</p> <p>10—20 г, полученные квартованием из объема 250 см³</p> <p>100 г, полученные квартованием из объема 1000 см³</p>
Плотность	<p>Песчано-глинистые породы нарушенной структуры в воздушно-сухом состоянии</p>	<p>20—30 г, полученные квартованием из объема 200—300 см³</p>
Объемная масса *	<p>Пески в воздушно-сухом состоянии</p> <p>Глинистые породы ненарушенной структуры с естественной влажностью</p>	<p>250—300 см³</p> <p>Кусочек породы объемом до 150 см³ для метода парафинирования и монолит 10×10×10 см ** для метода режущих колец</p>
Естественная влажность	<p>Глинисто-песчаные породы нарушенной структуры с естественной влажностью</p>	<p>20—30 г</p>
Гигроскопическая влажность Максимальная молекулярная влагоемкость	<p>Песчано-глинистые породы в воздушно-сухом состоянии</p> <p>Песчано-глинистые породы нарушенной структуры</p>	<p>10—20 г</p> <p>50 г, полученные квартованием из 500 см³</p>
Полная влагоемкость	<p>Пески</p>	<p>200—300 г</p>
Граница раскатывания	<p>Глинистые породы, супеси нарушенной структуры в воздушно-сухом состоянии</p>	<p>20—30 г</p>
Граница текучести	<p>То же</p>	<p>60—100 г</p>
Набухание	<p>Глинистая порода ненарушенной структуры с естественной влажностью</p>	<p>Монолит 10×10×10 см</p>
Размокание	<p>Глинистая порода ненарушенной структуры с естественной влажностью</p>	<p>Монолит 5×5×10 см</p>

* Объемную массу определяют в рыхлом и плотном сложениях.

** Монолита размером 10×10×15 см достаточно только для одного испытания (на сдвиге приборе или в стабилометре).

Показатели состояния и физико-механических свойств пород	Состав и состояние породы	Количество (масса или объем) породы
Усадка	Глинистая порода нарушенной и ненарушенной структуры с естественной влажностью в воздушно-сухом состоянии	Монолит 10×10×10 см и 150—200 см ³ грунта нарушенного сложения, полученного квартованием
Коэффициент фильтрации	Пески и супеси Глинистая порода ненарушенной структуры с естественной влажностью	300 см ³ Монолит 10×10×10 см
Липкость	Глинистая порода нарушенной структуры	50—100 г
Механические свойства		
Сжимаемость	Глинистая порода ненарушенной структуры с естественной влажностью	Монолит 25×25×25 см
Сопrotивление сдвигу	Глинистая порода ненарушенной структуры с естественной влажностью	Монолит 20×20×20 см
Угол естественного откоса песка	Песок с естественной влажностью в воздушно-сухом состоянии	1200—1500 см ³

Таблица 55

Оптимальные размеры образцов пород ненарушенной структуры, отбираемых из буровых скважин *

Породы	Высота образца, мм	Минимальный диаметр образца, мм	Средняя толщина нарушенной зоны образца с ненарушенным сложением, мм
Скальные	700—1500	80	2
Глинистые:			
твердые, полутвердые, тугопластичные, мягкопластичные	700	90	9
текучепластичные, текучие	400—700 300—500	100 80	10 3
Песчаные:			
плотные,	500	90	7
рыхлые	500	90	5
водонасыщенные	700	90	3

* Рекомендации по отбору, упаковке, транспортированию и хранению образцов грунтов при инженерно-геологических изысканиях для строительства. — М.: Госстройиздат, 1970.

Сроки хранения монолитов

Состояние породы	Сроки хранения монолитов, мес
Породы в текучем и пластичном состоянии ($W_e > W_p$)	1,5
Породы в полутвердом состоянии ($W_e \leq W_p$)	6

Примечание. W_e — естественная влажность в %. W_p — влажность предела раскатывания в %.

VI. ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Характеристики свойств пород, определяемые полевыми методами, перечень методов, а также горные породы, для исследования которых могут применяться эти методы, приведены в табл. 57.

Опытные нагрузки в шурфах и скважинах. Испытания статической нагрузкой при инженерно-геологической разведке участков предполагаемого строительства ответственных сооружений производятся в шурфах и скважинах, а в процессе возведения сооружений — в строительных котлованах. Испытания проводят с помощью штампов, размеры которых приведены в табл. 58.

Схемы испытаний пород опытными нагрузками в шурфах и в скважинах приведены на рис. 35—36.

В процессе опытов нагрузку увеличивают ступенями до стабилизации осадки от каждой ступени нагрузки. Считается, что стабилизация достигнута в том случае, если приращение осадки за 1 сут не превышает 1 мм.

Величины максимальных нагрузок на штампы даны в табл. 59, примерные интервалы нагрузок — в табл. 60, а данные о режиме наблюдений за осадкой приведены в табл. 61.

В отдельных случаях (по специальному заданию) нагрузку увеличивают до достижения предельного (критического) значения, фиксируемого: 1) по появлению валика выпирания или трещин вокруг штампа; 2) по деформированию породы с постоянной скоростью, продолжающейся не менее 1 сут; 3) по резкому увеличению осадки при незначительном увеличении нагрузки (в 5 раз и более по сравнению с осадкой от предыдущей ступени).

Разгрузку ведут теми же ступенями. После снятия каждой ступени нагрузки в течение 1 ч наблюдают за разуплотнением породы. По результатам опытных нагрузок составляют график $s = f(P)$.

Зависимость осадки от нагрузки в пределах пропорциональности выражается уравнением

$$s = c(P - P_0),$$

где s — осадка штампа; P — удельное давление на штамп; P_0 — начальное давление уплотнения (нагрузка, соответствующая отрезку, отсекаемому прямой $s = f(P)$ на оси абсцисс); $c = \operatorname{ctg} \alpha$.

По графику находится поправочное значение осадки s_0 , в котором учтены: величина осадки от массы незагруженного штампа и первичное обмятие неровностей грунта. Значения осадки, полученные по данным наблюдений, исправляют на величину s_0 .

Основные методы полевых исследований свойств горных пород при проведении инженерно-геологических работ

Изучаемые характеристики	Полевые методы	Породы, для исследования которых применяются методы
<p>Динамическое и статическое сопротивление пенетрации, предельное напряжение сдвига, сопротивление резанию и другие показатели свойств, используемые для характеристики геологического строения пород и пространственной изменчивости их свойств</p> <p>Деформационные характеристики горных пород</p> <p>Прочностные характеристики горных пород</p> <p>Водопроницаемость горных пород *</p>	<p>Динамическое зондирование</p> <p>Статическое зондирование</p> <p>Пенетрационно-каротажный</p> <p>Искиметрия</p> <p>Микропенетрация</p> <p>Опытные нагрузки в шурфах и скважинах</p> <p>Прессиометрия</p> <p>Крыльчатое зондирование</p> <p>Опытные сдвиги на полевых приборах и установках</p> <p>Опытные обрушения и выпирания в шурфах</p> <p>Прессиометрия</p> <p>Крыльчатое зондирование</p> <p>Опытные откачки из скважин</p> <p>Опытные наливыв в шурфы</p> <p>Опытные нагнетания в скважины</p>	<p>Песчано-глинистые</p> <p>Песчано-глинистые, крупнообломочные и трещиноватые скальные</p> <p>Песчано-глинистые</p> <p>Трещиноватые скальные и полускальные, обломочные, песчано-глинистые</p> <p>Обломочные с глинистым заполнителем, полускальные и выветрелые скальные</p> <p>То же</p> <p>Песчано-глинистые</p> <p>Трещиноватые, скальные, несвязные</p> <p>Песчано-глинистые</p> <p>Трещиноватые, несвязные</p>

* Необходимые данные о полевых методах исследования водопроницаемости можно найти в Справочнике гидрогеолога под ред. М. Е. Альтовского.

Основные размеры штампов

Тип штампа	Размеры штампа		Тип выработки и ее размеры по дну
	Площадь, см ²	Диаметр или длина стороны, мм	
Круглый	5000	798	Шурф сечением 225×225 см Скважина диаметром 325 мм
Квадратный	5000	707	
Круглый штамп для скважин	600	277	

Примечание. В таблице даны размеры минимального по площади штампа, могут применяться штампы и больших размеров.

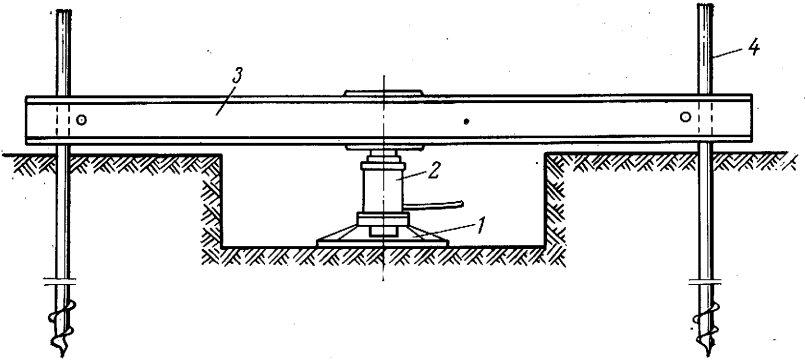


Рис. 35. Схема установки для испытания грунтов в шурфе статической нагрузкой:

1 — круглый штамп площадью 5000 см²;
2 — гидравлический домкрат; 3 — продольная упорная балка; 4 — винтовые анкерные сваи

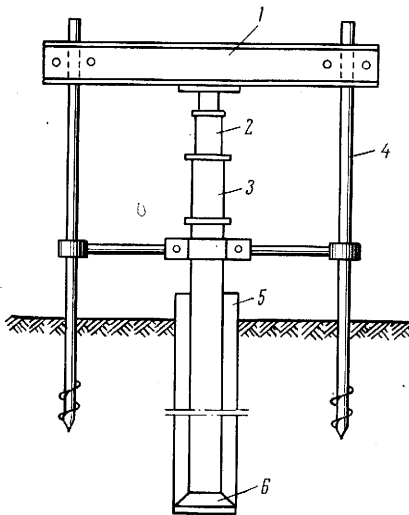


Рис. 36. Схема установки для испытания грунтов пробной нагрузкой в скважине:

1 — упорная балка; 2 — динамометр;
3 — домкрат; 4 — винтовые анкерные сваи; 5 — обсадная труба; 6 — штамп

Т а б л и ц а 59

Нагрузки на штамп

Характеристика пород	Максимальная нагрузка на штамп, МПа
Породы с плотным сложением (ε не более 0,5—0,6) или с влажностью, близкой к W_p , но не более 1,4 W_p	0,3—0,5
Порода менее плотная и более влажная	0,1—0,3

Т а б л и ц а 60

Примерные величины ступеней нагрузок на штампы

Характеристика пород	Величина первых * трех—четырёх ступеней нагрузки, МПа
Плотные песчаные, твердые и тугопластичные глинистые породы	0,10
Песчаные породы средней плотности и мягкопластичные глинистые породы	0,05
Рыхлые песчаные и текучепластичные глинистые породы	0,02

* Последующие ступени нагрузки принимаются в половинном размере.

Т а б л и ц а 61

Режим наблюдений за осадкой штампов *

Породы	Периоды наблюдений		
	I ступень нагрузки		
	Первый час	Второй час	Далее
Глинистые	Через 15 мин	Через 30 мин	Через 1 ч до условной стабилизации осадки
Песчаные	Четыре отсчета через 10 мин	Далее через 30 мин до условной стабилизации осадки	
Породы	Периоды наблюдений		
	II ступень нагрузки		
	Первый час	Второй час	Далее
Глинистые	Через 30 мин	Через 30 мин	Через 1 ч до условной стабилизации осадки
Песчаные	Два отсчета через 15 мин	Далее через 30 мин до условной стабилизации осадки	

* Точность определения осадки должна быть не менее 0,1 мм.

При испытаниях в скважинах вводится поправка на обмятие штанг, определяемая по формуле

$$\Delta = \frac{LP}{FE},$$

где L — длина штанг, передающих нагрузку на штамп, см; P — нагрузка на погрузочной платформе, Н; F — площадь поперечного сечения штанг, см²; E — модуль упругости материала штанг, МПа.

Модуль деформации. Значения модуля деформации пород определяют по одной из формул.

1. Формула Буссинеска для круглого штампа

$$E = (1 - \mu^2) \frac{P}{sd},$$

где E — модуль деформации, МПа; P — полная нагрузка на штамп, берется по прямолинейному участку графика $s = f(P)$, Н; d — диаметр штампа или круга, равновеликого площади штампа, если испытания велись квадратным или прямоугольным штампом:

площадь штампа, см ²	600	2500	5000	10 000
d , см	27,7	56,2	79,8	112,6

s — конечная осадка, отвечающая нагрузке P , см; μ — коэффициент поперечного расширения: для песков и супесей, равный 0,30, для суглинков — 0,35, для глины — 0,42.

2. Формула для расчета E при наличии на графике $s = f(P)$ участков с разными наклонами

$$E = (1 - \mu^2) \frac{P_{n+1} - P_n}{(s_{n+1} - s_n) d},$$

где P_n и P_{n+1} — начальная и конечная нагрузки на рассматриваемом участке; s_n и s_{n+1} — отвечающие им деформации.

3. Формула Шлейхера

$$E = (1 - \mu^2) \frac{\omega P \sqrt{F}}{s},$$

где F — площадь штампа; ω — коэффициент, зависящий от формы подошвы штампа (табл. 62).

4. Формула НИИОСП

$$E = ak \frac{P}{s},$$

где a — поправочный коэффициент, учитывающий различие деформаций при испытаниях в шурфах и скважинах; F — площадь штампа, см²;

$$k = \frac{\sqrt{2\pi}}{2} \cdot \frac{(1 - \mu^2)}{\sqrt{F}}.$$

Коэффициенты a и k имеют следующие значения (табл. 63).

Т а б л и ц а 62

Значения коэффициента ω

Форма загруженной площади	Значение ω	Форма загруженной площади	Значение ω
Круг	0,96	Прямоугольник с отношением сторон:	
Квадрат	0,95		
Прямоугольник с отношением сторон:		10	0,71
		50	0,45
	1,5	100	0,37
	2,0	1000	0,16
5,0	0,82		

Значения коэффициентов a и k

Условия испытания и размер штампа	Песок		Глина	
	a	k	a	k
В шурфах квадратным штампом площадью 5000 см ²	1,0	0,0115	1,0	0,0103
В скважинах круглым штампом площадью 600 см ²	0,7	0,0331	0,7	0,2970

Прессиометрия. Прессиометрию применяют для определения деформационных и прочностных свойств песчано-глинистых и щебенисто-глинистых пород* в буровых скважинах.

Метод заключается в измерении осадки грунта, вскрытого в стенке скважины, под действием давления.

Техническая характеристика скважинных прессиометров

Давление в газовом баллоне, МПа	До 12,0
Минимальное давление, передаваемое камерами на породу, МПа	До 2,5
Точность измерения деформаций, мм	±1
Точность измерения давлений от верхнего предела измерений, %	±4
Диаметр скважин при использовании различных камер давления, мм	От 50 до 220
Максимальная глубина проведения испытаний, м	50
Производительность опытов в смену	До 20
Масса прибора, кг	До 100

Схема прессиометра представлена на рис. 37.

В скважину на требуемую глубину опускают снаряд прессиометра с эластичными стенками, разделенный на три камеры: рабочую и две вспомогательные. Затем прикладывают нагрузку на эластичные стенки снаряда и измеряют деформации породы. Измерение деформаций проводят: при испытаниях по схеме быстрого нагружения — через 10 с, по схеме медленного нагружения через 1 мин до наступления условной стабилизации.

Величину ступеней нагружения принимают в зависимости от консистенции пород (табл. 64).

Общее число ступеней нагружения должно быть не менее 6—8; конечная ступень должна быть на 25—50% меньше предыдущей, при которой был получен резкий скачок в приросте деформаций.

* С содержанием щебенки не более 30%.

Таблица 64

Зависимость величины нагружения от консистенции пород

Консистенция породы	Показатель консистенции	Величина ступени давления, МПа
Мягкопластичная	$1 > V > 0,5$	0,025—0,05
Полутвердая	$0,5 > V > 0,8$	0,05—0,1
Твердая	$0,8 > V > 0$	0,1—0,2

По данным испытаний пород составляют график (рис. 38). Модуль деформации (E) определяют по формуле Лямэ:

$$E = (1 + \mu) r_0 \frac{dP}{dr},$$

где dP — приращение давления на участке пропорциональных деформаций; dr — соответствующие ему приращения радиальных деформаций; r_0 — начальный радиус скважины; μ — коэффициент Пуассона.

При испытании пород прибором, в котором величину радиальной деформации камеры получают пересчетом по приращению объема рабочей жидкости ΔV , для получения модуля деформации удобно пользоваться уравнением

$$E = (1 + \mu) \lambda \frac{\Delta P}{\Delta V},$$

где λ — постоянная для установки, определяемая при тарировке прибора.

Параметры прочности определяют по приближенным формулам*:

$$c = \left(\frac{P_t}{P_e} - 1 \right) \cdot P_{\text{быт}} \cdot \text{tg } \varphi,$$

$$\varphi + \text{ctg } \varphi = \pi \left(\frac{P_{\text{быт}}}{P_e} + 0,5 \right)$$

(при глубине более 5 м)

и

$$\frac{\text{ctg } \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}}{\text{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \pi} = \frac{P_{\text{быт}}}{P_e} \quad (\text{при гл-}$$

бине менее 5 м),

где c — сцепление, МПа; φ — угол внутреннего трения, градус; $P_{\text{быт}}$ — природное давление, МПа; P_e — предел пропорциональности, МПа (рис. 39); P_t — предел прочности, МПа.

Для определения φ можно использовать номограммы (см. рис. 39).

* Предложены С. Л. Кореновой (1974 г.).

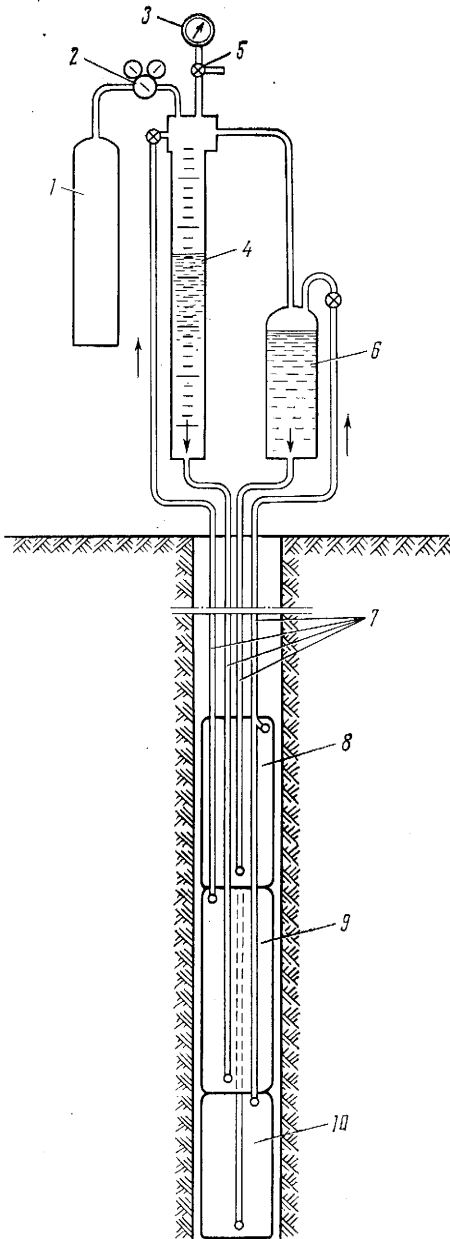


Рис. 37. Схема прессиометра:

1 — газовый баллон; 2 — редуктор; 3 — манометр; 4 — измерительный цилиндр; 5 — кран-тройник; 6 — бачок; 7 — шланги; 8, 10 — вспомогательные камеры; 9 — рабочая камера

Рис. 38. График испытаний пород прессиометром

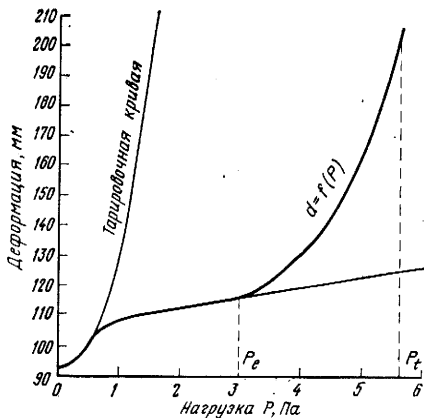
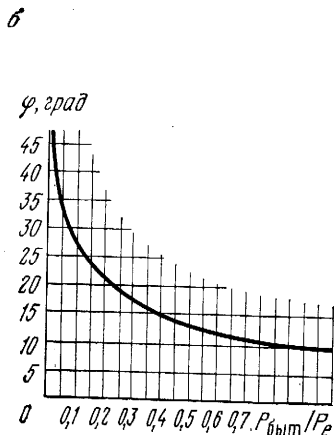
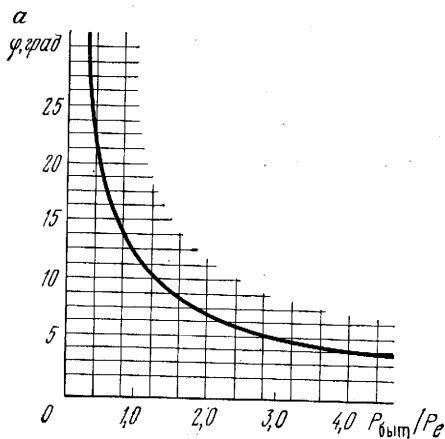


Рис. 39. Номограмма для определения угла внутреннего трения по данным испытания пород прессиометром:

а — при глубине испытаний более 5 м;
б — при глубине испытаний менее 5 м

↓



Испытания прочности пород в выработках. Опытные сдвиги, обрушения и выпирания целиков породы в горных выработках и строительных котлованах выполняют с целью определения на месте: 1) прочностных характеристик неоднородных пород, из которых невозможно отобрать образцы ненарушенного сложения (трещиноватые или слабосвязные песчано-глинистые образования); 2) показателей прочности тех пород, для которых при лабораторных способах их получения эти показатели недостоверны (глинисто-щебенистые или песчано-гравелистые отложения, плотные трещиноватые глинистые породы с ясно выраженной структурой, сильно неоднородные песчано-глинистые породы с ясно выраженной структурой, сильно неоднородные песчано-глинистые отложения). Показатели прочности применяют при проектировании фундаментов зданий и сооружений для расчета нормативного давления; расчет проводят по СНиП II-15-74.

Сдвиг целиков породы в шурфах. Схема установки для целика породы в шурфе приведена на рис. 40. После проведения испытаний при разных вертикальных нагрузках строят диаграмму сдвига.

$$\tau = f(P),$$

где τ — сдвигающее напряжение; P — вертикальная нагрузка. Величину сцепления и угол внутреннего трения находят по диаграмме сдвига.

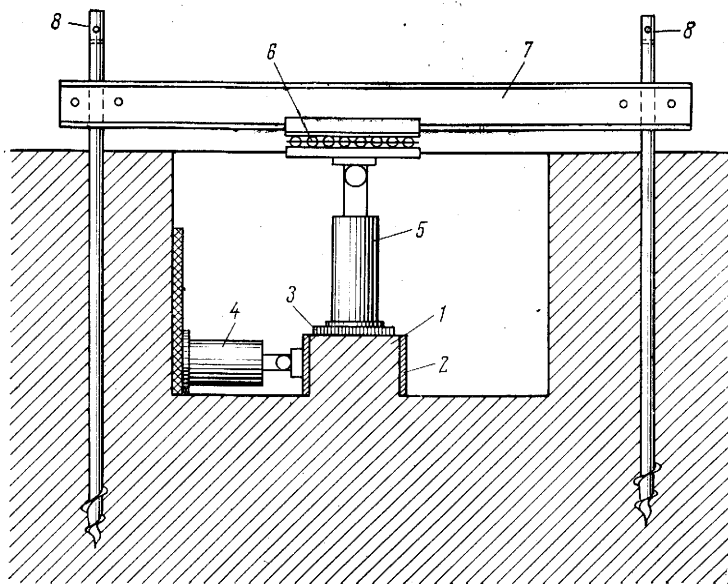


Рис. 40. Схема установки для сдвига целика породы в шурфе:

1 — целик породы; 2 — обойма; 3 — штамп; 4 — горизонтальный домкрат с динамометром; 5 — вертикальный домкрат с динамометром; 6 — плоская шариковая обойма; 7 — упорная балка; 8 — винтовые сваи

Круговой срез целиков пород в шурфах и на поверхности земли*. Схема установки для кругового среза пород приведена на рис. 41. Стойку-анкер ввинчивают в породу, используя упорную балку как рычаг. С помощью нагрузочного устройства вдавливают поворотное кольцо в испытуемую породу и при нормальном давлении P' срезают ее по торцу поворотного кольца, фиксируя общий момент M_0 , затрачиваемый на срез по круговой поверхности и на трение между кольцом и породой. После среза снимают крышку поворотного кольца, извлекают из него срезанную породу (кольцо оставляют на месте), снова устанавливают крышку на кольцо и поворачивают кольцо, измеряя момент, затрачиваемый

* Предложен Г. К. Бондариком.

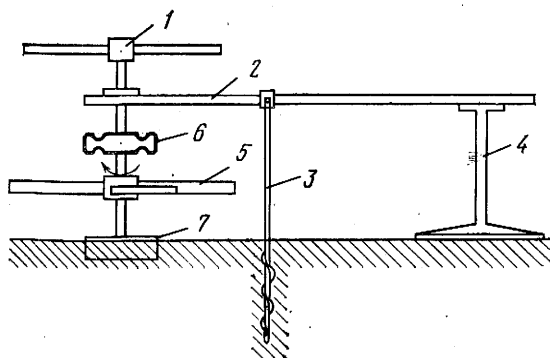


Рис. 41. Схема установки кругового среза:

1 — нагрузочное приспособление; 2 — упор; 3 — анкер; 4 — аутригер; 5 — рычаг с динамометром; 6 — динамометр; 7 — поворотное кольцо

на трение породы по кольцу M_T . Затем на том же месте снова вдавливают кольцо в породу и повторяют срез при вертикальном давлении P'' , фиксируя M'_0 .

Момент, реализуемый на круговой срез при нормальном давлении P' , будет

$$M'_k = M'_0 - M_T.$$

Параметры прочности находят по формулам

$$c = \frac{M''_k P' - M'_k P''}{B(P' - P'')}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{A(M'_k - M''_k)}{d(P' - P'')},$$

где M'_k и M''_k — моменты, затрачиваемые на круговой срез при нормальных давлениях соответственно P' и P'' ; B — постоянная поворотного кольца, равная $\frac{\pi d^3}{16}$ при хрупком типе разрушения и $\frac{\pi d^3}{12}$ — при пластичном типе; d — диаметр кольца; A — коэффициент, равный 4 при хрупко- и хрупкопластическом типах разрушения и 3 — при пластическом типе разрушения.

Обрушение целиков пород. Схема установки для обрушения целиков породы в шурфах приведена на рис. 42. После обрушения целика в масштабе 1/5 или 1/10 строится кривая обрушения. Целик разбивается на блоки, после чего составляется уравнение равновесия.

Аналогично строится кривая обрушения для второго обрушенного целика породы (рис. 43). В результате двух испытаний получают систему уравнений

$$\sum_1^n T = \sum_1^n Nf + cA_1,$$

$$\sum_1^n T = \sum_1^n Nf + cA_2,$$

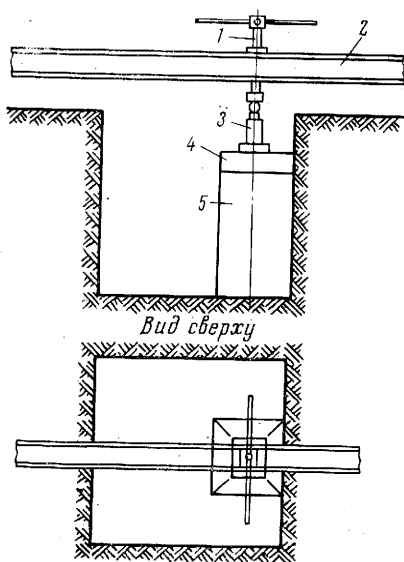


Рис. 42. Схема установки для обрушения целика в шурфе:

1 — нажимной винт; 2 — упорная балка;
3 — динамометр; 4 — штамп; 5 — целик породы

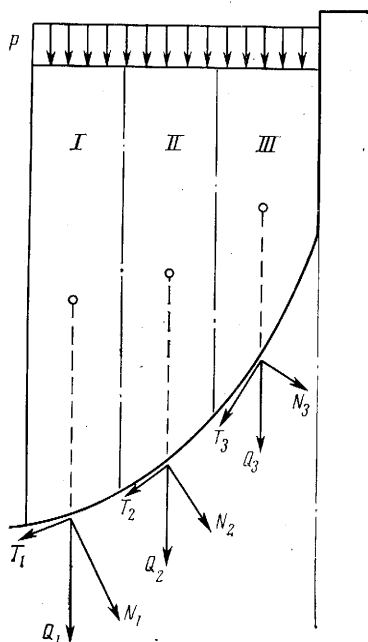


Рис. 43. Схема усилий, развивающихся при обрушении призмы грунта

где N — нормальное давление; T — сдвигающее усилие; f — коэффициент внутреннего трения; c — сцепление; A_1 и A_2 — площади поверхностей скольжения первого и второго целиков.

Решая систему уравнений, получаем значения параметров прочности c и $f = \operatorname{tg} \varphi$.

Обрушение и сдвиг призм пород (метод ВНИМИ). Обрушение и сдвиг призм пород размером $50 \times 50 \times 70$ см в зависимости от цели испытаний можно производить по плоскости напластования, нормально к ней или под различными углами. Для проведения испытаний в породе делают прорез, в который вкладывают плоский домкрат. Нагрузку P , передаваемую домкратом на плоскость среза, определяют по формуле

$$P = Dst + \Delta P, H,$$

где D — удельное давление жидкости в домкрате при срезе, МПа; s — рабочая плоскость цилиндра домкрата, см²; t — коэффициент передачи давления, определяемый при тарировке домкрата; ΔP — поправка за счет массы призмы и домкрата, Н.

Сцепление c по плоскости среза (обрушения) призмы определяют по формуле

$$c = \frac{P}{F} (\sin \alpha - \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi),$$

где F — площадь среза, см²; α — угол между плоскостью плиты домкрата и плоскостью среза; φ — угол внутреннего трения породы по плоскости среза (определяется методом одноплоскостного среза в лабораторных условиях).

Обычно в поле проводят два-три испытания, по результатам которых составляют график зависимости сдвигающего усилия от величины нормального давления.

Раздавливание целиков применяется при исследованиях глинистых пород.

Техническая характеристика испытаний

Форма и размеры призмы в горизонтальном сечении	Квадрат* со стороной не менее 30×30 или 40×40 см
Отношение высоты призмы к ширине	Не менее 1,5
Нагрузка на призму	До $30-50$ кН
Средняя величина ступени нагрузки	$0,01-0,02$ МПа
Среднее время приложения одной ступени нагрузки	20 мин

Удельное сопротивление сдвигу τ (МПа) вычисляют по формуле

$$\tau = \frac{P}{2F},$$

где P — максимальная нагрузка, отмеченная при испытаниях (разрушающая нагрузка), Н; F — площадь призмы, см².

При пластическом типе разрушения призмы угол внутреннего трения принимается равной нулю, а $c = \tau$. Если наблюдается хрупко-пластическое разрушение призмы породы, то измеряют углы между горизонтальной плоскостью и плоскостями скольжения, образовавшимися при раздавливании призмы (α). Показатели сдвига вычисляют по следующим формулам:

$$\varphi = 2\alpha - 90^\circ; c = \frac{P}{2F} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)}.$$

Для получения достоверных значений показателей проводят несколько раздавливаний (три-четыре) и подсчитывают средние значения c и φ . Результаты испытаний записывают в журнал следующей формы (табл. 65).

* Сторона квадрата должна в 5—6 раз превышать наибольший размер крупных включений.

Форма записи результатов испытаний

Номер вы- работки	Краткое описание породы	Отметка верха призмы	Размеры призмы, см		Площадь штампа F , см ²	Разру- шающая нагрузка P , Н	Удельное сопро- тивление, МПа	При- меча- ния
			Высо- та	Шири- на				
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Срез монолитов на стендовых установках. Схема одной из подобных установок приведена на рис. 44. На монолит породы ставят обойму, круглую или прямоугольную в зависимости от конструкции стенда, и монолит осторожно подрезают по ее размерам. После того как обойма надета, торцевые поверхности монолита выравнивают и зачищают; затем обойму устанавливают в прибор. Методика проведения испытаний по схеме быстрого сдвига принципиально не отличается от методики лабораторных испытаний на срезных приборах. Выполняется три — четыре испытания при различных вертикальных нагрузках, по их результатам строят диаграмму сдвига, по которой определяют показатели ϕ и c .

Крыльчатое зондирование применяется для изучения сжимаемости и прочности иловатых и пластичных глинистых пород, не содержащих крупных включений и залегающих на глубине до 20 м. Схема крыльчатого зонда приведена на рис. 45.

Рабочим наконечником служит крыльчатка, состоящая обычно из 4-х лопастей, которую вдавливают в испытуемый грунт, а затем поворачивают. При повороте крыльчатки измеряют приложенный крутящий момент — M и угол

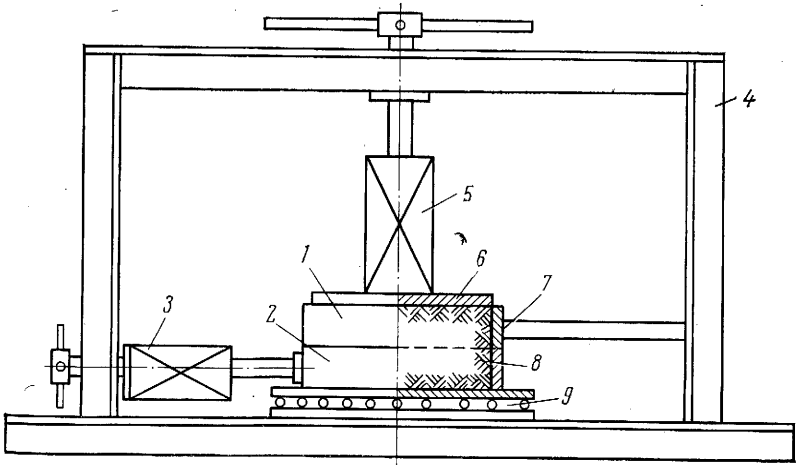


Рис. 44. Схема полевого прибора для испытаний на срез (прибор конструкции Днепропетровского института инженеров транспорта, ДИИТ):

1 — верхняя неподвижная обойма; 2 — нижняя подвижная обойма; 3 — горизонтальный домкрат с динамометром; 4 — упорная силовая рама; 5 — вертикальный домкрат с динамометром; 6 — штамп; 7 — упор для неподвижной обоймы; 8 — монолит грунта; 9 — плоская обойма с шариками

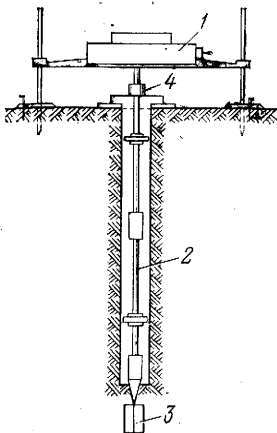


Рис. 45. Схема крыльчатого зонда конструкции УИГС-ЦНИИС-2:

1 — операционный столик;
2 — штанги; 3 — крыльчатый наконечник; 4 — подвеска

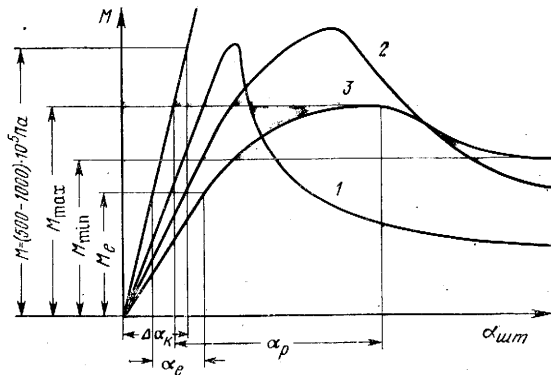


Рис. 46. Графики лопастных испытаний при срезе грунта: 1 — по хрупкому типу; 2 — по хрупко-пластичному типу; 3 — по пластичному типу

поворота верхнего конца штанг $\alpha_{шт}$. По результатам измерений строят график $M = f(\alpha_{шт})$ (рис. 46). По графику устанавливают: крутящий момент M_e и угол α_e , соответствующие пределу пропорциональных деформаций; крутящий момент M_{max} и угол α_p , соответствующие состоянию среза грунта; крутящий момент M_α после поворота крыльчатки на 90° при медленном ее повороте (с угловой скоростью 0,1—0,2 град/с) и крутящий момент M_{min} , соответствующий состоянию быстрого вращения (с угловой скоростью 5/10 градус/с) срезанной части грунта в массиве. Для получения углов поворота α_e и α_p строят поправочную прямую, выражающую зависимость угла закручивания штанг и стержня крыльчатки $\Delta\alpha_k$ от приложенного крутящего момента M .

Отношение величины сопротивления сдвигу породы с ненарушенной структурой (τ_s) к величине сопротивления сдвигу породы, перемятой лопастями крыльчатки (τ_ϕ), называют коэффициентом структурности, или чувствительностью глин. Величину, обратную этому коэффициенту, называют показателем структурной прочности (L), по ее значениям глинистые породы подразделяются на четыре группы (табл. 66).

Модуль деформации породы E определяют по формулам.

1. Формула Г. К. Бондарика

$$E = 3\omega(1 - \mu^2) \frac{M_e - \tau_e dl(2h + 0,5d)}{d^2hl} \cdot \sqrt{\frac{dh}{\varepsilon}},$$

где ω — коэффициент, зависящий от соотношения высоты крыльчатки и ширины ее лопастей (при $h = 2d$; $\omega = 0,85$); μ — коэффициент Пуассона (для глин $\mu = 0,42$); M_e — крутящий момент в первый момент приложения силы, когда угол поворота лопастей близок к нулю, а усилие затрачивается в основном на сжатие грунта, Н·м; τ_e — удельное сопротивление сдвигу, МПа; d — диаметр цилиндра, по образующей которого происходит срез (двойная ширина лопасти), см; h — высота лопасти крыльчатки, см; l — величина перемещения лопасти, см ($l = \alpha_e \frac{d}{2}$).

Классификация глинистых пород по прочности
структурных связей (по Г. К. Бондарнику)

Значение показателя структурной прочности	Прочность структурных связей	Значение показателя структурной прочности	Прочность структурных связей
$L = 1$	Отсутствует	$0,5 > L > 0,2$	Средняя
$1 > L > 0,5$	Низкая	$0,2 > L \geq 0$	Высокая

Таблица 67

Формула для расчета параметров прочности c и φ
(по Г. П. Корчагину)

Тип разрушения породы	
Хрупкий и хрупко-пластичный	Пластичный
$\operatorname{tg} \varphi = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 + 4A}}{2A},$ $A = -0,5 \frac{P_b}{\tau_{\min}} + 2, \quad B = \frac{P_b}{\tau_{\min}} - 1,$ <p>где $\tau_{\min} = \frac{M_{\min}}{\frac{\pi d^2 h}{2} \left(1 + \frac{d}{3h}\right)} = \frac{M_{\min}^*}{3,67d^3};$</p> $\tau_s = \frac{M_{\max}}{\frac{\pi d^2 h}{2} \left(1 + \frac{d}{3h}\right)} = \frac{M_{\max}^*}{3,67d^3};$ $c = [(m_\alpha - 1) + (1 - L)(1 - \operatorname{tg} \varphi)] \tau_s;$ $m_\alpha = \frac{1 - \frac{\alpha_p}{90} \cdot L_p}{1 - \frac{\alpha_p}{90}}, \text{ где}$	$\cos \varphi = \sqrt{m_\alpha} \cdot \cos \alpha_p,$ $c = \tau_c - \sigma_c \cdot \operatorname{tg} \varphi,$ <p>где $\tau_c = m_\alpha \cdot \tau_s,$ $\sigma_c = \tau_c n_c + \xi P_b,$</p> $n_c = \frac{1,57 - 0,0175 \alpha_p}{\cos^2 \alpha_p - \operatorname{tg} \alpha_p}$ <p>ξ — коэффициент бокового давления</p>

L_p — показатель структурной прочности хрупких связей $L_p = \frac{M_\alpha}{M_{\max}}$;

L — показатель структурной прочности (по Г. К. Бондарнику) $L = \frac{M_{\min}}{M_{\max}}$

* Для крыльчатки с параметрами $h = 2d$.

Учитывая, что в большинстве крыльчаток $h = 2d$, формулу можно привести к виду:

$$E = 1,5\omega (1 - \mu^2) \frac{M_e - \tau_e d^2 l}{d^2 l}.$$

2. Формула Г. П. Корчагина

$$E = K_E (1 - \mu^2) \frac{M_e}{\alpha_e},$$

где K_E — коэффициент, зависящий от параметров крыльчатки; α_e — угол поворота крыльчатки, градусы; K_E для четырехлопастной крыльчатки равен $\frac{244\omega}{d^2 \sqrt{dh}}$ (ω — коэффициент формы, зависящий от соотношения h и d ; при $h = 2d$ $\omega = 0,85$).

Формулы для расчета параметров прочности s и ϕ по данным испытаний пород четырехлопастной крыльчатки приведены в табл. 67.

Глубину погружения крыльчатки ниже забоя скважины определяют по формулам:

для грунтов средней и повышенной прочности ($\tau_s > 0,03$ МПа)

$$s = 0,3 + h, \text{ м};$$

для слабых грунтов

$$s = 0,5 + h, \text{ м},$$

где s — глубина погружения нижнего обреза крыльчатки от забоя; h — высота крыльчатки.

Для контроля получаемых результатов испытания пород каждого слоя проводят дважды — через 1 м в слабых грунтах и через 0,5 м — в прочных. Результаты опытов записывают в журнал следующей формы (табл. 68).

Дата	Номер опыта
Объект (участок) и его местоположение Тип и номер выработки	Абсолютная отметка устья выработки
Способ проходки выработки Описание испытываемой породы	Абсолютная отметка глубины испытаний
Размеры крыльчатки ($d \times h$) Глубина погружения крыльчатки Глубина испытаний	Тип лопастного прибора
Масштаб регистрации крутящих моментов (номер пружины)	
Масштаб регистрации углов поворота	

Т а б л и ц а 68

Форма записи результатов испытаний

Номера измерений	Отсчет по индикатору усилий	Крутящий момент, Н·см	Отсчет по индикатору углов поворота	Угол поворота конца штанг, градус	Примечания *

* Указывают размеры штанг и стержня крыльчатки, уравнение поправочной прямой, условия проведения испытаний, способ погружения крыльчатки, скорость вращения штанг, время окончания проходки выработки и проведения опыта, погоду.

VII. ДИНАМИЧЕСКОЕ И СТАТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Метод основан на том, что горные породы в зависимости от их состава, состояния и свойств оказывают различное сопротивление прониканию режущего профиля — наконечника зонда; он применяется для исследований песчано-глинистых пород.

По способу погружения зонда в породу различают динамическую и статическую модификации метода. При динамическом зондировании зонд погружают ударами молота, при статическом — вдавливают с помощью тех или иных приспособлений.

Динамическое зондирование. Сопротивление, оказываемое породой внедрению в нее забивного зонда, называется динамическим сопротивлением пенетрации. Величина его складывается из сопротивления породы забивке наконечника и из сил трения между боковой поверхностью зонда и породой.

Динамическое сопротивление пенетрации выражают в виде: а) некоторой относительной величины — числа стандартных ударов молота, необходимого для погружения зонда в породу на единицу длины (N); б) силы, оказывающей ударное воздействие на породу и сообщающей ей силовой импульс (R).

В первом случае в качестве показателя пенетрации используют число ударов молота, необходимое для погружения зонда на 10 см:

$$N = 10 \frac{n}{s},$$

где n — число ударов в залоге; s — осадка зонда от залога.

Величина N нуждается в поправках, учитывающих увеличение массы зонда с глубиной в результате наращивания штанг и возрастания трения по боковой поверхности зонда. С учетом поправок формула для вычисления числа ударов приобретает вид

$$N_1 = 10 \cdot \frac{n}{s} \frac{1}{\alpha + \beta - 1},$$

где N_1 — исправленное число ударов; α — поправка на трение; β — поправка на увеличение силы тяжести зонда с глубиной (табл. 69).

В соответствии с положениями инструкции РСН-32—70 Госстроя РСФСР рекомендуется определять исправленное число ударов по формуле

$$N_1 = N \cdot k,$$

где k — коэффициент, учитывающий приращение массы зонда и трение штанги о породу с глубиной (принимается по табл. 70 или по номограмме — рис. 47).

Интенсивность динамического сопротивления пенетрации, т. е. сила, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения наконечника, называется удельным динамическим сопротивлением пенетрации.

1. Формула Г. К. Бондарика и М. И. Войцеховского для вычисления удельного динамического сопротивления пенетрации песчано-глинистых пород с учетом и без учета влияния трения по боковой поверхности зонда:

$$\omega = \frac{P_1 H}{\left(1 + \frac{P_2}{P_1}\right) \pi r^2 S} + \frac{P_1 + P_2}{\pi r^2} - \frac{F}{\pi r^2},$$

где ω — удельное динамическое сопротивление пенетрации, МПа; P_1 — сила тяжести молота, Н; P_2 — сила тяжести зонда, Н; H — высота падения молота, м; r — радиус зонда, м; S — осадка зонда от одного удара, м; F — трение по боковой поверхности зонда, Н (учитывается при зондировании пластичных, глинистых и водонасыщенных песчаных грунтов).

2. Формула Р. Хейфели, Г. Амберга и А. Мооса

$$R = \frac{nPH}{S} + (P + Q),$$

Значения коэффициентов α и β для песчаных пород (по В. А. Дуранте)

Номер интервала	Глубина зондирования, м	Интервал глубины зондирования, м	Фактическое число ударов молота в залоге, n	Влияние трения		Влияние силы тяжести зонда		Совместное влияние силы тяжести зонда и трения	
				поправочный коэффициент α	исправленное число ударов в залоге $\frac{n}{\alpha}$	Поправочный коэффициент β	Исправленное число ударов в залоге $\frac{n}{\beta}$	Поправочный коэффициент $\alpha + \beta - 1$	Исправленное число ударов в залоге $\frac{n}{\alpha + \beta - 1}$
1	3	0—3	5	1,00	5,0	1,00	5,0	1,00	5,0
2	6	3—6	5	1,13	4,4	1,08	4,6	1,21	4,1
3	9	6—9	5	1,26	4,0	1,17	4,3	1,43	3,7
4	12	9—12	5	1,39	3,6	1,24	4,0	1,63	3,3
5	15	12—15	5	1,51	3,3	1,30	3,8	1,81	2,9
6	18	15—18	5	1,64	3,0	1,37	3,6	2,01	2,6
7	21	18—21	5	1,77	2,8	1,42	3,5	2,19	2,4

Значения коэффициента k

Таблица 70

Интервал глубины зондирования, м	1,0—1,5	1,5—3,0	3,0—4,5	4,5—6,0	6,0—7,5	7,5—9,0	9,0—10,5
k	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{0,92}{0,98}$	$\frac{0,84}{0,94}$	$\frac{0,79}{0,93}$	$\frac{0,73}{0,90}$	$\frac{0,69}{0,88}$	$\frac{0,65}{0,86}$
Интервалы глубины зондирования, м	10,5—12,0	12,0—13,5	13,5—15,0	15,0—16,5	16,5—18,0	18,0—19,5	19,5—21,0
k	$\frac{0,62}{0,84}$	$\frac{0,59}{0,83}$	$\frac{0,56}{0,82}$	$\frac{0,54}{0,81}$	$\frac{0,51}{0,79}$	$\frac{0,49}{0,78}$	$\frac{0,47}{0,77}$

Примечание. В знаменателе даны значения коэффициента, учитывающего только приращение массы зонда, которые используют в случае отсутствия трения по боковой поверхности зонда.

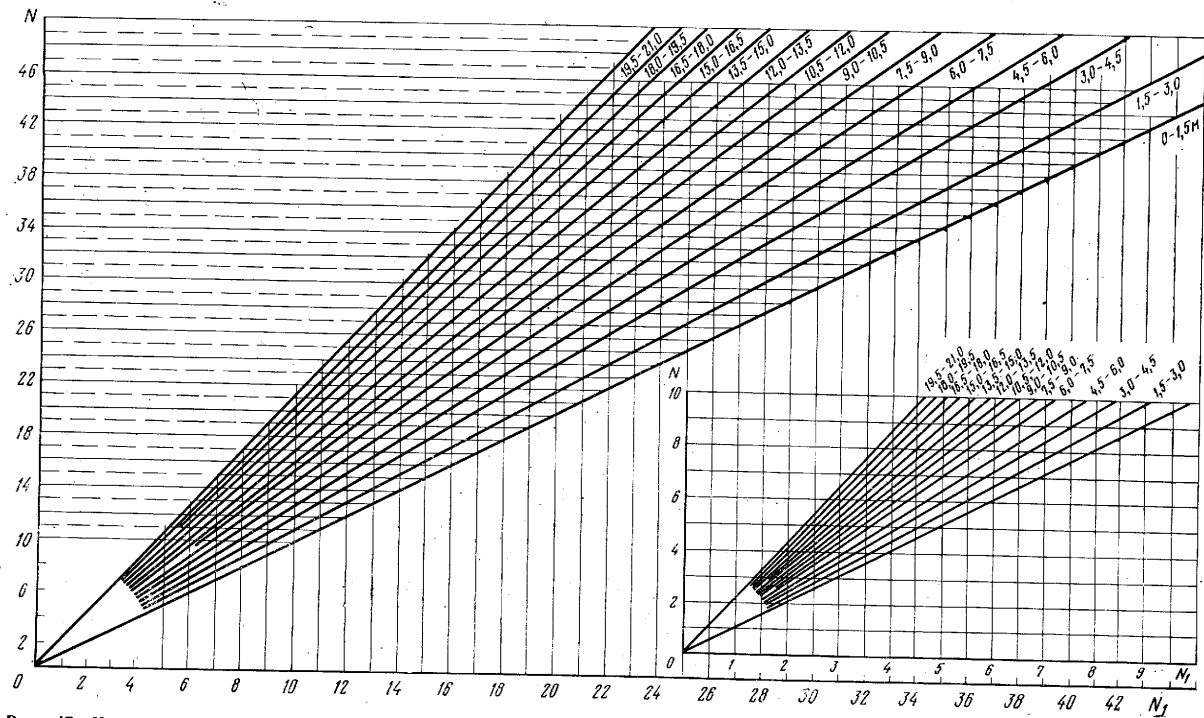


Рис. 47. Номограмма для определения приведенного числа ударов по глубине с учетом поправки на изменения массы зонда и трения

где R — динамическое сопротивление пенетрации, МПа; P — сила тяжести молота, Н; H — высота падения молота, м; Q — сила тяжести зонда, Н; n_1 — число ударов в залоге; S_1 — осадка от залога, м.

3. Формулы для подсчета удельного динамического сопротивления пенетрации для случая отсутствия трения и небольшой глубины зондирования (до 7 м), когда массой зона можно пренебречь, имеют следующий вид:

$$\omega = \frac{N}{10} \cdot \frac{PH}{F} \quad \text{и} \quad \omega = \frac{PHn}{F\Sigma S} \quad \text{МПа}^*.$$

где n — число ударов молота при зондировании литологически однородного слоя пород в пределах некоторого интервала глубины; ΣS — суммарная осадка зонда от n ударов; F — площадь поперечного сечения наконечника.

Результаты зондирования обычно выражают в графической форме. По абсциссе откладывают динамическое сопротивление пенетрации (N_1 или R или $\Sigma N_1 (R)$) или удельное динамическое сопротивление пенетрации (ω), а по оси ординат — глубину погружения зонда. Кривая или ломаная линия, соединяющая экспериментальные точки графика зондирования на некотором расстоянии от оси ординат, соответствующем среднему значению сопротивления в этом интервале, называется **индикаторной линией**.

* Предложены соответственно А. М. Ароновым и Г. К. Бондариком, условные обозначения унифицированы.

Т а б л и ц а 71

Безразмерный коэффициент (по С. А. Шашкову)

Значения n	Песок
14—16	Гравелистый, крупный и средней крупности природного сложения (независимо от влажности)
10—12	Мелкий, маловлажный природного сложения
6—8	Мелкий, водонасыщенный природного сложения
8—10	Пылеватый, маловлажный
5—6	Пылеватый, очень влажный
3—4	Пылеватый, водонасыщенный

Т а б л и ц а 72

Классификация лёссовых пород по ω

Лёссовые породы	Глины, тяжелые и средние суглинки в пластичном состоянии	Легкие пластичные суглинки, средние и тяжелые суглинки в полутвердом состоянии, глины в твердом состоянии	Супеси и суглинки в твердом состоянии
Сопротивление пенетрации ω , МПа	До 2	От 2 до 3	Более 3

Для определения порядка значений модуля деформации песчаных пород можно использовать эмпирическую формулу

$$E = n \cdot \omega,$$

где ω — удельное динамическое сопротивление пенетрации; n — безразмерный коэффициент, принимаемый по табл. 71.

Г. К. Бондарик следующим образом классифицирует лёссовые породы (табл. 72).

В табл. 73, 74, 75 приводятся различные классификации плотности песков.

При установлении геологического разреза по данным зондирования используют различные способы. Для выделения однородных слоев и определения среднего значения показателя пенетрации (N или R) удобно применять способ палетки. Палетка показана на рис. 48. Накладывая палетку на график накопленных сумм показателя пенетрации вида $\sum (R \text{ или } N)$ — функция глубины, можно расчленить разрез на слои. Слой считается однородным со средним значением показателя R_{k_i} , если характеризующий его график накопленных сумм показателя пенетрации лежит между соответствующей парой параллельных прямых палетки. Точка выхода графика за пределы зоны R_{k_i} является границей однородного слоя. Эта точка при последующем наложении палетки принимается за начало графика зондирования. При построении палетки все величины берутся в масштабе графика зондирования.

Статическое зондирование применяют для определения показателей свойств пород и расчленения разреза рыхлых пород на слои. Сопротивление, оказываемое породой вдавливанию зонда, называется общим сопротивлением пенетрации. Часть общего сопротивления, обусловленная воздействием сил реакции грунта на внедрение наконечника,

Т а б л и ц а 73

Классификация песчаных пород по числу ударов на 10 см погружения зонда (по РСН 32—70)

Фракция песков	Исправленное число ударов N_1	Плотность	Граничные значения коэффициента пористости ϵ
Крупные и средней крупности	Менее 7	Рыхлые Средней плотности Плотные	Более 0,70 0,70—0,55 Менее 0,55
	7—20		
Мелкие	Более 20	Рыхлые Средней плотности Плотные	Более 0,75 0,75—0,60 Менее 0,60
	Менее 4		
Пылеватые, водонасыщенные	4—15	Рыхлые Средней плотности Плотные	Более 0,80 0,80—0,60 Менее 0,60
	Более 15		

Примечание. Определение коэффициента пористости по N_1 путем интерполяции граничных значений ϵ не допускается.

Классификация разнозернистых флювиогляциальных песков по числу ударов на 10 см погружения забивного зонда (по Г. К. Бондарьку)

Плотность песка, г/см ³	Характеристика	Плотные	Средней плотности	Рыхлые
2,63	Число ударов	Более 9,2	0,4—9,2	Менее 0,4
	Коэффициент пористости	Менее 0,55	0,55—0,70	Более 0,70
2,64	Число ударов	Более 9,4	0,7—9,4	Менее 0,7
	Коэффициент пористости	Менее 0,55	0,55—0,70	Более 0,70
2,65	Число ударов	Более 9,6	0,9—9,6	Менее 0,9
	Коэффициент пористости	Менее 0,55	0,55—0,70	Более 0,70

Т а б л и ц а 75

Классификация песков по величине удельного динамического сопротивления пенетрации (по И. Оде)

Удельное динамическое сопротивление пенетрации, МПа	Менее 2,5	2,5—5,0	5,0—10,0	10,0—20,0	20,0—40,0
Относительная плотность сложения породы	Очень рыхлое	Рыхлое	От рыхлого до средней плотности	Плотное	Очень плотное

Классификация песчаных пород по величине
удельного статического сопротивления пенетрации (по РСН-33—70)

Пески	Удельное статическое сопротивление пенетрации q , МПа	Плотность	Граничные значения коэффициента пористости e
Крупные и средней крупности	Менее 5,0	Рыхлые Средней плотности Плотные	Более 0,70 0,70—0,55 Менее 0,55
	5,0—15,0		
Мелкие	Менее 3,0	Рыхлые Средней плотности Плотные	Более 0,75 0,75—0,60 Менее 0,60
	3,0—10,0		
Пылеватые неводонасыщенные	Менее 3,0	Рыхлые Средней плотности Плотные	Более 0,80 0,80—0,60 Менее 0,60
	3,0—10,0		
Пылеватые водонасыщенные	Менее 1,5	Рыхлые Средней плотности Плотные	Более 0,80 0,80—0,60 Менее 0,60
	1,5—6,0		
	Более 6,0		

Примечание. Определение e по q путем интерполяции граничных значений не допускается.

Таблица 77

Зависимость нормативного давления
от удельного статического сопротивления пенетрации

q , МПа	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
R^H , МПа	0,12	0,17	0,23	0,3	0,35

Примечание. При промежуточных значениях q допускается определять R^H по линейной интерполяции.

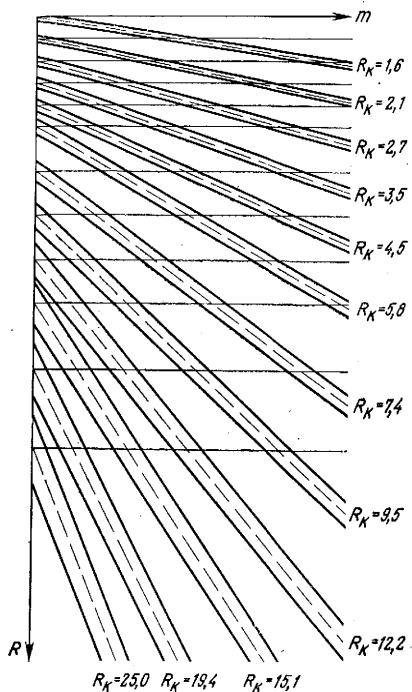


Рис. 48. Палетки для интерпретации результатов скоростных испытаний по графику вида $\Sigma R - f(m)$.

Вероятности ошибок $\alpha = \beta = 0,2$; относительная точность среднего $\rho = 0,1$

представляет собой статическое сопротивление пенетрации (Q). Вторая часть общего сопротивления трения, развивающихся при вдавливании зонда между его боковой поверхностью и породой. Суммарная величина этих сил называется трением по боковой поверхности зонда. Статическое сопротивление пенетрации выражается в ньютонах; интенсивность статического сопротивления пенетрации, т. е. сила, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения наконечника зонда, называется удельным статическим сопротивлением пенетрации q , МПа. По величине q пески классифицируют по плотности (табл. 76).

Эмпирическая формула де-Беера для подсчета модуля деформации песков имеет вид

$$E = 1,5q,$$

где q — удельное статическое сопротивление пенетрации.

РСН-33—70 рекомендуется устанавливать нормативное давление R^H по величине удельного статического сопротивления пенетрации (табл. 77).

Несущую способность свай по данным статического зондирования определяют в соответствии с п. 6.4. СНиП. II-Б.5—67 «Свайные фундаменты».

VIII. ПОЛЕВОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ

Давление, возникающее в жидкой и газообразной фазах грунта при приложении к нему внешней нагрузки, называется поровым. При определении прочности глинистых пород необходимо учитывать поровое давление, которое входит в уравнение прочности в соответствии с принципом эффективных напряжений К. Терцаги:

$$\tau = (\sigma - U) \operatorname{tg} \varphi' + c',$$

где τ — сдвигающее усилие; σ — нормальное давление; U — поровое давление; $\operatorname{tg} \varphi'$ — эффективный коэффициент внутреннего трения; c' — эффективное сцепление.

При увеличении порового давления снижается эффективное напряжение $(\sigma - U)$ и, следовательно, прочность грунта.

Поровое давление измеряют в теле земляных сооружений или в грунтовых основаниях сооружений при их строительстве и в начальный период эксплуатации, когда избыточное поровое давление не рассеялось, а прочность пород понижена.

Для измерения порового давления в полевых условиях применяются: пьезометры, пьезоманометры, приборы с дистанционными манометрами и приборы с электродинамометрами разных типов. Эти приборы закладывают в шурф или

Характеристика приборов для определения порового давления

Название и конструкция прибора	Материал фильтра	Тип датчика	Точность измерения порового давления, Па	Расход воды, см ³ Давление, МПа
Прибор с дистанционным манометром Днепропетровского института инженеров транспорта (ДИИТ) *	Пористый камень	Дистанционный манометр с сильфоном	$0,1 \cdot 10^5$	—
Прибор конструкции ДИИТ с индуктивным датчиком **	То же	Индуктивный дифференциальный	—	—
Прибор со струнным датчиком конструкции Гидропроекта **	Кварцевый песок, склеенный бакелитовым лаком, на латунной сетке	Струнный тензометр	100	$\frac{0,04}{0,3}$
Приборы конструкции ВНИИГ им. Веденеева типа ПТН-1, ПТН-2, ПТН-3 **	Стекловолокно, стеклолата на латунной сетке	Струнный тензометр ДГС-118	$2 \cdot 10^3$	$\frac{0,01}{0,1}$
Прибор с масляным дистанционным манометрическим датчиком Шведского геотехнического института **	Карборундовый камень	Диафрагменный датчик, соединенный с масляным манометром	$2 \cdot 10^3$	—

* Замеряется только положительное поровое давление.

** Замеряется положительное и отрицательное поровое давление.

в скважину, пройденную в основании сооружения или непосредственно в грунт при отсыпке земляного сооружения. Некоторые приборы задаливают в породу. Основные сведения о некоторых конструкциях полевых приборов для измерения порового давления приведены в табл. 78.

Полевое определение объемной массы грубообломочных пород, содержащих крупные включения. Определение объемной массы песчано-глинистых пород с крупными включениями, а также гравийно-галечниковых пород производится с помощью мерного куба. Для определения объемной массы используют следующее оборудование: 1) весы технические грузоподъемностью до 500 Н; 2) мерный куб с ребром 20—30 см — ящик с одной стенкой из плексигласа, на которой нанесена шкала объемов; 3) совок.

Работы по определению объемной массы проводят в определенной последовательности.

1. Отрывают шурфик сечением 25×25 или 35×35 см и глубиной 25—35 см (в зависимости от размеров мерного куба). Извлеченную из шурфа породу взвешивают на технических весах грузоподъемностью до 500 Н с точностью до 1 Н.

2. В мерный куб совком засыпают сухой среднезернистый песок, не содержащий крупных включений. Выравнивают поверхность песка в кубе и по шкале на прозрачной стенке мерного куба отмечают его объем (V_1).

3. Песком из мерного куба выравнивают дно шурфика с таким расчетом, чтобы отметка шкалы, фиксирующая определенный объем, или верхний край куба находились вровень с поверхностью. В шурфик устанавливают мерный куб и пазухи засыпают песком из куба. Песок засыпают совком. Линейкой выравнивают поверхность песка, оставшегося в мерном кубе.

4. Извлекают куб из шурфика и отмечают объем оставшегося песка (V_2).

5. Объем шурфика определяют суммированием объемов мерного куба (V_0) и песка, отсыпанного на дно шурфика и в пазухи между мерным кубом и стенками шурфика ($V_1 - V_2$):

$$V = V_0 + (V_1 - V_2).$$

Если мерный куб был установлен в шурфике так, что его верхний край выдавался над поверхностью, то за V_0 принимают объем части мерного куба, фиксируемый по отметке шкалы, находящейся вровень с поверхностью.

6. Объемную массу породы определяют по формуле

$$\Delta = \frac{P}{V_0 + (V_1 - V_2)}.$$

7. Результаты полевых определений объемной массы записывают в журнал.

IX. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Инженерная геофизика в настоящее время — один из самостоятельных и в значительной степени обособившихся разделов разведочной геофизики. Области применения геофизических методов отражены на рис. 49.

Геофизическими методами решаются разнообразные задачи, связанные: 1) с созданием геометрической модели условий залегания горных пород в районе исследования; 2) с изучением свойств и состояния горных пород, находящихся между выявленными границами; 3) с определением динамических характеристик и свойств подземных вод в районах исследований; 4) с наблюдениями за изменением свойств и состоянием горных пород и подземных вод с течением времени и процессов деформации ранее созданной горно-геометрической модели в результате техногенной деятельности человека.

Исследования могут вестись: 1) с поверхности земли; 2) в водной среде, на акваториях; 3) в буровых скважинах; 4) в горных выработках; 5) с использованием аэро- и космических методов; 6) в лабораторных условиях на образцах горных пород.

Основными методами инженерной геофизики являются электроразведка и сейсморазведка. Использование гравиразведки и магниторазведки ограничено



Рис. 49. Область применения геофизических методов

решением некоторых частных задач. Методы скважинных исследований, помимо традиционных, разработанных в нефтепромысловой геофизике, включают специальные наблюдения за динамическими параметрами фильтрационных потоков, свойствами и состоянием массивов горных пород.

Все выводы о геологическом строении и гидрогеологических особенностях в районе исследований делаются на основании измерений различных компонентов физических полей. Поскольку геологическая среда крайне неоднородна, должен учитываться так называемый геометрический, или масштабный, фактор. Геометрический фактор определяется в основном соотношением размеров изучаемых аномалообразующих тел и протяженностью базы наблюдений. Некоторые организации выпускают малыми сериями специальные приборы и оборудование для инженерно-геологических исследований.

Геологическая среда непрерывно меняет свое состояние во времени. Это придает большое значение разнесенным во времени наблюдениям. Основным принципом интерпретации результатов режимных наблюдений является корреляция во времени геометрических и физических параметров среды или непосредственно измеряемых величин. На основании такой корреляции дается характеристика физико-геологических и, в том числе инженерно-геологических процессов, приобретаются сведения, необходимые для их прогнозирования.

Взаимосвязь инженерно-геологических характеристик с геофизическими полями и параметрами. Между инженерно-геологическими характеристиками горных пород и параметрами, измеряемыми при геофизических исследованиях, существуют либо функциональные, либо статистические связи.

При сопоставлении данных геофизических исследований с результатами инженерно-геологического опробования большое значение приобретают вопросы масштабности. Сопоставление является корректным только в том случае, если оно относится к равным объемам пород. При этом нужно иметь в виду, что инженерно-геологическое опробование ведется на образцах грунтов или в натуральных условиях на объемах, измеряемых десятками кубических дециметров или первыми кубическими метрами. Эти данные непосредственно могут сравниваться только с геофизическими параметрами, измеряемыми на образцах. При сопоставлении с данными геофизических наблюдений, выполняемых в полевых условиях, должны использоваться данные, характеризующие области геологической среды, адекватные областям геофизического эксперимента. Возможность характеризовать свойства значительных объемов горных пород делая геофизические методы незаменимыми при экстраполяции и интерполяции инженерно-геологических свойств, полученных в отдельных точках традиционными методами.

Изучение геологического строения участка строительства. Задачей, неизменно возникающей при проведении геофизических работ в районах намечаемого строительства, является создание геометрической модели участка исследований.

При изучении вертикальных разрезов используются электрические зондирования (ВЭЗ) на постоянном и переменном токе и сейсморазведка по методу преломленных волн (МПВ).

Зондирования дают возможность определять глубины залегания границ между отложениями, отличающимися по своим электрическим сопротивлениям и

поляризуемости. Выделяются простые, усложненные и сложные геоэлектрические условия. Простые условия соответствуют геологическому разрезу с двумя-тремя пологопадающими плоскими границами при значительной контрастности электрических свойств на этой границе. Мощность слоев с возрастанием глубины увеличивается. В усложненных условиях число выделяемых пластов достигает 5—6 при контрастности свойств, меняющихся по площади. В сложных условиях в разрезе нет четко выраженных пластов. Электрические горизонты слагаются системами геологических тел со сложными границами (например, линзы глин в песчанистых отложениях или, наоборот, линзы песков в глинах). Ярко выражена анизотропия и градиентный характер изменения электрических параметров.

При интерпретации результатов электрических зондирований используются теоретические графики, так называемые палетки, которые сравниваются с наблюдаемыми кривыми. Более объективные результаты дает использование ЭВМ. Для этой цели рядом исследователей составлены программы. В усложненных и сложных условиях результаты интерпретации могут быть неоднозначными. Пределы возможных ошибок снижаются при наличии опорных скважин, с которыми сопоставляются данные электрических зондирований.

При проведении геологического картирования для сокращения числа зондирований применяют менее дорогостоящую разновидность электроразведки—профилирование. Профилирование дает возможность определять главным образом положение резких границ раздела. Этот метод, в частности, широко используется при прослеживании тектонических нарушений и трещиноватых зон. Его используют также для характеристики изменения в плане свойств и состояния четвертичных и коренных отложений.

Сейсморазведка по методу преломленных волн дает возможность определять глубины залеганий границ раздела пород, отличных по своим упругим свойствам. Могут быть выделены те границы, из которых происходит увеличение скоростей распространения сейсмических волн. Принято выделять сильные и слабые преломляющие границы. К сильным границам относятся кровля скальных пород под рыхлыми, кровля мерзлых пород под тальми и граница зоны полного водонасыщения в рыхлых породах. Волны, связанные с сильной преломляющей границей, четко выделяются на записи и данные сейсмических наблюдений надежно интерпретируются. В рыхлых породах в большинстве случаев приходится иметь дело со слабыми преломляющими границами. В этих условиях интерпретация результатов наблюдений встречает значительные трудности. При инверсии скоростей, т. е. в случае, когда скорости уменьшаются с глубиной, надежная интерпретация становится невозможной.

При изучении разрезов донных отложений в пределах акваторий используются сейсмоакустические наблюдения основанные на получении отражений от границ раздела. Наблюдения осуществляются в процессе перемещения катера или других плавсредств. Представляется возможным выделять тонкие пласты, находящиеся на значительной (десятки метров) глубине. При проведении сейсмических исследований на суше и акваториях одновременно изучаются как вертикальные, так и горизонтальные разрезы.

Гидрогеологические исследования. При инженерно-гидрогеологических исследованиях геофизические методы используются для оценки водно-физических свойств горных пород, определения условий залегания подземных вод, изучения их динамики и минерализации.

Условия залегания подземных вод изучаются методами электроразведки и сейсморазведки. В рыхлых и трещиноватых скальных породах глубина залегания грунтовых вод определяется по данным электрических зондирований методом сопротивления (ρ_k) и методом вызванных потенциалов (η_k). Удельное электрическое сопротивление в области полного водонасыщения ниже, чем в зоне аэрации, это дает возможность по спаду кривой ρ_k устанавливать глубину этой границы. Напротив, вызванные потенциалы в зоне полного водонасыщения выше, чем в зоне аэрации, и уровень грунтовых вод определяется по подъему кривой η_k . Для той же цели с успехом используется сейсморазведка по методу преломленных волн. На границе между зоной аэрации и зоной полного водонасыщения в рыхлых отложениях происходит увеличение скорости распространения продольных упругих

волн (в 1,3—1,4 раза). В то же время скорости поперечных волн практически не меняются.

При изучении динамики подземных вод применяются различные методы электроразведки и скважинные геофизические методы. Наблюдения за электрическими полями фильтрационного происхождения позволяют проследивать неглубоко залегающие водные потоки, определять места интенсивной инфильтрации (отрицательные аномалии) и места разгрузки подземных вод (положительные аномалии). В районах развития многолетней мерзлоты участки разгрузки подмерзлотных и межмерзлотных вод отмечаются пониженными сопротивлениями поверхностных вод.

При наличии необсаженных или обсаженных, но снабженных фильтрами буровых скважин, направление и скорость водных потоков определяются методом заряженного тела. При этом в ствол буровой скважины вводится электролит (поваренная соль). Наблюдения на поверхности земли дают возможность определять смещение электролита в горных породах, что и характеризует динамические параметры.

Наблюдения за уменьшением сопротивления электролита в стволе буровой скважины позволяют также определять скорость фильтрации. Существует также ряд приемов оценки скорости движения воды в стволе буровой скважины.

Определение границ между подземными водами различной минерализации ведется методами электрического зондирования и профилирования. Этими способами выявляются линзы пресных вод среди минерализованных в аридных областях и картируется внедрение соленых вод вблизи морских берегов. Разнесенные во времени наблюдения позволяют изучать перемещение этих границ в результате природных процессов или деятельности человека.

Изучение физико-геологических явлений. Геофизические методы широко используются для изучения карста, оползней и многолетней мерзлоты. При решении вопросов, связанных с изучением карста, геофизические наблюдения выполняются как с поверхности земли, так и в буровых скважинах и в различных горных выработках. В отдельных случаях датчики и приемники располагаются в крупных карстовых полостях.

По своим физическим свойствам карстующиеся породы, как правило, отличаются от окружающих геологических образований. Наибольший практический интерес представляют удельное электрическое сопротивление, плотность и скорость распространения продольных сейсмических волн.

Различие физических параметров вмещающих и растворимых пород позволяет определять их распространение по площади и характеризовать условия залегания.

Поверхностные карстовые нарушения заполняются обычно различными генетическими типами континентальных образований, физические свойства которых меняются в очень широких пределах. В большинстве случаев эти свойства заметно отличаются от соответствующих свойств коренных пород. Заполнителем подземных карстовых полостей может быть воздух, вода и различного рода субтерральные отложения. В зоне аэрации воздух, сухой песок и лед дают высокие показатели сопротивлений, в то время как в области насыщения вода и практически весь кольматирующий заполнитель характеризуются пониженными сопротивлениями. Скорости продольных сейсмических волн заполнителя как в зоне аэрации, так и насыщения ниже, чем во вмещающих породах. Соотношение плотностей таково, что заполнитель характеризуется дефицитом этого параметра по отношению к окружающей среде.

Реакция физических полей на карстовые нарушения определяется в основном тремя факторами: 1) различием физических свойств заполнителя карстовых нарушений и окружающих пород; 2) размерами нарушения и глубиной его залегания; 3) формой и ориентацией пустот в изучаемом объеме пород. Разнообразие карстовых нарушений требует их классификации по геометрическим признакам и особенностям состава заполнителя. Аномальные эффекты от таких обобщенных и схематизированных объектов оцениваются по результатам аналитических расчетов или же путем экспериментов на моделях.

Наиболее результативным методом при изучении карста является электроразведка (профилирование, зондирование). При самом благоприятном соотно-

шении сопротивлений изометрические карстовые полости могут быть обнаружены в том случае, если их центры залегают на глубине, не превышающей величину двух диаметров. Разрешающая возможность профилирования повышается при выявлении протяженных карстовых полостей как поверхностного, так и глубинного типа. В этом случае открываются возможности корреляции аномалий от профиля к профилю, что повышает достоверность получаемой информации. Во многих случаях над погребенными карстовыми нарушениями располагается область, до некоторой степени измененных пород с нарушенными электрическими свойствами. Эти объемы измененных пород создают дополнительные аномалии, которые обычно усиливают основной аномальный эффект от карстовых нарушений. В результате этого в благоприятных условиях выявляются нарушения, размеры которых значительно меньше тех, которые теоретически могут быть обнаружены.

Простираение трещиноватых закарстованных зон определяется помимо профилирования также с помощью круговых зондирований. Получаемые полярные диаграммы указывают своими большими осями направление, в котором вытянута анизотропная среда, соответствующая крутопадающим трещиноватым зонам.

Предпосылкой применения геофизических методов для изучения оползней служит резкая дифференциация физических свойств пород в теле оползня и в коренном залегании. В табл. 79 приводятся сведения об изменении электрических и сейсмических характеристик пород на оползневых склонах, где $\rho_{кор}$; $VP_{кор}$; $VS_{кор}$; $\alpha P_{кор}$; $\alpha S_{кор}$ — соответственно удельное электрическое сопротивление, скорости продольных и поперечных волн и эффективные коэффициенты затухания продольных и поперечных волн в коренном залегании; $\rho_{оп}$; $VP_{оп}$; $VS_{оп}$; $\alpha P_{оп}$; $\alpha S_{оп}$ — значения тех же параметров в теле оползня.

Контрастность физических свойств оползневых и коренных пород позволяет успешно использовать методы сейсмо- и электроразведки при картировании оползневых отложений, выделении поверхностей скольжения, изучении степени разрушенности пород.

Задачей геофизических исследований при изучении особенностей обводненности оползней является определение уровня грунтовых вод (УГВ), а в случае глинистого разреза — определение степени увлажненности оползневых грунтов в зависимости от сезонных условий. Решение указанной задачи осуществляется комплексом методов. При определении УГВ наиболее эффективны сейсморазведка МПВ и электроразведка методом ВЭЗ. При изучении особенности распределения влажности по площади оползня успешно применяются методы сопротивлений, естественных потенциалов и термометрия с помощью полупроводниковых термометров. В некоторых случаях участки разгрузок грунтовых вод, в пределах которых подготавливаются оползневые деформации, выделяются по увеличению

Таблица 79

Степень изменения электрических и сейсмических характеристик пород в коренном залегании и в теле оползня

Порода	$\rho_{кор}/\rho_{оп}$	$VP_{кор}/VP_{оп}$	$VS_{кор}/VS_{оп}$	$\alpha P_{кор}/\alpha P_{оп}$	$\alpha S_{кор}/\alpha S_{оп}$
Легкий суглинок	1,2—1,3	1,3—1,7	1,1—1,3	0,20—0,25	0,20—0,27
Средний суглинок	1,2—1,3	1,5—2,0	1,1—1,3	0,13—0,22	0,13—0,27
Тяжелый суглинок	1,3—1,4	1,3—1,5	1,1—1,3	0,09—0,17	0,10—0,16
Супеси	1,3—1,5	1,2—1,5	1,1—1,3	0,20—0,25	0,28—0,32
Глины с песком	1,3—1,5	1,2—1,5	1,2—1,3	0,28—0,30	0,34—0,36
Глина	1,5—1,6	1,8—1,9	1,1—1,3	0,10—0,20	0,08—0,18

интенсивности наблюдаемых электрических потенциалов фильтрации. Дешевизна, простота и высокая производительность метода естественных потенциалов позволяют широко использовать его для выполнения режимных наблюдений, которые осуществляются путем измерений, разнесенных во времени. Результаты наблюдений дополняются данными ядерных исследований в скважинах, выполняемых в отдельных точках оползня.

Характер распределения напряжений в массиве при подготовке оползневых смещений находит отражение в изменении прочностных свойств пород и фиксируется измерением скоростей и коэффициентов затухания упругих волн задолго до проявления видимых деформаций.

Наблюдения за положением магнитных реперов, захороненных в буровых скважинах, позволяют определять скорость смещения оползневых накоплений. Фиксируются смещения реперов, превышающие 10—15 см на глубинах до 10 м. При этом используются методы микромагнитной съемки.

С возрастанием льдистости горных пород, т. е. воды, перешедшей в лед, увеличивается электрическое сопротивление и скорость распространения упругих волн. Поскольку льдистость при заданной отрицательной температуре зависит от соотношения количества свободной и связанной воды, электрические и сейсмические свойства породы находятся в тесной зависимости от ее состава, структурных и текстурных особенностей.

В породах с малым содержанием поверхностной воды (песок, гравий, галечник) резкое возрастание электрических сопротивлений и скоростей упругих колебаний отмечаются сразу же при переходе через 0° С. В мерзлых глинах, суглинках и супесях с характерным для них значительным содержанием гигроскопической влаги заметно увеличение этих параметров наблюдается при отрицательной температуре 1—3° С. В массивных скальных породах при отрицательных температурах отмечается сравнительно небольшое возрастание сопротивлений и скоростей сейсмических волн. Мерзлые породы со шлировой структурой имеют более высокие сопротивления и скорости упругих колебаний, чем породы с массивной криогенной структурой.

Для районов развития многолетней мерзлоты характерно: 1) наличие границ, на которых происходит значительное изменение электрических и упругих свойств при переходе пород из талого в мерзлое состояние; 2) сложное блоковое геоэлектрическое и геосейсмическое строение мерзлого массива; 3) нестабильность границ и свойств горных пород во времени, связанное с изменением температурного режима.

При изучении многолетнемерзлых пород нередко возникают задачи определения верхней и нижней границ развития мерзлоты. Для этой цели при исследованиях с поверхности земли используются главным образом методы электрического зондирования. Верхняя поверхность мерзлоты отмечается по крутому подъему кривой зондирования. Та же задача решается методом преломленных волн. По данным сейсмических наблюдений можно также получать качественную инженерно-геологическую характеристику кровли мерзлоты на глубину проникновения в нее преломленной волны.

Нижняя граница мерзлоты прослеживается по правой крутопадающей ветви кривой зондирования. Наиболее благоприятным в литологическом отношении является однородный разрез, который соответствует кривым типам «к». В отдельных случаях зондирования дают возможность выделять в мерзлой толще пластовые талые зоны. Характерная для мерзлых условий инверсия скоростей не позволяет использовать для измерения нижней границы мерзлоты сейсморазведку методом преломленных волн.

При картировании границ распространения многолетней мерзлоты, помимо электрических зондирований, широко используется электрическое профилирование. Профили прокладываются в зависимости от данных ландшафтной съемки. На графиках r_k участки развития мерзлоты выделяются максимумами. Картирование мерзлоты ведется также по температурным наблюдениям, выполняемым с помощью термощупов.

Периодически повторяемые наблюдения с поверхности земли и в буровых скважинах позволяют изучить динамику многолетней мерзлоты. Наиболее точные данные получаются в случае применения стационарно установленных в мерз-

лой толще температурных или электрических датчиков. При достаточно длительных наблюдениях представляется возможным выяснить общие тенденции в развитии мерзлоты.

X. РАДИОИЗОТОПНЫЕ И ПЕНЕТРАЦИОННО-КАРОТАЖНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Немалым достоинством ядерных методов следует считать возможность получения с их помощью непрерывной количественной информации по глубине исследуемого разреза путем применения ядерного каротажа. Это преимущество является особенно важным, если учесть значительную изменчивость свойств пород в разрезе в пределах различных типов отложений.

Ядерные методы можно совмещать с пенетрационными, что обеспечивает проведение инженерно-геологических исследований комплексом методов и позволяет получать информацию о физико-механических свойствах пород и их литологическом строении без бурения скважин.

Метод поглощения гамма-излучения. Сущность метода состоит в том, что гамма-излучение, проходя через вещество, поглощается им в зависимости от массы вещества, заключенного между источником и детектором излучения. При определенных условиях регистрируемая интенсивность проникающей гамма-радиации зависит только от плотности среды. Поскольку метод поглощения гамма-излучения позволяет определять массу вещества, находящегося на пути гамма-лучей, то в этом смысле он эквивалентен весовому способу определения массы *in situ*.

Метод позволяет определять объемную массу пород с высокой степенью точности (до $\pm 0,01$ г/см³). При этом объемная представительность получаемых значений объемной массы в зависимости от толщины исследуемого слоя пород составляет 15 дм³.

На практике в полевых условиях нашли применение три схемы определения объемной массы методом поглощения гамма-излучения (рис. 50). Схема *a* используется при проведении измерений в двух параллельных скважинах. Глубина измерений в этом случае зависит исключительно от технической возможности бурения параллельных скважин. Практически такие скважины удается пробурить на глубину 5—10 м. Схемы *б* и *в* применяются для измерения объемной массы в поверхностном слое грунта, в вертикальной *б* и горизонтальной *в* плоскостях.

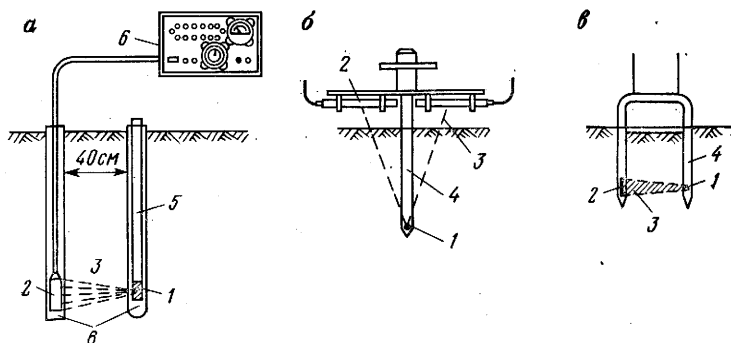


Рис. 50. Схемы определения объемной массы грунтов методом поглощения гамма-излучения:

a — горизонтальное просвечивание слоя грунта в двух параллельных скважинах; *б* — вертикальное просвечивание поверхностного слоя; *в* — горизонтальное просвечивание поверхностного слоя вилкой.

1 — источник гамма-квантов; 2 — детектор; 3 — пучок гамма-квантов; 4 — вилка; 5 — штанга с источником излучения; 6 — радиометр

Метод рассеянного гамма-излучения. Применение метода для определения объемной массы пород основано на функциональной зависимости между регистрируемым рассеянным гамма-излучением и плотностью рассеивающей среды.

В самом общем случае интенсивность рассеянного гамма-излучения, кроме плотности среды, зависит от энергии первичного гамма-излучения и расстояния между источником излучения и детектором. Эта зависимость имеет экстремальный характер. Начальный участок кривой зависимости $I_{\gamma\gamma} = f(\rho)$ характеризуется возрастанием интенсивности рассеянного излучения с увеличением плотности среды. Далее имеем инверсионный участок, характеризующийся неоднозначной зависимостью рассеяния гамма-квантов при изменении плотности. Наконец, при дальнейшем увеличении плотности среды наблюдается падение интенсивности рассеянного излучения.

Доинверсионный участок кривой $I_{\gamma\gamma} = f(\rho)$ имеет наибольшую чувствительность к изменению плотности и является наиболее выгодным для практического определения плотности пород. Однако им редко удается воспользоваться, так как он соответствует изменению объемной массы в пределах от 0 до 1 г/см³. Этот участок зависимости наиболее выгодно использовать для изучения плотности торфяников, сапропелей и некоторых других типов природных образований, имеющих объемную массу менее 1 г/см³. На практике мы встречаемся с грунтами, у которых объемная масса, как правило, более 1,3—1,4 г/см³, поэтому для изучения их плотности применяются обычно послепериодические зонды.

К факторам, влияющим на определение плотности пород методом рассеянного гамма-излучения, относятся: влияние длины зонда и мощности источника излучения, влияние химического состава пород и их влажности. Сюда же относятся условия калибровки зондов и оценка возможных ошибок при практических работах. Установлено, что точность определения плотности пород данным методом не ниже $\pm 0,03$ г/см³, а объем породы, для которой получаем среднее значение плотности, может составлять от 1 до 20 дм³ в зависимости от условий измерения.

В практике инженерно-геологических исследований получили распространение три схемы измерения объемной массы пород методом рассеянного гамма-излучения (рис. 51).

Схема *а* используется при измерении плотности в поверхностном слое грунтов в обнажениях и горных выработках. Гамма-плотномеры, работающие по этой схеме, позволяют определять объемную массу грунтов как в отдельных точках массива, так и непрерывно по заданному профилю поверхностных отложений методом гамма-гамма-профилирования.

Схему *б* применяют в зондах, предназначенных для измерения объемной массы грунтов в обсаженной скважине. Измерения производят, как в отдельных точках по глубине скважины, так и непрерывно по методу гамма-гамма-каротажа.

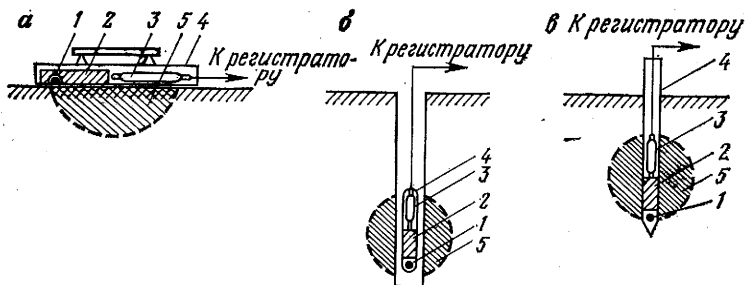


Рис. 51. Схемы измерения объемной массы грунтов методом рассеянного гамма-излучения. Измерение: *а* — поверхностным гамма-плотномером; *б* — в скважине; *в* — при вдавливании зонда в грунт. 1 — источник излучения; 2 — экран; 3 — детектор; 4 — кожух зонда; 5 — зона измерения

Схема *в* по принципу измерений не отличается от предыдущей схемы. Здесь лишь исследования выполняются без предварительного бурения скважины путем вдавливания зонда с помощью специальных устройств.

Выбор необходимой схемы измерения зависит от требований решаемой инженерно-геологической задачи и условий определения объемной массы пород.

Метод рассеянного нейтронного излучения. Этот метод предназначен для определения влажности грунтов. Он основан на функциональной зависимости аномального замедления быстрых нейтронов до тепловых энергий водорода содержащей средой. Параметры взаимодействия нейтронов с водородом, входящим в состав молекул воды (энергия на один акт взаимодействия, необходимое число соударений для замедления до тепловой энергии и сечение рассеяния тепловых нейтронов), превосходят на целый порядок и более соответствующие параметры породообразующих элементов. Сечения поглощения тепловых нейтронов оказываются весьма высокими лишь для некоторых элементов. К аномальным поглотителям нейтронов тепловых энергий относятся В, Na, Cl, K, Mn, Fe. С учетом последнего обстоятельства для определения влагосодержания пород методом рассеянного нейтронного излучения применяются два способа. Первый из них основан на регистрации тепловых нейтронов и используется в тех случаях, когда в исследуемых породах отсутствуют сильные поглотители тепловых нейтронов. Второй способ основан на регистрации нейтронов надтепловых энергий и используется при исследовании влагосодержания засоленных пород.

Для практического определения влажности почвы нашли применение три схемы измерения, аналогичные схемам измерения плотности грунтов. Области их применения и условия измерений также аналогичны определению плотности.

В промышленных образцах нейтронных влагомеров в качестве источников нейтронов используются радий-бериллиевые, полоний-бериллиевые, актиний-бериллиевые и амераций-бериллиевые препараты. Наиболее распространенными детекторами тепловых нейтронов являются пропорциональные счетчики, наполненные $^{10}\text{BF}_3$, а также сцинтилляционные детекторы-кристаллы иодистого лития, активированного таллием, и кристаллы сернистого цинка, активированного бором. Имеют распространение газоразрядные счетчики гамма-излучения с кадмиевым экраном. В последнее время нашли применение гелиевые пропорциональные счетчики, которые эффективны для регистрации надтепловых нейтронов.

При использовании гамма-плотномеров и нейтронных влагомеров различных конструкций существенное значение имеет тарировка используемых приборов, с помощью которой получают количественную зависимость между регистрируемым излучением и параметром плотности или влажности для конкретного прибора. В настоящее время получили распространение три способа тарировки: теоретический, экспериментальный и расчетно-экспериментальный. В свою очередь экспериментальный способ тарировки приборов осуществляется как в лабораторных, так и в полевых условиях.

Радиоактивный каротаж. Методы радиоактивного каротажа (РК) включают в себя гамма-каротаж (ГК), гамма-гамма-каротаж (ГГК) и нейтрон-нейтронный каротаж (ННК). Все указанные виды РК имеют значительное количество модификаций, предусматривающих различные условия и способы измерения ядерных эффектов, вызванных взаимодействием излучения с породообразующими элементами.

При гамма-каротаже регистрируется естественная радиоактивность пород, связанная с наличием в них таких радиоактивных элементов, как U^{235} , U^{238} , Th^{232} , K^{40} , и продуктов их распада. Количественное содержание этих элементов зависит от типа породы, ее происхождения и химического состава. Эта зависимость и является физической основой для литологического расчленения разреза пород по данным ГК. Отмечено, например, что увеличение содержания глинистых частей в карбонатах сопровождается ростом содержания в них тория и калия, а также увеличением отношения тория и калия к урану и радю. Вариации в содержании радиоактивных элементов, как правило, согласуются с минеральным составом глин. Содержание калия в глинах, состоящих из гидрослюдистых минералов, характеризуется превышением его в три раза, а также большими величинами отношения тория к урану. Каолиновые глины отличаются повышенным содержанием урана. При исследовании четвертичных отложений установлено,

что радиоактивность песков целиком зависит от количественного содержания глинистых частиц, поскольку последние обладают повышенным содержанием тория и других радиоактивных элементов. Фильтрационные свойства пласта, как известно, также в значительной степени зависят от распределения в нем глинистых частиц.

Г а м м а - г а м м а - к а р о т а ж (ГГК). Сущность метода ГГК состоит в регистрации рассеянного породой гамма-излучения, которое испускается источником гамма-квантов, размещенным в каротажном зонде при перемещении его по скважине. По данным ГГК получают диаграмму распределения объемной массы породы по разрезу вдоль исследуемой скважины. Для исключения влияния химического состава пород детектор гамма-излучения окружается экраном из свинца или кадмия для поглощения мягкой компоненты гамма-излучения. Оптимальная длина зонда при этом составляет 40 см. Если по данным ГГК в разрезе нужно выделить петрографические типы пород (песчаники, известняки, доломиты, гипсы, ангидриты), то применяют модификацию селективного ГГК, чувствительного к химическому составу пород и не чувствительного к плотности окружающей среды. Для этой цели регистрируют мягкую компоненту рассеянного излучения. Оптимальная длина зонда при этом составляет 10—15 см, а в качестве источника мягкого гамма-излучения используют Sc-75 или Hg-203.

При интерпретации плотности пород по данным ГГК скважин основной помехой являются каверны. На каротажных диаграммах каверны дают положительный сигнал, равнозначный уменьшению плотности исследуемого пласта. Для корректировки результатов измерений в этих случаях обычно используют дополнительные данные кавернометрии или других видов геофизического каротажа.

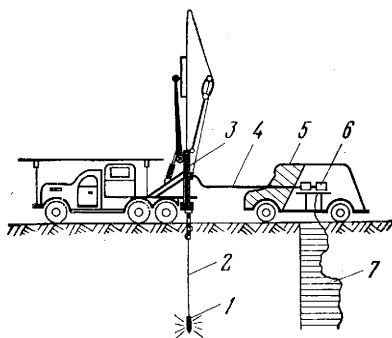
Н е й т р о н - н е й т р о н н ы й к а р о т а ж (ННК). Сущность метода состоит в регистрации рассеянного нейтронного излучения, испускаемого источником быстрых нейтронов, размещенным в каротажном зонде и перемещаемым по скважине. В результате проведения ННК получают диаграмму распределения влагосодержания пород по разрезу вдоль исследуемой скважины, а также диаграмму содержания аномальных поглотителей нейтронов. Для выявления распределения аномальных поглотителей нейтронов вдоль скважины применяют инверсионные зонды, т. е. зонды, не чувствительные к влагосодержанию. Оптимальная длина таких зондов составляет 10—15 см. Малые доинверсионные зонды весьма чувствительны к изменению влагосодержания, однако они обладают небольшой глубиной исследования. При наличии в скважине бурового раствора они не несут информации из пласта. При исследовании скважин с буровым раствором нашли применение послеинверсионные зонды длиной 50 см.

В зависимости от вида регистрируемого излучения различают нейтронный каротаж по тепловым нейтронам (НК-Т), по надтепловым нейтронам (ННК-Н) и нейтронный гамма-каротаж (НГК).

Сущность метода НГК состоит в регистрации захватного гамма-излучения, которое испускается атомами порообразующих элементов при поглощении ими замедлившихся нейтронов. Выход захватного гамма-излучения в однородной среде пропорционален плотности тепловых нейтронов и зависит от замедляющих свойств исследуемой среды, т. е. от водородсодержания. НГК используется в основном для дифференциации исследуемого разреза по влагосодержанию. Его преимущество перед методом ННК состоит в большей глубине исследования пород и, следовательно, в меньшем влиянии на результаты измерения скважинных условий.

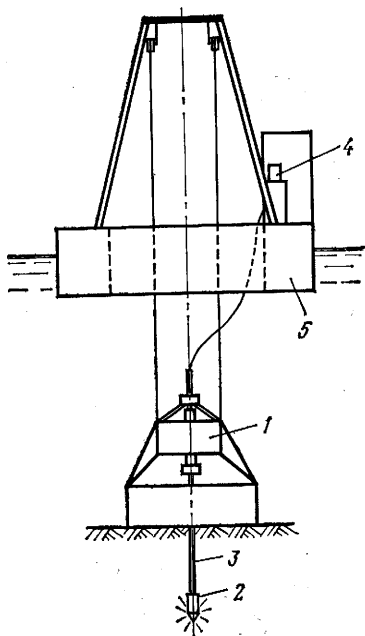
В инженерной геологии при изучении рыхлых отложений метод погружения каротажного зонда вдавливанием оказался наиболее оптимальным, исходя из методических и технико-экономических соображений.

П е н е т р а ц и о н н о - к а р о т а ж н ы е м е т о д ы. Пенетрационный каротаж производится по схеме *в* (см. рис. 51). Преимущество такого способа исследований в методическом отношении состоит в том, что каротажный зонд оказывается погруженным в исследуемую среду и поэтому помехи, связанные с технологией бурения и конструкцией скважины, отсутствуют полностью. В технико-экономическом отношении этот способ ведения каротажа также имеет достоинства. Он не требует предварительной проходки скважин. Здесь проходка



↑ Рис. 52. Принципиальная схема пенетрационно-каротажной станции:

1 — измерительный зонд; 2 — колонна штанг; 3 — гидравлическое устройство для погружения штанг; 4 — кабель; 5 — аппаратная станция; 6 — наземный пульт с регистрирующей аппаратурой; 7 — каротажная диаграмма



→ Рис. 53. Схема подводной станции пенетрационного каротажа:

1 — установка для вдавливания каротажного зонда; 2 — зонд; 3 — колонна штанг; 4 — измерительная аппаратура и пульт управления; 5 — плавсредство

совмещается с процессом ведения исследований, а сам способ вдавливания используется как метод исследования грунта статическим зондированием.

На рис. 52 показана схема пенетрационно-каротажной станции СПК, которая в настоящее время выпускается промышленностью. Установка имеет специальное гидравлическое устройство, развивающее осевую нагрузку 10—15°кн, и включает датчики ГК, ГГК, ННК, а также измерительные устройства для регистрации лобового сопротивления и трения грунта при погружении зонда.

Разработана установка аналогичного принципа действия для изучения донных морских осадков методом пенетрационного каротажа (рис. 53). При этом специальная автономная установка с гидроэлектрическим устройством погружается на дно. Управление операциями по вдавливанию и извлечению каротажного зонда производится дистанционно с плавсредства.

Совмещение методов радиоактивного каротажа и статического зондирования обеспечивает решение широкого круга инженерно-геологических задач полевыми методами. При этом оказывается возможным получать диаграммы распределения по глубине разреза: объемной массы, влажности, пористости, статического сопротивления пенетрации трения грунта по боковой поверхности зонда и нормального давления на зонд. По комплексу каротажных диаграмм, включая метод ГК, возможно также выделение литологических типов пород. На рис. 54 для примера показаны пенетрационно-каротажные диаграммы и диаграмма распределения пористости четвертичных отложений Подмосковья. Разрешающую способность метода для установления разреза можно видеть из сопоставления диаграмм с геологическим разрезом, приведенным на том же рисунке.

Важно отметить еще одно достоинство методов пенетрационного каротажа. Они позволяют строить диаграммы пространственного распределения свойств грунтов по разрезу и по простиранию.

Ак т и в н ы й а н а л и з. При облучении среды сложного химического состава ядерными частицами в результате различных ядерных реакций образуются радиоактивные изотопы. Они распадаются в определенном интервале времени, испуская бета- и гамма-излучение определенной энергии. Анализ радиоактивных излучений по их виду и энергиям позволяет идентифицировать обра-

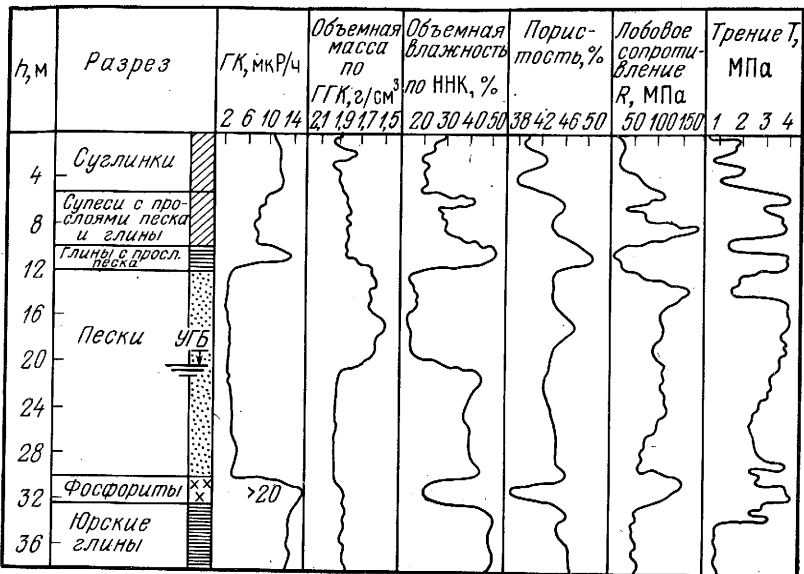


Рис. 54. Пенетрационно-каротажные диаграммы распределения пористости четвертичных отложений Подмосквы

зовавшиеся радиоактивные изотопы, а по величине наведенной активности — судить о количественном содержании каждого элемента, вступившего в ядерную реакцию. Активационный анализ обладает целым рядом преимуществ, позволивших ему в сравнительно короткий срок занять достойное место среди других методов химического и спектрального анализов пород. С помощью активации образцов мощным потоком нейтронов в реакторах определяют большинство элементов периодической системы. Метод обладает высокой чувствительностью и позволяет анализировать многокомпонентные среды с определением содержания нескольких элементов одновременно.

Наиболее распространенными сейчас являются методы нейтронной активации. Это объясняется тем, что нейтроны, будучи нейтральными ядерными частицами, сравнительно легко проникают в ядра элементов и активируют их. Поэтому вероятность активации нейтронами по сравнению с другими частицами относительно большая.

В настоящее время широко известна методика нейтронной активации на алюминий и кремний, которые являются весьма распространенными элементами осадочных пород. Для активационного анализа используется широкий круг искусственных источников нейтронов, а также управляемые источники — так называемые генераторы нейтронов.

Радиоизотопные индикаторы. Метод радиоактивных индикаторов, или как его называют, метод меченых атомов, основан на практической идентичности физико-химического поведения радиоактивных и стабильных изотопов одного и того же элемента при изучении различных процессов и явлений. Сущность метода состоит в определении местонахождения введенного в поток подземных или поверхностных вод радиоактивного индикатора и его количества. В результате этого удается установить такие важные для инженерно-геологических и гидрологических исследований данные, как направление и пути фильтрационного потока, скорость его движения и расход. В свою очередь эти данные позволяют определить коэффициент фильтрации и значение активной пористости грунтов.

Метод радиоактивных индикаторов имеет большие преимущества по сравнению с электрическими и калориметрическими методами благодаря своей высокой чувствительности и точности. Это позволяет успешно применять данный метод при решении многих задач, связанных с инженерно-геологическими исследованиями в основном для гидротехнического строительства. К таким задачам относятся: определение фильтрационных свойств грунтов, оценка фильтрационной однородности пластов, выявление опасных трещиноватых зон в основании сооружений, оценка фильтрации воды через земляные плотины, исследование водопроницаемости противофильтрационных устройств, оценка эффективности дренажных систем. Радиоиндикаторные методы исследования подробно рассмотрены в специальном руководстве, подготовленном Международным агентством по атомной энергии и изданном на русском языке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башкатов Д. Н., Васильев А. В. Методические указания по геологической документации скважин шнекового бурения при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1964. — 34 с.
2. Богословский В. А., Огильви А. А. Электрометрические методы определения утечек из водохранилищ. — Гидротехника и мелиорация, 1973, № 4, с. 12—17.
3. Богословский В. А., Огильви А. А. Применение геофизических методов при изучении оползней. — В кн.: Разведочная геофизика, вып. 7, 1977, с. 6—10.
4. Бондарик Г. К. Динамическое и статическое зондирование в инженерной геологии. — М.: Недра, 1964. — 104 с.
5. Бондарик Г. К., Комаров И. С., Ферронский В. И. Полевые методы инженерно-геологических исследований. — М.: Недра, 1967. — 372 с.
6. Бондарик Г. К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств пород. — М.: Недра, 1971. — 272 с.
7. Бондарик Г. К., Коренева С. Л., Горячева Д. С. Методические рекомендации по определению деформационных и прочностных свойств глинистых пород методом прессиометрии. Серия № 163. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1971. — 40 с.
8. Валах В. М., Чаповский Е. Г. Аэрофотометоды при региональных инженерно-геологических исследованиях в аридных районах. — М.: Недра, 1977. — 158 с.
9. Викторов С. В. Использование индикационных географических исследований в инженерной геологии. — М.: Недра, 1966. — 120 с.
10. Викторов С. В. Аэроландшафтная индикация последствий деятельности человека в пустынях. — М.: Недра, 1973. — 57 с.
11. Викторов С. В. Ландшафтные индикаторы гидрогеологических и инженерно-геологических условий в районах орошения и обводнения пустынь. — М.: Недра, 1976. — 56 с.
12. Виноградов Б. В. Космические методы изучения природной среды. — М.: Мысль, 1976. — 286 с.
13. Востокова Е. А., Шавырина А. В., Ларичева С. Г. Справочник по растениям-индикаторам грунтовых вод и почво-грунтов для южных пустынь СССР. — М.: Госгеолтехиздат, 1962. — 126 с.
14. Гвоздецкий Н. А. Три типа дифференциации географической среды и физико-географических комплексов. — Землеведение, 1976, т. XI, с. 5—22.
15. Григорьев А. А. Космическая индикация ландшафтов земли. — изд-во ЛГУ, 1975. — 165 с.
16. Горянов Н. Н. Сейсмические методы при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. — Сб. трудов Всесоюзной конференции по применению геофизических методов в гидрогеологии и инженерной геологии. — Ереван: 1976. — 154.
17. Гудилин И. С., Комаров И. С. Применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. — М.: Недра, 1978. — 319 с.
18. Инструкция по производству комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки м-бов 1 : 200 000 и 1 : 500 000. — М.: изд-во МГУ, 1969. — 123 с.
19. Инструкция по испытанию грунтов динамическим зондированием конусом. РСН 32—70. — М.: Изд. Гостроя РСФСР, 1970. — 81 с.
20. Инструкция по испытанию грунтов статическим зондированием РСН 33—70. М.: Изд. Гостроя РСФСР, 1970. — 104 с.
21. Инструкция по испытанию грунтов статическими нагрузками (штампом) РСН 34—70. М.: Изд. Гостроя РСФСР, 1970. — 115 с.
22. Кац Я. Г., Рябухин А. Г., Трофимов Д. Н. Космические методы в геологии. — М.: МГРИ, 1976. — 103 с.
23. Кбломенский Н. В. Общая методика инженерно-геологических исследований. — М.: Недра, 1968. — 335 с.
24. Комаров И. С. Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях. — М.: Недра, 1972. — 295 с.
25. Корчагин Г. П., Коренева С. Л. К вопросу определения модуля деформации глинистых грунтов. — В кн.: Новые полевые и лабораторные методы определения свойств горных пород. — М.: Недра, 1969. — 101 с.
26. Ландшафтный метод лесного дешифрирования аэроснимков. — Новосибирск: Наука (Сибирское отделение), 1976. — 317 с.

27. Мельников Е. С., Вейсман Л. И., Крицук Л. Н. Ландшафтные индикаторы инженерно-геокриологических условий северо-западной Сибири и их дешифровочные признаки. — М.: Недра, 1974. — 132 с.
28. Мельников Е. С. Метод ключевых участков в инженерно-геологической съемке. — М.: ВСЕГИНГЕО, вып. 62, 1973, с. 4—21.
29. Методические пособия по инженерно-геологическому изучению горных пород/Под ред. Е. М. Сергеева. — М.: Изд-во МГУ, 1968. — 347 с.
30. Методические рекомендации по инженерно-геологической съемке/Под ред. Е. С. Мельникова. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1977. — 104 с.
31. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1 : 200 000 (1 : 500 000)/Под ред. Е. С. Мельникова, — М.: Недра, 1978. — 391 с.
32. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии. — М.: Недра, 1972. — 296 с.
33. Никитин В. Н. Круговое сейсмическое зондирование и его возможности. Вест. МГУ, сер. геол. № 1, 1977, 18—23 с.
34. Огильви А. А. Геофизические исследования. М.: изд-во МГУ, 1962. — 412 с.
35. Пальянов П. Ф., Штейнберг А. М. Бурение скважин. — М.: Недра, 1964. — 355 с.
36. Ребрик Б. М. Вибротехника для бурения — М.: Недра, 1966. — 232 с.
37. Ребрик Б. М. Бурение скважин при инженерно-геологических изысканиях. 2-е изд. — М.: Недра, 1973. — 260 с.
38. Радиозотопные методы исследования в инженерной геологии и гидрогеологии./ В. И. Ферронский, А. И. Данилин, В. Т. Дубинчук и др. 2-е изд. — М.: Атомиздат, 1977. — 304 с.
39. Садов А. В. Аэрометоды изучения седей. — М.: Недра, 1972. — 125 с.
40. Садов А. В., Резвон А. Л., Чалидзе Ф. Н. Изучение экзогенных процессов в районах крупных водохранилищ аэроландшафтным методом. — М.: Недра, 1976. — 48 с.
41. Садов А. В. Изучение экзогенных процессов аэроландшафтным методом. — М.: Недра, 1978. — 151 с.
42. СНиП 11-15—74. Основания зданий и сооружений. — В кн.: Нормы проектирования. — М.: 1975. — 64 с.
43. СНиП 11-18—76. Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. — В кн.: Нормы проектирования. — М., 1976. — 46 с.
44. Справочное руководство по ядерным методам в гидрогеологии и гидрологии/Перев. с англ. Под ред. В. И. Ферронского. — М.: Недра, 1971. — 256 с.
45. Ферронский В. И., Грязнов Т. А. Пенетрационный картаж. — М.: Недра, 1979. — 305 с.
46. Шарапанов Н. Н., Черняк Г. Я., Барон В. А. Методика геофизических исследований при гидрогеологических съемках с целью мелиорации земель. — М.: Недра, 1974. — 174 с.

Глава шестая

НАКОПЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сохранение и интенсивное использование все увеличивающегося объема инженерно-геологической информации обеспечивается автоматизированными фактографическими информационно-поисковыми системами — АФИПС. Первым шагом на пути их создания являются существующие и разрабатываемые фактографические информационно-поисковые системы — ФИПС [1], реализованные на перфокартах ручной или машинной обработки или других носителях информации.

Общее назначение любых ФИПС состоит в накоплении и обновлении фактов (информации), в поиске и выдаче данных и их обработке. Обработка информации заключается в ее группировке и классификации, на основе которой отдельные характеристики заменяются обобщенными. При этом решаются задачи оценки точности и надежности полученных обобщенных характеристик. Различаются ФИПС составом информации, способами ее представления и обработки.

ФИПС подразделяются на следующие типы: а) информационно-справочные, предназначенные для поиска и выдачи данных и их простой математической обработки (вычисление средних значений, %); б) информационно-диагностические, позволяющие решать задачи типа распознавания образов, т. е. опознавать и классифицировать объекты, находить статистические зависимости; в) информационно-логические — со сложной логической обработкой на основе анализа смысла информации.

Составные части ФИПС: 1) информационные массивы, содержащие фактографическую информацию; 2) информационно-поисковый язык, с помощью которого записывается информация в информационно-поисковой системе; 3) технические средства реализации ИПС-ЭВМ, счетно-перфорационные устройства или ручные приспособления для сортировки перфокарт; 4) математическое обеспечение (программы обработки информации).

Принципы построения ФИПС. При составлении ФИПС необходимо определить: 1) назначение ФИПС и весь комплекс стоящих перед исследователями задач, а также принципиально новые задачи, решение которых будет возможным при обработке ЭВМ всей накопленной информации; 2) какие разделы информации следует ввести в ФИПС, а какие данные могут быть синтезированы в самой системе; 3) систему построения ФИПС; в зависимости от назначения возможно два варианта построения (перфокарта заводится на объект — прямая, и на признак — обратная).

Для накопления инженерно-геологической информации наиболее удобна прямая система — по объектам. Под геологическим объектом понимают участки земной коры различного размера, вычленимые с определенной целью при инженерно-геологическом изучении, т. е. те, которые могут быть оконтурены как геологическими, так и географическими (пространственными) границами или координатами. Объектами могут служить площадь планшета, территория строительных объектов, стратиграфо-генетические единицы, ключевой участок, точка наблюдения, скважина, слой, проба.

Кроме того, следует определить информационно-поисковый язык (ИПЯ), т. е. способ кодирования информации и ввода ее в систему, а также носитель информации (перфокарты различных типов, магнитные ленты или диски).

Характер информации и ее источники. Построение ФИПС возможно по первичным данным и по результатам их эмпирического обоб-

щения в виде инженерно-геологических разрезов, карт и т. п. Достоверность этой информации определяется точностью и добросовестностью исследований. Информация, полученная в результате теоретических обобщений, не имеет общепринятых критериев достоверности.

Информация подразделяется по форме выражения на количественную, качественную (семантическую, описываемую словами) и графическую, а по характеру — на статическую и динамическую.

Вид информации определяет особенности построения ФИПС и ее ИПЯ.

Источником сведений для ФИПС является априорная и оперативная информация. Извлечение из нее данных и перевод их на ИПЯ в настоящее время осуществляется только человеком. В будущем для оперативной информации возможно создание таких документов (фиксирующих результаты исследований), которые позволят осуществлять непосредственный автоматизированный ввод данных в ФИПС — формализованная запись на стандартных бланках.

Накопление и хранение информации. Для накопления и хранения информации применяются различные виды запоминающих устройств (ЗУ), обычно — магнитные ленты или диски, реже перфокарты и перфокарты, являющиеся промежуточным звеном для ввода информации в ЭВМ. Последние могут служить и самостоятельным ЗУ. Все типы ЗУ допускают ввод и хранение информации только переведенной на ИПЯ, т. е. в закодированной форме в виде специальных знаков, отличной от первичной записи.

Помимо накопления и хранения информации ЗУ должны обеспечивать также ее поиск и обработку. В связи со значительной сложностью автоматизированных ЗУ для не очень большого объема информации (5—10 тыс. перфокарт) наиболее простым и доступным ЗУ являются перфокарты ручной обработки. При большем объеме информации следует применять машинную сортировку на счетно-перфорационных машинах или обработку данных ЭВМ.

II. ПЕРФОКАРТНЫЕ ФАКТОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ

Перфокарта (перфорированная карта) ручной сортировки представляет собой прямоугольную карточку из плотной бумаги со специальными отверстиями (перфорацией) по краям и срезанным правым углом. Центральное поле перфокарты, свободное от отверстий, предназначено для занесения неcodируемой информации, выкопировок из карт, фотографий, шлифов, фрагментов аэроснимков, графиков испытаний и т. п. В СССР производят двухрядные перфокарты трех стандартов: — К-4 (207 × 297 мм); К-5 (147 × 207 мм) и К-6 (105 × 147 мм). Наиболее употребителен формат К-5. Кроме того, существуют перфокарты с внутренней и однорядной краевой перфорацией. Кодированная информация заносится на перфокарту в виде специальных прорезей в перфорации. Предварительно она должна быть сгруппирована по определенным признакам (д е с к р и п т о р а м) и представлена в виде перечня этих признаков (названий, явлений, предметов, т. е. объектов и характеристик свойств объектов). Перечень дескрипторов и присвоенные им символы — числа, буквы и пр., с помощью которых производится запись информации на перфокарте, образуют код дескрипторов, составляющий ИПЯ.

Способ обозначения (кодирования) чисел или других символов дескрипторов на перфокартах называется к л ю ч о м. При использовании перфокарт с двухрядной краевой перфорацией для отметки признаков применяют три типа вырезов: 1) мелкий (короткий) — от внешнего края перфокарты до ближайшего отверстия; 2) глубокий (длинный) — от внешнего края перфокарты до дальнего отверстия и 3) шлиц — соединяющий отверстия внешнего и внутреннего рядов перфорации.

Основные способы кодирования чисел и букв. Среди этих способов наиболее простым и удобным, хотя и неэкономичным, является п р я м о й к л ю ч. В нем каждому числу или букве соответствует определенное отверстие на перфокарте. Общее число отверстий равно числу кодируемых признаков (рис. 55).

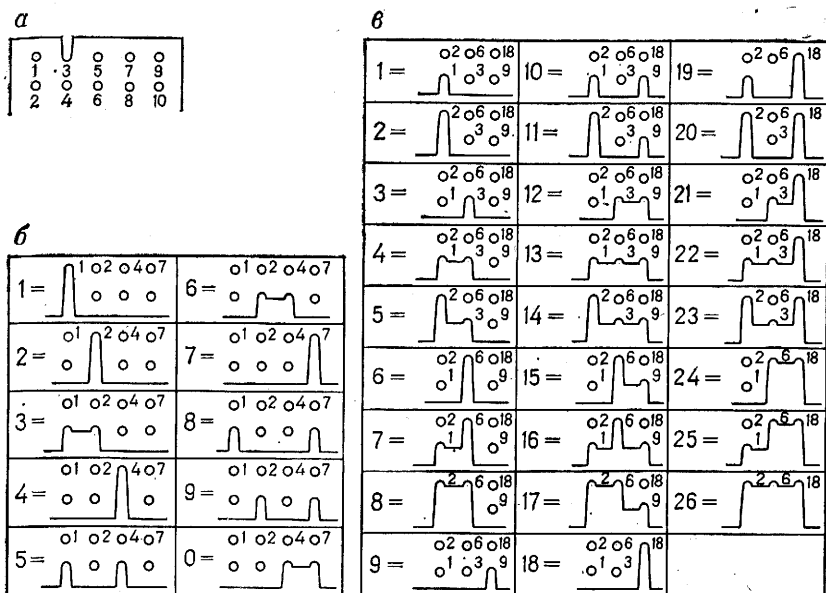


Рис. 55. Схема вырезки чисел различными ключами:
 а — прямой; б — ключ «1—2—4—7»; в — тройной

Ключ «1—2—4—7» употребляется наиболее часто. В каждом поле из 4-х пар отверстий может быть записано одно кодовое число (от 0 до 9). Числа 1, 2, 4, 7 (основные) отмечаются глубокими вырезами, прочие — состояются как сумма основных, отмеченных мелкими вырезами (см. рис. 55). При отметке многозначных чисел количество полей равно числу разрядов.

Тройной (трехосновный) ключ значительно увеличивает емкость ИПС, но при этом усложняет сортировку. В этом ключе перфорации внешнего ряда присвоены значения степени числа 3: 3^0 , 3^1 , 3^2 и т. д., а соответствующим значениям внутреннего ряда — их удвоенные значения (2, 6, 18 и т. д.).

Для вырезки букв могут применяться также координатные ключи.

Емкость перфокарты определяется возможным количеством одновременно кодируемых дескрипторов, а емкость перфокартной системы — общим количеством дескрипторов в коде.

Последовательность работы при составлении ИПС. После выяснения назначения составляемой ФИПС и возможного круга задач, решаемых с ее помощью, устанавливают основные разделы информации, по которым будут составлены входящие в перфокартолеку отдельные массивы перфокарт и принцип построения ИПС — прямая или обратная.

По каждому разделу информации, например: ландшафтные или геолого-литологические исследования, изучение физико-механических свойств пород и т. п., составляют перечень дескрипторов (признаков), достаточно полно характеризующих изучаемые объекты. При этом выделяют дескрипторы, позволяющие проводить группировку информации в соответствии с существующими в инженерной геологии классификациями.

Определяют способ кодирования информации на перфокартах, учитывая общий объем информации и выбранный размер перфокарт.

Разработка кода дескрипторов — наиболее ответственная часть работы, определяющая эффективность системы, поскольку внесение изменений в процессе работы исключено. При разработке кода отбирают все признаки, которые будут занесены на перфокарту, и разделяют их на кодируемые и не кодируемые (записи-

ваемые в центральном поле карты). Располагают кодируемые признаки в определенном порядке, учитывая существующие классификации или составляя условные классификации и рабочие списки объектов. При наличии внутри группы дескрипторов совместных (параллельных) признаков составляют перебор их возможных сочетаний, что позволяет использовать для их кодирования, как и для несовместных признаков, более экономичные ключи — «1—2—4—7» и тройной.

Выбор соответствующих ключей отдельно для каждого дескриптора должен обеспечивать достаточную емкость ФИПС и оперативное получение необходимой информации.

Завершается разработка ФИПС составлением макета ключевой перфокарты, на котором показывается размещение информации на свободном поле карты и определяется размещение по краю перфокарты кодируемых признаков с учетом частоты их использования. На верхнем краю карты размещают дескрипторы, наиболее часто используемые при поиске.

Работа с перфокартами состоит в нанесении информации на внутреннее поле карты, после чего в соответствии с разработанным кодом и макетом перфокарты делают карандашные пометки на месте прорезей. После проверки (другим исполнителем) осуществляют вырезку перфокарт ножницами или специальными щипцами — пробойниками. Сортировку перфокарт по кодируемым признакам производят с помощью спиц, вводя их в массив перфокарт в отверстия, на которых закодированы поисковые признаки. Сквозные прорези обеспечивают выпадение перфокарт с присутствием данного признака. При небольшом количестве перфокарт (до 40) или при поиске не кодируемых признаков сортировка может выполняться визуальным просмотром.

Специалисты ВСЕГИНГЕО разработали макет ключевой перфокарты и пример ее заполнения для сбора информации по разделу «Инженерно-геокриологические свойства пород», входящему в перфокартотеку «Инженерно-геокриологические условия». Перфокарта заполняется на каждый слой в скважине. Информация разделена на несколько классов: а) служебно-справочная (общая для всех массивов); б) геоморфологическая и ландшафтная характеристика; в) стратиграфо-генетическая характеристика; г) инженерно-геокриологические свойства пород.

ФИПС ручной сортировки обеспечивают только поиск и группировку информации, последующая статистическая обработка производится вне системы, вручную или с помощью вычислительной техники.

Технически возможно создание устройства, считывающего информацию с краевой перфорации и передающего ее в ЭВМ для автоматизированной обработки.

При большом объеме информации используют машинные перфокарты, на которых вся информация представлена в закодированном виде. Применение машинных перфокарт облегчает передачу информации в ЭВМ. Однако они лишены преимущества ручных перфокарт, позволяющего использовать их при полевой документации, минуя промежуточные документы — дневники, журналы и пр.

III. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ (КОЛИЧЕСТВЕННОЙ) ИНФОРМАЦИИ

Целью количественного анализа инженерно-геологических данных являются уточнение и подтверждение правильности выделения геологических тел — стратиграфо-генетических комплексов, петрографических типов, инженерно-геологических видов и разновидностей пород, для которых может быть установлен режим пространственной изменчивости, получена его количественная оценка и вычислены обобщенные или расчетные значения классификационных и прямых показателей свойств.

Применение статистической обработки возможно лишь при условии, если исходные данные относятся к однородному геологическому телу и отвечают требованиям случайности и независимости от координат пространства.

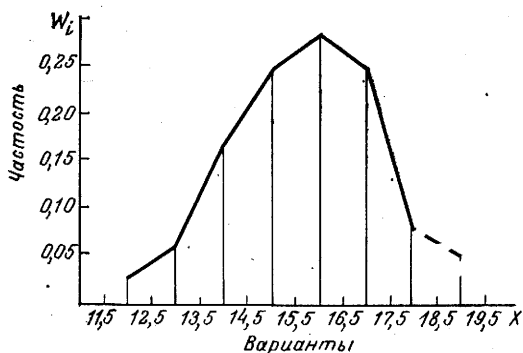


Рис. 56. Полигон частостей

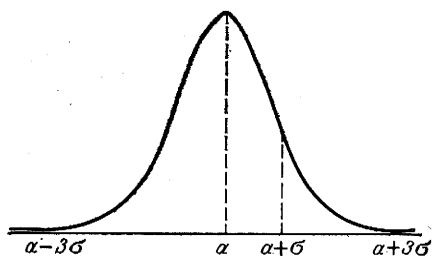


Рис. 57. Кривая нормального распределения

Генеральной совокупностью называется бесконечно большое число определений однородных в каком-нибудь определенном отношении, но различающихся по величине интересующего нас признака или признаков.

Выборочной совокупностью (или выборкой) называется ограниченное число определений, произвольно отобранных из генеральной совокупности.

Отдельное значение признака называется вариантой.

Частостью (w_i) называется доля одинаковых по значению вариантов во всей совокупности:

$$w_i = \frac{k_i}{\sum k_i} \quad \text{или} \quad w_i = \frac{k_i}{N},$$

где N — число вариант.

В вариационном ряду* каждому значению признака соответствует своя частость. Если по абсциссе отложить значения вариант, а по ординате — отвечающие им значения частостей, то получим графическое изображение вариации признака (рис. 56). При увеличении числа вариант частость все более и более приближается к значению вероятности. Соотношение между возможными значениями вариант и отвечающими этим значениям вероятностями называется законом распределения.

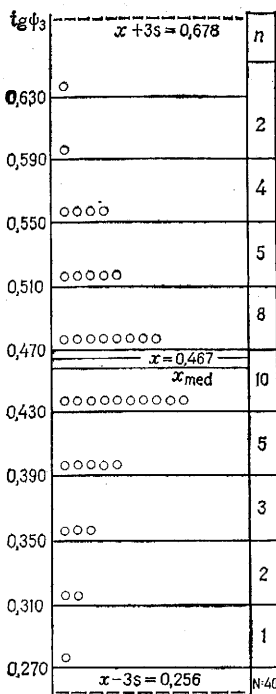


Рис. 58. График рассеяния значений коэффициента сдвига при давлении 0,3 МПа; x_{med} — медиана, значение, делящее вариационный ряд пополам

* Ограниченное число определений, расположенное в порядке возрастания или убывания значения признака, называется вариационным рядом.

Известно несколько законов распределения: биномиальное, нормальное, логарифмически нормальное, редких явлений (Пуассона), симметричное (Коши) и др.

Распределение значений показателей физико-механических свойств пород ближе всего к нормальному закону (Н. В. Коломенский).

Кривая нормального распределения $\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}$ приведена на рис. 57.

При $x = a$ $\varphi(a) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$, где a — среднее значение признака, а σ — среднее квадратическое отклонение величины x от среднего.

Проверка однородности исходных данных x . Об однородности частных значений показателей можно косвенно судить по графику рассеяния (рис. 58), имеющему одну вертикальную ось, по которой в выбранном масштабе точками отмечают значения показателя. Это дает представление о диапазоне колебаний, характере распределения и присутствии сомнительных значений показателя.

Для проверки принадлежности к данной совокупности крайних, сильно отличающихся от среднего значения показателя, все полученные данные располагают в упорядоченный ряд — от минимального x_1 до максимального x_n значений: $x_1; x_2; \dots, x_{n-1}, x_n$ и вычисляют значения

$$\tau' = \frac{x_2 - x_1}{x_{n-1} - x_1} \quad \text{или} \quad \tau'' = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_2}.$$

Если τ вычисленное превышает $\tau_{\text{табл}}$ (табл. 80) для принятого уровня значимости, то проверяемое крайнее значение (x_1 или x_{min} при τ' и x_n или x_{max} при τ'') следует отбросить.

Предполагаемое закономерное изменение показателя в пределах геологического тела проверяют построением графика изменения значений показателя вдоль профиля. Если на фоне случайных колебаний обнаруживается тенденция к возрастанию или убыванию, то проверку дополняют математическим анализом. Вычисляют отношение

$$\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - x_{i+1})^2}{2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

Т а б л и ц а 80

Критические значения τ для проверки принадлежности крайних значений при 5%-ном уровне значимости

n	$\tau_{0,05}$	n	$\tau_{0,05}$	n	$\tau_{0,05}$
4	0,955	13	0,410	22	0,320
5	0,807	14	0,395	23	0,314
6	0,689	15	0,381	24	0,309
7	0,610	16	0,369	25	0,304
8	0,554	17	0,359	26	0,299
9	0,512	18	0,349	27	0,295
10	0,477	19	0,341	28	0,291
11	0,450	20	0,334	29	0,287
12	0,428	21	0,327	30	0,283

Критические значения отношения $\frac{g^2}{s^2}$
для установления тренда (5%-ный уровень значимости)

<i>n</i>	0,05	<i>n</i>	0,05	<i>n</i>	0,05	<i>n</i>	0,05
4	0,3902	13	0,5778	22	0,6645	35	0,7292
5	4102	14	5908	23	6713	40	0,7461
6	4451	15	6027	24	6776	45	0,7603
7	4680	16	6137	25	6836	50	0,7718
8	4912	17	6237	26	6893	55	0,7817
9	0,5121	18	0,6330	27	0,6946	60	0,7906
10	5311	19	6417	28	6996	—	—
11	5482	20	6498	29	7046	—	—
12	5638	21	6574	30	7091	—	—

где n — число определений; x_i — значения показателя; \bar{x} — среднее значение показателя. Если полученная величина меньше или равна табличному значению (табл. 81) для данного n и принятого уровня значимости, то исследуемый показатель зависит от координат пространства. В этом случае вместо обобщенного значения показателя следует давать оценку математического ожидания для профиля в виде аналитического выражения тренда или разделить геологическое тело (профиль) на квазиоднородные участки, протяженность которых равна

$$l = L \cdot \frac{2s}{|\bar{R}_n - \bar{R}_0|},$$

где L — длина всего профиля; s — оценка среднеквадратического отклонения частных значений показателя; $|\bar{R}_n - \bar{R}_0|$ — разность средних значений на концах профиля. Для квазиоднородных участков возможно вычисление обобщенных значений.

Вычисление статистических показателей по приведенным формулам производят при нормальном распределении, которое считают нормальным при соблюдении неравенств:

$$\frac{A}{m_A} \leq 3 \text{ и } \frac{E}{m_E} \leq 3.$$

Закон распределения удобно оценивать с помощью вероятностной бумаги, имеющей специальную разграфку: по оси ординат — преобразованную шкалу накопленной частоты для нормального распределения — $\psi(t\alpha)$, а по абсциссе — значения показателя (рис. 59). Для последовательно возрастающих значений показателя вычисляют накопленные частоты. Значения накопленных частот и соответствующие значения показателя наносят на вероятностную бумагу, получая точки графика. Если точки располагаются примерно на прямой линии внутри интервала накопленных частот (0,150—0,850), то это свидетельствует о непротиворечивости нормальному закону распределения. Возможные отклонения от прямой на краях (за пределами границ интервала) во внимание не принимаются. По такому графику легко оценить среднее значение показателя. Оно отвечает абсциссе точки с ординатой 0,500. Среднее квадратическое отклонение определяют как разность значений абсцисс точек с ординатами 0,500 и 0,850 или 0,500 и 0,150.

Для малых выборок ($N < 20$) оценку среднеквадратического отклонения s можно получить по величине размаха R :

$$s = R/\alpha_n,$$

где $R = x_{\max} - x_{\min}$ — размах значений показателя; α_n — табличная величина, зависящая от числа определений N (табл. 82).

Значения показателей более $\bar{x} + 3s$ и менее $\bar{x} - 3s$ считают грубыми ошибками и из расчетов исключают, после чего высчитывают новые значения \bar{x} и s . На основании графика, представленного на рис. 59, получены следующие оценки статистических характеристик: $\gamma_{ск} = 1,7 \text{ г/см}^3$; $s = 1,7 - 1,56 = 0,14 \text{ г/см}^3$; а расчетом, по соответствующим формулам, $\bar{\gamma}_{ск} = 1,69 \text{ г/см}^3$; $s = 0,132 \text{ г/см}^3$.

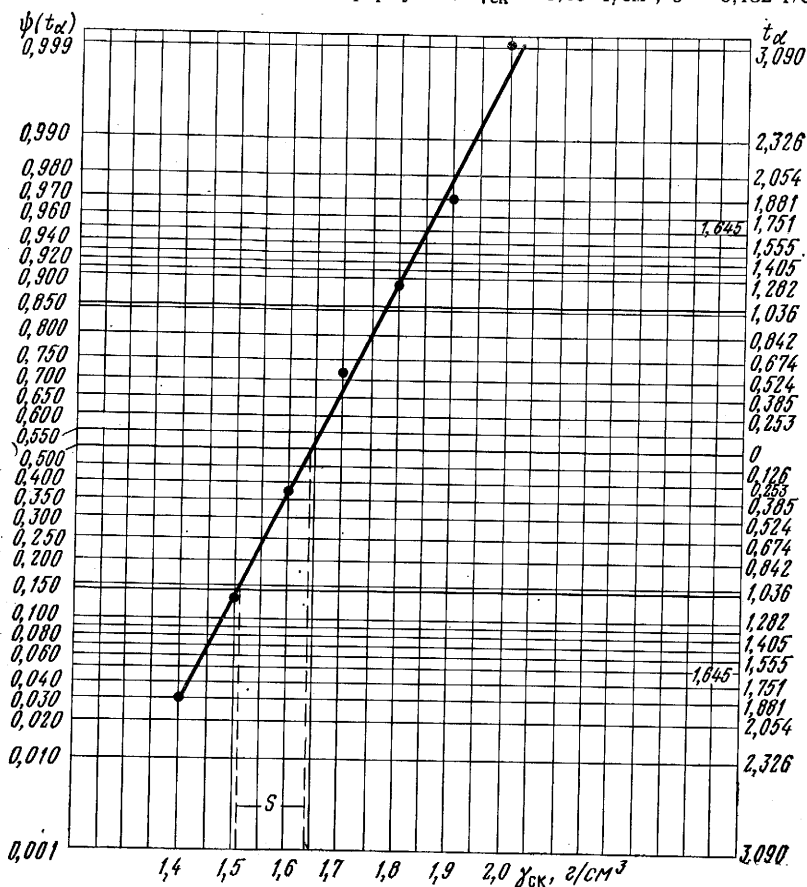


Рис. 59. Распределение значений объемной массы скелета грунта на вероятностной бумаге

Таблица 82

Значение a_n для вычисления оценки σ по размаху

n	$M\left(\frac{R_n}{\sigma}\right); a_n$	n	$M\left(\frac{R_n}{\sigma}\right); a_n$	n	$M\left(\frac{R_n}{\sigma}\right); a_n$	n	$M\left(\frac{R_n}{\sigma}\right); a_n$
2	1,128	7	2,704	12	3,258	17	3,588
3	1,693	8	2,847	13	3,336	18	3,640
4	2,059	9	2,970	14	3,407	19	3,689
5	2,326	10	3,078	15	3,472	20	3,735
6	2,534	11	3,173	16	3,532		

Основные расчетные формулы

x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	Формулы
x_1	$x_1 - \bar{x}$	$(x_1 - \bar{x})^2$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$ $V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\%$
x_2	$x_2 - \bar{x}$	$(x_2 - \bar{x})^2$	
\vdots	\vdots	\vdots	
\vdots	\vdots	\vdots	
x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	
\vdots	\vdots	\vdots	
x_n	$x_n - \bar{x}$	$(x_n - \bar{x})^2$	

Статистическую обработку целесообразно вести только в том случае, если имеется не менее пяти определений (малая выборка). Для малой выборки (от 5 до 15 определений) порядок расчета оценки среднего значения \bar{x} , среднего квадратического отклонения σ^* и коэффициента изменчивости V приведен в табл. 83.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2,$$

где x_i — частные значения показателя (варианты); $\sum_{i=1}^n x_i$ — сумма вариант;

$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ — сумма квадратов отклонений вариант от среднего значения; n — число вариант; \bar{x} — среднее арифметическое; s — среднеквадратическое отклонение; V — коэффициент изменчивости.

При расчете статистических характеристик для большой выборки (число определений более 30) используют график рассеяния (см. рис. 58).

Приведем следующие основные формулы расчета статистик по методам сумм и произведений.

Статистическая характеристика	Формула **
Среднее арифметическое	$\bar{x} = a + \frac{b \Sigma_1}{N}$
Среднее квадратическое отклонение	$s = \sqrt{\frac{b^2 \Sigma_2}{N} - \left(\frac{b \Sigma_1}{N}\right)^2}$
Коэффициент изменчивости	$V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\%$
Центральный момент III степени M_3	$M_3 = \frac{\Sigma_3}{N} - \frac{3 \Sigma_2 \Sigma_1}{N \cdot N} + 2 \left(\frac{\Sigma_1}{N}\right)^3$

* Оценка среднего квадратического отклонения σ , полученная по выборочным данным, обозначается s .

** Порядок расчета Σ_1 , Σ_2 , Σ_3 и Σ_4 содержат таблицы, иллюстрирующие методы сумм и произведений (И. В. Коломенский, 1956 г.).

Статистическая характеристика

Момент IV степени M_4

Формула

$$M_4 = \frac{\Sigma_4}{N} - \frac{4\Sigma_3\Sigma_1}{N \cdot N} + 6 \frac{\Sigma_2}{N} \left(\frac{\Sigma_1}{N}\right)^2 - 3 \left(\frac{\Sigma_1}{N}\right)^4$$

Показатель асимметрии A

$$A = \frac{M_3 b_3}{S^3}$$

Ошибка показателя асимметрии m_A

$$m_A = \pm \sqrt{\frac{6}{N}}$$

Показатель эксцесса E

$$E = \frac{M_4 b_4}{S^4} - 3$$

Ошибка показателя эксцесса m_E

$$m_E = \pm \sqrt{\frac{24}{N}}$$

Произвольно выбранное значение показателя, близкое к среднему, a

Ширина классового интервала b

Оценка сходства (тождества) геологических тел. Статистическим сопоставлением, т. е. оценкой различия статистических характеристик значений показателей свойств по отдельным скважинам, профилям или участкам, проверяют предполагаемое единство геологических тел, выделенных визуально, уточняя таким образом положение их границ. Сначала проверяют сходство показателей вариации, вычисляя дисперсионное отношение $F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$ и величины:

$$\theta = \frac{n_1 - 3}{n_2 - 1} \cdot F; \quad s_{\theta} = \sqrt{\frac{2(n_1 + n_2 - 4)}{(n_1 - 1)(n_2 - 5)}} \quad \text{и} \quad R = \frac{|\theta - 1|}{s_{\theta}},$$

где n_1 и n_2 — число испытаний в каждой совокупности (скважине, профиле, участке), причем n_2 должно быть больше 5, а s_1^2 — наибольшая из дисперсий. При $R \leq 3$ расхождение между дисперсиями случайно.

При наличии специальных таблиц (табл. 84) величину F сравнивают с табличным значением для принятого уровня значимости q и степеней свободы $n_1 - 1$ и $n_2 - 1$. Различие дисперсий случайно, если $F_{\text{экс}} < F_{q1}$ табл.

Сходство средних значений устанавливают проверкой неравенства:

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| < t_q \sqrt{\frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}},$$

n_1 и n_2 — число определений в сравниваемых совокупностях; s_1^2 и s_2^2 — дисперсии совокупностей; \bar{x}_1 и \bar{x}_2 — сравниваемые средние значения; t_q — вероятностная характеристика, имеющая распределение Стьюдента (табл. 85). При выполнении неравенства различие средних значений случайно и, следовательно, они характеризуют один геологический объект.

Для сравнения средних значений небольших и равных по объему совокупностей можно использовать упрощенную оценку. Вычисляют отношение

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{R_1 + R_2},$$

где R_1 и R_2 — размах значений сравниваемых совокупностей. При $t_{\text{экс}}$ больше $t_{\text{табл}}$ (табл. 86) расхождение средних значений существенно.

Однородность геологических тел можно считать доказанной только при несущественности различия как средних значений, так и дисперсий.

Выборочные значения \bar{x} и s^2 , характеризующие одно геологическое тело, объединяют для оценки общего среднего значения и дисперсии:

$$\bar{x} = \frac{\sum_1^m \bar{x}_i n_i}{\sum_1^m n_i}; \quad s^2 = \frac{\sum_1^m s_i^2 (n_i - 1)}{\sum_1^m n_i - m} + \frac{\sum_1^m (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{m},$$

Критические значения отношения $F = \frac{s_{\max}^2}{s^2}$ при $q = 0,05$
(распределение Фишера)

$n_2 - 1$	$n_1 - 1$							
	2	3	4	5	6	12	24	∞
2	19,2	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,5	19,5
3	9,6	9,3	9,1	9,0	8,9	8,7	8,6	8,5
4	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	5,9	5,8	5,6
5	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0	4,7	4,5	4,4
6	5,1	4,8	4,5	4,4	4,3	4,0	3,8	3,7
7	4,7	4,4	4,1	4,0	3,9	3,6	3,4	3,2
8	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,3	3,1	2,9
9	4,3	3,9	3,6	3,5	3,4	3,1	2,9	2,7
10	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	2,9	2,7	2,5
12	3,9	3,5	3,3	3,1	3,0	2,7	2,5	2,3
14	3,7	3,3	3,1	3,0	2,9	2,5	2,3	2,1
18	3,6	3,2	2,9	2,8	2,7	2,3	2,1	1,9
26	3,4	3,0	2,7	2,6	2,4	2,1	1,9	1,7
60	3,2	2,8	2,5	2,4	2,3	1,9	1,7	1,4
120	3,1	2,7	2,5	2,3	2,2	1,8	1,6	1,3
∞	3,0	2,6	2,4	2,2	2,1	1,8	1,5	1,0

Критические значения t_q (критерии Стьюдента)

f^*	Доверительные уровни		f	Доверительные уровни		f	Доверительные уровни	
	95%	90%		95%	90%		95%	90%
1	12,71	6,31	14	2,15	1,76	27	2,05	1,70
2	4,30	2,92	15	2,13	1,75	28	2,05	1,70
3	3,18	2,35	16	2,12	1,75	29	2,04	1,70
4	2,78	2,13	17	2,11	1,74	30	2,04	1,70
5	2,57	2,02	18	2,10	1,73	40	2,02	1,68
6	2,45	1,94	19	2,09	1,73	50	2,01	—
7	2,37	1,89	20	2,09	1,72	60	2,00	1,67
8	2,31	1,86	21	2,08	1,72	80	1,99	—
9	2,26	1,83	22	2,07	1,72	100	1,98	—
10	2,23	1,81	23	2,07	1,71	120	1,98	1,66
11	2,20	1,80	24	2,06	1,71	200	1,97	1,65
12	2,18	1,78	25	2,06	1,71	500	1,96	1,64
13	2,16	1,77	26	2,06	1,71		1,96	1,64

* f — число степеней свободы, равное $(n_1 + n_2 - 2)$.

Таблица значений t для сравнения двух средних значений с использованием размаха

n	$t_{0,05}$	n	$t_{0,05}$	n	$t_{0,05}$	n	$t_{0,05}$
3	0,487	5	0,246	7	0,173	9	0,137
4	0,322	6	0,203	8	0,153	10	0,125

здесь x_i , s_i^2 , n_i — среднее значение, дисперсия и число определений по каждой выборке; m — количество объединяемых выборок; \bar{x} и s^2 — среднее значение и дисперсия показателя для геологического тела в целом.

Режим пространственной изменчивости показателей свойств. Режим пространственной изменчивости определяет операции по вычислению обобщенных и расчетных значений показателей свойств. Существуют два основных режима, устанавливаемых в главных направлениях изменчивости, — стационарный (случайный незакономерный) и нестационарный (случайный закономерный), когда показатель зависит от координат пространства.

Вычисление обобщенных и расчетных значений показателей возможно при стационарном режиме изменчивости, а при нестационарном — только для выделенных квазиоднородных участков (см. выше).

Обобщенное значение показателя представляет собой среднее значение, вычисленное по выборке частных значений, объема не менее 6: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$. За расчетное значение показателя принимается среднее значение показателя, гарантирующее заданную точность его вычисления с требуемой надежностью. При вычислении расчетного показателя по методу доверительных пределов в расчет принимается наименее благоприятное значение одного из пределов. Пределы устанавливаются в соответствии с выражением

$$a = \bar{x} \pm t_{\alpha} \frac{s}{\sqrt{n-1}},$$

где a — значение пределов обобщенного показателя, \bar{x} — среднее значение показателя; s — среднее квадратическое отклонение для совокупности значений показателя; n — число испытаний (объем выборки); t_{α} — характеристика доверительной вероятности.

При нестационарном режиме изменчивости вместо обобщенных значений для квазиоднородных участков определяют линейную функцию зависимости показателя от условной координаты в главном направлении изменчивости: $\bar{x} = al$. Здесь

$$a = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{l_2 - l_1},$$

где \bar{x}_1 и \bar{x}_2 — средние значения показателя в точках с условными координатами l_1 и l_2 . Зная координаты участка l_i , для которого вычислен обобщенный показатель \bar{x}_i , и функцию его изменения, можно получить значение обобщенного показателя x в любой заданной точке $\bar{x} = \bar{x}_i + a \Delta l$ (Δl — приращение координаты). Для всей площади геологического тела характеристикой обобщенного значения является тренд-поверхность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смирнова А. С.* Построение автоматизированных фактографических информационно-поисковых систем в геологии. — М.: Недра, 1976. — 96 с.
2. *Комаров И. С.* Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях. — М.: Недра, 1972. — 296 с.
3. *Олейников А. Н., Михайлова Ю. И.* Применение перфокарт в геологии. — М.: Недра, 1969. — 166 с.
4. *Чаповский Е. Г.* Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. — М.: Недра, 1975. — 304 с.
5. *ГОСТ 20522—75.* Грунты. — В кн.: Метод статистической обработки результатов определения характеристик. — М., 1975. — 13 с.
6. *СНиП II-15—74.* Основания зданий и сооружений. — В кн.: Нормы проектирования. — М.: Стройиздат, 1975. — 65 с.
7. *Бондарик Г. К., Иерусалимская Е. Н.* Рекомендации по моделированию геологических полей на ЭВМ. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1975. — 69 с.
8. *Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000—1 : 500 000).* — М.: Недра, 1978. — 391 с.

I. ЗАДАЧИ, ВИДЫ И ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

Инженерно-геологические исследования проводятся главным образом для обоснования проектирования различных видов строительства, разведки и эксплуатации месторождений полезных ископаемых, а также для осуществления других различных инженерных мероприятий. Основными задачами инженерно-геологических исследований являются: изучение геоструктурных, геоморфологических и гидрогеологических условий, современных геологических процессов; определение состава, состояния и свойств горных пород, обосновывающих рентабельное проектирование строительства и нормальную эксплуатацию инженерных сооружений. К числу важнейших факторов, изучаемых при инженерно-геологических исследованиях, относятся: распространение условия залегания, генезис, возраст, мощность, состав и свойства горных пород, подземные воды, современные геологические и инженерно-геологические процессы.

При инженерно-геологических исследованиях должны быть получены необходимые геологические данные для оценки места строительства и оптимального размещения на нем сооружений, выбора и расчета их конструкции и установления режима их эксплуатации.

Необходимо изучать также современные геологические процессы, которые могут угрожать сооружениям или нарушать их нормальную деятельность, для обоснования проектирования защитных мероприятий.

Результаты инженерно-геологических исследований должны обеспечивать также возможность количественного прогноза взаимодействия сооружения со средой, т. е. возможных величин осадки зданий, масштабов разрушения берегов водохранилищ и т. п.

Следует учитывать также возможную эффективность мероприятий, защищающих территорию, на которой расположены сооружения и сами сооружения от разрушительного воздействия современных геологических процессов.

Характерной особенностью изучения горных пород в инженерно-геологических целях является оценка их способности сопротивляться механическому, физическому и другим видам воздействия (давлению, сдвигу), определение водопроницаемости пород, их способности сохранять и соответственно менять свои свойства, когда они становятся объектом инженерной деятельности человека.

Процесс проектирования делится на ряд последовательных стадий, различных при разных видах строительства в зависимости от сложности сооружения и возможности использования при проектировании типовых конструкций. И. В. Попов рекомендует пользоваться инженерно-геологическими данными при проектировании сооружений для того, чтобы обосновать: 1) выбор места, наиболее благоприятного по геологическим условиям для размещения строительства и сооружения; 2) соответствующие принципиальные требования в отношении типов конструкций и методов работ при возведении сооружений и их эксплуатации; 3) мероприятия, которые могут улучшить инженерно-геологическое использование местности.

Для решения этих вопросов производят инженерно-геологические подготовительные, полевые и камеральные работы.

Подготовительные работы включают изучение района по имеющимся архивным, фондовым и литературным материалам, а также организацию работ и подготовку к выезду в поле.

В полевые работы входят: инженерно-геологическая съемка, буровые и горно-разведочные работы в сочетании с геофизическими, ландшафтно-геологическими, радиоактивными и другими методами исследований; опытные полевые и лабораторные работы и обработка полевых материалов. Лабораторные работы предусматривают изучение состава, состояния и свойств горных пород, определение агрессивности и коррозионности подземных вод по отношению к металлическим и бетонным конструкциям.

Камеральные работы заключаются в обработке материалов полевых исследований и составлении отчетов (заключений).

При инженерно-геологической характеристике горных пород очень важно установить их принадлежность к: структурным этажам, геологическим формациям, стратиграфо-генетическим комплексам, литолого-петрографическим типам и более мелким подразделениям пород (в зависимости от степени детальности масштаба исследований), а также выявить приуроченность к ним подземных вод и современных геологических процессов.

Задачей составления инженерно-геологических карт общего назначения является выявление и отражение общих инженерно-геологических условий изученной территории и возможность предварительного прогноза этих условий при ее освоении.

Глубинность картирования инженерно-геологических условий определяется, как правило, глубиной геологической изученности территории, но с учетом реально возможной средней величины воздействия наземных сооружений на горные породы.

II. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ, ИХ ТИПЫ И НАЗНАЧЕНИЕ

Инженерно-геологической картой называется графическое изображение важнейших инженерно-геологических факторов в пределах изученной территории, подлежащих учету при проектировании, строительстве, эксплуатации сооружений и осуществлении других инженерных мероприятий.

По данным инженерно-геологической съемки, в процессе которой комплексно изучаются геологические, гидрогеологические и геоморфологические условия, составляются инженерно-геологические карты и разрезы. Они являются основными документами, в которых отражены главнейшие результаты не только съемочных, но и разведочных, опытных, стационарных и других работ.

Как правило, составляют три типа инженерно-геологических карт: инженерно-геологические карты общего назначения, или карты инженерно-геологических условий, карты инженерно-геологического районирования и инженерно-геологические карты специализированные.

Детальность изучения и масштаб карт определяются назначением их, требованиями проектирования и сложностью инженерно-геологических условий. В зависимости от этого составляются карты мелко-, средне- и крупномасштабные.

Инженерно-геологические карты общего назначения составляют для общей оценки природных условий, в которых проектируется строительство. Карты инженерно-геологического районирования составляют как для общих, так и для специальных целей. Карту инженерно-геологического районирования и карту инженерно-геологических условий можно совмещать и показывать на одном листе.

На картах инженерно-геологического районирования наиболее крупные единицы территории обычно подразделяют на регионы — по геоструктурным признакам; на области — по геоморфологическим показателям; на районы по комплексам горных пород и на участки — по одному из характерных для данной территории факторов.

В зависимости от масштаба карты структурных и геоморфологических особенностей региона и области первого порядка территорию можно подразделять на регионы и области второго и третьего порядка.

Инженерно-геологические карты специализированного назначения составляют в соответствии с особенностями инженерно-геологических условий строительства и сооружений. Они могут быть разнообразны по своему содержанию. Ин-

женерно-геологические специализированные карты составляются применительно к требованиям конкретного объекта строительства или нескольких однородных его видов. На них дается оценка инженерно-геологических условий территории и ориентировочный прогноз инженерно-геологических процессов.

Для районов со сложным геологическим строением рекомендуется составлять вспомогательные карты, характеризующие отдельные элементы инженерно-геологических условий, например: оползневые, карстовые, геоморфологические, гидрогеологические и другие, отражающие специфические особенности инженерно-геологических условий территории, важные для данного строительства.

Инженерно-геологические карты специализированного назначения можно составлять в любом масштабе. Эти карты дополняются разрезами, таблицами, текстовыми пояснениями, отображающими явления и факторы, используемые для инженерно-геологической оценки местности.

Инженерно-геологической колонкой следует называть вертикальное сечение земной коры в какой-либо одной точке наблюдения с изображением на ней геологических факторов, отображенных и охарактеризованных в соответствии с требованиями, которые ставит проектирование и строительство инженерных сооружений.

Инженерно-геологические карты по назначению и детальности нагрузки подразделяются: на общие обзорные мелкого масштаба (от 1 : 500 000 и мельче); 2) среднего масштаба (от 1 : 200 000 до 1 : 100 000), крупного масштаба (от 1 : 50 000 до 1 : 25 000), 4) детальные крупномасштабные (от 1 : 10 000 и крупнее).

Общие обзорные карты мелкого масштаба (от 1 : 500 000 и мельче) составляются с целью отражения закономерностей формирования и распространения инженерно-геологических условий на больших территориях. Они используются при планировании размещения строительства, при проектировании детальных инженерно-геологических работ, как справочное пособие по общим инженерно-геологическим условиям, а также как цветное пособие в высших учебных заведениях.

Среднемасштабные карты (от 1 : 200 000 до 1 : 100 000) предназначаются для обоснования проектирования строительства различных сооружений: населенных пунктов, промышленных предприятий и т. д.

Крупномасштабные карты (от 1 : 50 000 до 1 : 25 000) служат для обоснования проектного задания при составлении планов застройки городов, дорожных узлов, отдельных гидротехнических сооружений и т. д.

Детальные крупномасштабные карты (от 1 : 10 000 и крупнее) предназначаются для обоснования проектного задания и технического проекта при застройке городских территорий, при размещении конкретных объектов промышленного строительства, гидротехнических узлов, транспортных коммуникаций и т. д.

Каждая инженерно-геологическая карта состоит из собственно карты, условных обозначений, инженерно-геологических разрезов и пояснительной записки.

В приложении к тексту пояснительной записки дается каталог опорных выработок, показанных на карте. Записка по возможности не должна повторять содержание карты, она призвана служить в основном дополнением к ней и пояснить то, что не отражено на карте.

Для составления инженерно-геологических карт всех масштабов необходимо использовать: 1) топографические, геологические (дочетвертичных и четвертичных образований или совмещенные), тектонические, геоморфологические, гидрогеологические и другие карты, составленные по результатам прежних исследований; 2) результаты работ по геологии, геоморфологии, гидрогеологии, инженерной геологии, метеорологии, гидрологии и др.; 3) заключения по результатам инженерно-геологических исследований отдельных строительных площадей и трасс; 4) материалы о деформациях территории и горных пород, происходящих под воздействием подземных работ, а также сведения о состоянии зданий и сооружений.

Инженерно-геологические карты составляют на разгруженной топографической основе, где должны быть показаны горизонталями высотные отметки, гидрографическая сеть, главнейшие населенные пункты, дороги и другие объекты, имеющие значение при инженерно-геологическом изучении территории.

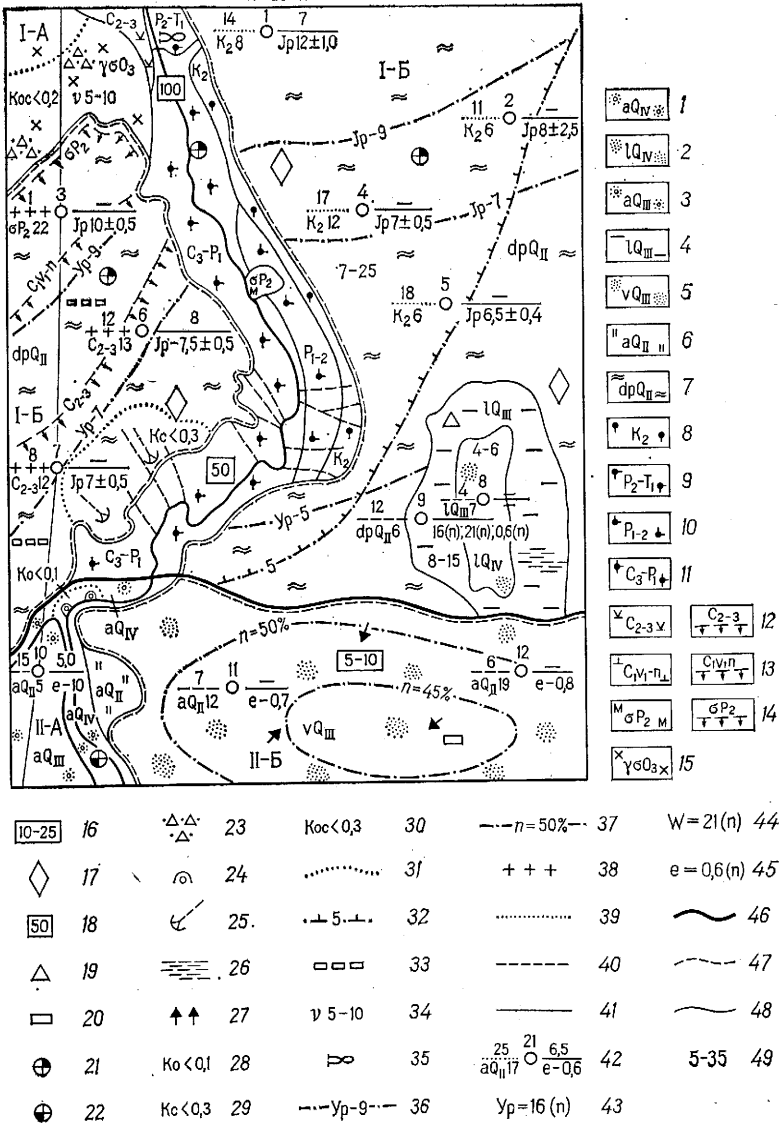


Рис. 60. Инженерно-геологическая карта. Распространение стратиграфо-генетических комплексов и литолого-петрографических типов пород:

1 — песчаный с крупнообломочными комплексы современных аллювиальных отложений (пески гравийно-галечниковые, разнозернистые с прослоями супесей и суглинков); 2 — песчаный комплекс современных озерных отложений (пески тонкозернистые с прослоями илов, суглинков и реже глин); 3 — песчаный с крупнообломочными комплексы верхнетвертичных отложений (пески гравийно-галечниковые с линзами лёссовидных суглинков и реже глин); 4 — суглики тяжелые верхнетвертичных озерных отложений; 5 — песчаный комплекс верхнетвертичных эоловых отложений (пески с редкими прослоями гравия); 6 — лёссовидный комплекс среднетвертичных аллювиальных отло-

жений (лессы, лёссовидные суглинки, переходящие книзу в толщу песков с гравием, галечником с прослоями сушей и суглинков); 7 — глинистый комплекс среднесчетвертичных делювиально-пролювиальных отложений (супеси, суглинки с прослоями песков и щебенки); 8 — песчаниково-конгломератовый комплекс терригенной формации верхнего мела (песчаники, конгломераты, галечники, глины, пески); 9 — песчаниково-конгломератово-туфовый комплекс вулканогенно-осадочной формации верхней перми — нижнего триаса (туфопесчаники, туфоконгломераты, песчаники, дациты, порфиры, фельзит-порфиры и их туфы); 10 — песчаниково-конгломератово-туфовый комплекс вулканогенно-осадочной формации нижней и верхней перми (конгломераты, туфопесчаники; песчаники, фельзит-порфиры, дациты, кварцевые порфиры, альбитофиры, порфиры и их туфы); 11 — туфоконгломератово-песчаниково-известняковый комплекс вулканогенно-осадочной формации верхнего карбона — нижней перми (туфоконгломераты, туфопесчаники, песчаники, известняки, конгломераты, аргиллиты, алевролиты, глинистые и углито-глинистые сланцы, сильно дислоцированные, разбитые трещинами выветривания); 12 — комплекс андезит-базальтовых порфиритов вулканогенной формации среднего-верхнего карбона (туфоконгломераты, туфопесчаники, фельзиты, порфиры, альбитофиры туфы, туфоловые порфиры, порфиры и их туфы); 13 — комплекс андезит-дацитовых и липаритовых порфиритов вулканогенной формации визейско-намурского яруса нижнего карбона (конгломераты, туфопесчаники, дацитовые и кварцевые порфиры, фельзит-порфиры); 14 — диорит-гранодиоритовый комплекс интрузивной формации верхней перми (диориты, гранодиориты, реже сенинты); 15 — гранит-гранодиоритовый комплекс интрузивной формации верхнего ордовика (граниты, гранодиориты, реже кварцевые диориты).

Характер обводненности, глубина залегания и агрессивность подземных вод; 16 — водоносные горизонты или комплексы первых от поверхности стратиграфо-генетических комплексов с указанием пределов глубины залегания подземных вод; 17 — спорадически обводненные стратиграфо-генетические комплексы; 18 — водоносная зона экзогенной трещиноватости стратиграфо-генетических комплексов с указанием ее мощности; 19 — водоупорные породы; 20 — водопроницаемые, но безводные стратиграфо-генетические комплексы; 21—22 — агрессивность подземных поверхностных вод по отношению к бетону (21 — общеислотная, 22 — сульфатная поверхностных вод — озера, реки и т. д.). Распространение современных экзогенных и эндогенных геологических процессов и явлений (выветривание, трещиноватость).

Гравитационные смещения на склонах:

23 — осыпи; 24 — оползни-оплывины в четвертичных отложениях.

Процессы, связанные с деятельностью поверхностных вод: 25 — сели грязекаменные;

26 — заболачивание (с возможным участием подземных вод).

Золотые процессы: 27 — перевевание и движение песков.

Пораженность современными экзогенными геологическими процессами: 28 — оползневыми; 29 — селевыми; 30 — осыпными; 31 — контур площади, пораженной экзогенными геологическими процессами.

Сейсмические процессы: 32 — изолиния землетрясений свыше 5 баллов.

Выветривание: 33 — обломочная кора выветривания и ее мощности (в м).

Трещиноватость: 34 — сильная трещиноватость, цифра — величина коэффициента трещиноватости (в %).

Инженерно-геологические процессы: 35 — деформации поверхности земли над подземными выработками.

Инженерно-геологические свойства горных пород: 36 — изолиния значений числа пластичности глинистых пород; 37 — изолиния значений пористости (n) песчаных пород. Инженерно-геологические группы пород (38—40): 38 — окальные, 39 — песчаные, 40 — связные (характер связи указывается видом черты — делителья дробы у скважины, соответствующим основным группам пород); 41 — скважина не вышла из верхнего комплекса пород.

Опорные инженерно-геологические скважины: 42 — сверху номер скважины на карте и в каталоге, слева: в числителе — мощность (в м) верхнего стратиграфо-генетического комплекса или литолого-петрографического типа пород, в знаменателе — геологический индекс и вскрытая мощность подстилающего стратиграфо-генетического комплекса или литолого-петрографического типа пород справа: в числителе — глубина залегания уровня подземных вод верхнего стратиграфо-генетического комплекса или литолого-петрографического типа пород, в скобках — величина напора (в м), в знаменателе — а) для стратиграфо-генетического комплекса среднее экспериментальное значение выбранного классификационного показателя и его среднее квадратическое отклонение (n); б) для литолого-петрографического типа пород экспериментальные величины средних значений выбранных классификационных показателей и их среднее квадратическое отклонение (n), согласно СНиП II-15—74; в) для суглинков тяжелых: 43 — число пластичности, 44 — коэффициент пористости, 45 — естественная влажность (в %).

Инженерно-геологическое районирование.

Регион I. Малайский антиклинорий: I-A — область низкогорья; I-B — область слабо-волнистой равнины.

Регион II. Предгорная впадина: II-A — область Наклонной равнины; II-B — область холмистых, бугристо-грядовых золотых песков.

Дополнительные знаки: 46 — граница инженерно-геологических регионов; 47 — граница инженерно-геологических областей; 48 — граница инженерно-геологических районов (стратиграфо-генетических комплексов); 49 — мощность (в м) первого от поверхности стратиграфо-генетического комплекса или литолого-петрографического типа пород

Принципы составления инженерно-геологических карт. За основу построения инженерно-геологических карт разного масштаба в настоящее время принимается формационный, стратиграфо-генетический принцип с указанием принадлежности: дочетвертичных горных пород к структурным этажам и четвертичных отложений к генетическим типам.

На инженерно-геологических картах отражаются: распространение формаций и слагающих их стратиграфо-генетических комплексов или петрографических типов горных пород с указанием их состава и возраста; характер обводненности, глубина залегания, агрессивность и напорность подземных вод; распространение современных экзогенных геологических процессов и степень пораженности ими территорий; генетические типы рельефа с преобладающей направленностью новейших тектонических движений; основное направление изменчивости одного из классификационных показателей свойств горных пород; характеристика мощностей верхнего и подстилающего стратиграфо-генетических комплексов (типов) пород.

Основные классификационные показатели инженерно-геологических свойств пород указываются у типовой скважины.

III. СОДЕРЖАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ

На инженерно-геологические карты наносятся стратиграфо-генетические комплексы горных пород, относящиеся к геологическим формациям. Для четвертичных пород при этом указывается принадлежность их к генетическому типу.

Во ВСЕГИНГЕО М. В. Чуриновым, И. М. Цыпиной и В. П. Лазаревой составлена инженерно-геологическая стратификация горных пород, применяемая на инженерно-геологических картах (рис. 60).

Инженерно-геологическая стратификация пород дана с учетом: схемы И. В. Попова для расчленения толщ горных пород при инженерно-геологическом картировании; общей инженерно-геологической классификации пород и почв, составленной В. А. Приклонским, Е. В. Сергеевым, П. Н. Панюковым и Л. Д. Белым; схемы выделения таксономических единиц геологических тел, составленной Г. К. Бондариком (табл. 87), а также карты магматических формаций СССР м-ба 1 : 2 500 000 под редакцией Д. С. Харкевича и В. Н. Москалевой.

На основе схемы расчленения толщ горных пород при инженерно-геологическом картировании последние делятся на две группы формаций: магматических и осадочных.

Группы магматических формаций включают комплекс интрузивных и вулканогенных формаций пород с жесткими связями, для которых указываются стадии их формирования (геосинклинальная, инверсионная и консолидационная), определяющие петрографический состав слагающих их стратиграфо-генетических комплексов.

Группы осадочных формаций включают: карбонатные, терригенно-карбонатные, терригенные, кремнистые, кремнисто-карбонатные, флишевые, флишондные, молассовые, соленосные, угленосные и другие формации. Отмечаются складчатые или платформенные условия их формирования.

Перечисленные выше формации слагаются стратиграфо-генетическими комплексами пород, характеризующимися определенным генезисом, составом и возрастом, в совокупности определяющими главные параметры содержания инженерно-геологических карт, на которых им дается цветовая гамма (Методическое руководство по инженерно-геологической съемке м-ба 1 : 200 000, 1978).

Так, цвет стратиграфо-генетических комплексов дочетвертичных пород соответствует цвету формации, их включающей, а четвертичных пород — их генетической принадлежности. Оттенок цвета комплекса, присвоенного включающей его формации, отвечает возрасту комплекса. Густота цвета увеличивается с возрастом.

Для дочетвертичных пород оттенок цвета соответствует структурным этажам геологических групп пород (архей — протерозой, палеозой, мезозой и кайнозой).

Для четвертичных — густота цвета соответственно уменьшается от нижнечетвертичных к современным отложениям.

Таксономические единицы геологических тел,
выделяемых при инженерно-геологических исследованиях
(по Г. К. Бондарнику)

Таксономические единицы	Однородность	Признаки, по которым выделяются таксономические единицы	Методы выделения	Масштабы
Формация	Парагенетическая однородность геологических тел—элементов формации, обусловленная общностью процессов их формирования	Парагенетическое единство всех геологических тел, составляющих формацию	Анализ геологических данных	Мельче 1 : 500 000
Субформация	Парагенетическая однородность геологических тел—элементов субформации, обусловленная единством процесса их литогенеза	Признаки формации, сходство геологических тел по степени литификации или по другим характерным признакам или свойствам, приобретенным под влиянием некоего процесса, определившего литогенез	То же	Мельче 1 : 500 000
Генетический комплекс (тип четвертичных отложений)	Генетическая однородность геологических тел, входящих в комплекс	Признаки субформации+генетическое единство, геологическое единство геологических тел, составляющих комплекс	То же	1 : 500 000 и крупнее

Таксономические единицы	Однородность	Признаки, по которым выделяются таксономические единицы	Методы выделения	Масштабы
Стратиграфо-генетический комплекс	Возрастная однородность геологических тел, составляющих стратиграфо - генетический комплекс	Принадлежность к одному генетическому комплексу и единый возраст всех геологических тел	Анализ геологических данных, геофизические и другие скоростные методы	1 : 500 000 и крупнее
Литологический тип пород	Однородность породы по литологии	Признаки комплекса + одинаковый литологический состав породы, устанавливаемый путем визуальных и простейших инструментальных оценок	Визуальные полевые методы и экспресс-методы определения свойств пород	1 : 200 000 и крупнее
Вид породы	Классификационная однородность породы по косвенным показателям (по классификации СНиПа)	Признаки комплекса и типа + принадлежность всей породы вида к одному классификационному интервалу (по классификации СНиПа)	Полевые и лабораторные испытания пород	1 : 25 000 и крупнее
Разновидность	Статистическая однородность породы по прямым показателям	Признаки комплекса, типа и вида, нахождение всей породы в одном состоянии и непрерывность породы в пространстве, дающие возможность выбирать по СНиПам одно значение нормативного сопротивления	То же	1 : 10 000 и крупнее

Инженерно-геологические свойства горных пород отражаются на карте в виде показателей параметров инженерно-геологической изменчивости физико-механических свойств горных пород.

На карте изолиниями и цифрами у скважин показываются экспериментальные величины средних значений классификационных показателей, согласно СНиП II-15-74, и их среднеквадратические отклонения: для стратиграфо-генетического комплекса один показатель, а для литолого-петрографического типа — два и три показателя.

Характер связи между частицами пород второго подстилающего стратиграфо-генетического комплекса или литолого-петрографического типа указывается чертой — делителя дробы у скважины.

Изображение показателей свойств горных пород при инженерно-геологическом картировании впервые предложили Н. В. Коломенский, Г. К. Бондарик, М. И. Горальчук, Е. Н. Иерусалимская и др.

Они рекомендуют при инженерно-геологических исследованиях крупных территорий выполнять математическое моделирование любых геологических параметров, в том числе геологических полей изменения показателей, что позволяет получить возможности объективного отражения в модели реальной изменчивости этих свойств на основе анализа экспериментальных данных.

На инженерно-геологических картах рекомендуется отражать характер обводненности стратиграфо-генетических комплексов, глубину залегания подземных вод в первом от поверхности стратиграфо-генетическом комплексе или литолого-петрографическом типе и их агрессивность.

При оценке водоносности пород принимаются следующие типы обводненности: водоносный горизонт, водоносный комплекс, водоносная зона трещиноватости, спорадически обводненные толщи пород, водопроницаемые, но безводные и, наконец, водоупорные толщи пород. В областях развития многолетнемерзлых пород надмерзлотные сезонные, верховодка, в которых вода в жидкой фазе существует не более двух-трех месяцев в год, воды временных таликов, грунтовые воды, надмерзлотные воды переменного годового и фазового режима и надмерзлотные грунтовые воды, находящиеся в жидкой фазе в течение всего года с местным напором.

На инженерно-геологических картах крупного масштаба для равнинных территорий рекомендуется строить гидроизогипсы или показывать глубину залегания подземных вод цифрами в следующих градациях: 0,5—1,0; 1,0—3,0; 3—5; 5—10; 10—15 и >15.

Агрессивность подземных и поверхностных вод, связанная с наличием растворенных в ней солей и газов, вызывающих разрушение бетона в основании сооружений. Она отражается на инженерно-геологических картах показом следующих ее видов: выщелачивающая при содержании HCO_3 меньше 2 мг-экв/л; общекислотная $\text{pH} < 5$; углекислотная $\text{CO}_2 > 3$ мг/л; сульфатная SO_4 больше 250 мг/л; магнизиальная Mg при 750 мг/л и выше; воды неагрессивные.

На инженерно-геологических картах наносятся современные геологические процессы с учетом анализа условий их развития, генетической принадлежности, а также количественной оценки проявления активности, интенсивности и пораженности.

Направленность развития современных экзогенных геологических процессов обусловлена характером рельефа, преобладающими неотектоническими движениями, генезисом и составом стратиграфо-генетических комплексов пород их составом и свойствами, гидрогеологическими условиями с учетом ландшафтно-климатической зональности и наличия многолетней мерзлоты.

Выделенным в соответствии с генетической принадлежностью современным экзогенным геологическим процессам дается количественная характеристика, позволяющая оценить масштабы развития и их роль при установлении общих закономерностей, формирования инженерно-геологических условий территории и прогноза их возникновения и развития.

Для инженерно-геологических карт м-ба 1 : 25 000 при оценке современных геологических процессов указываются их объемы, размеры, типы по составу и интенсивность развития.

Современные экзогенные геологические процессы и явления делятся по генезису на гравитационные смещения на склонах: эоловые процессы, процессы гра-

витационного уплотнения, процессы, связанные с деятельностью поверхностных подземных вод, процессы и явления, связанные с многолетней мерзлотой. Помимо этого на инженерно-геологической карте показывается выветривание и трещиноватость горных пород.

Выветривание — с указанием состава коры (обломочная или глинистая), а трещиноватость — с указанием ее степени развития.

На инженерно-геологической карте отражаются также инженерно-геологические явления, связанные с водоотливом (искусственное понижение уровня подземных вод); горное давление и сдвигание пород над горными выработками.

На инженерно-геологических картах показываются типовые скважины, которые нужны для характеристики инженерно-геологического строения стратиграфо-генетического комплекса или литолого-петрографического типа с указанием сверху номера скважины. Слева в числителе приводится геологический индекс и мощность (в м) верхнего стратиграфо-генетического комплекса или литолого-петрографического типа, в знаменателе — геологический индекс и вскрытая мощность подстилающего стратиграфо-генетического или литолого-петрографического типа. Справа, в числителе дается глубина залегания уровня подземных вод верхнего стратиграфо-генетического комплекса или литолого-петрографического типа, в скобках — величина напора (в м); для литолого-петрографического типа: в числителе она дополняется значением удельного дебита, а в знаменателе — показателями инженерно-геологических свойств горных пород.

Инженерно-геологические разрезы. К инженерно-геологическим картам прилагаются таблицы, графики, разрезы и колонки, содержащие результаты определения состава, состояния и свойств горных пород по результатам визуальных, опытно-полевых и лабораторных определений.

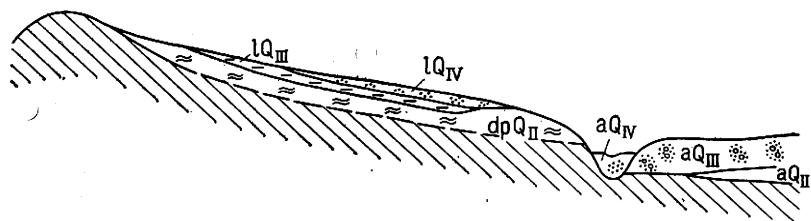


Рис. 61. Схема соотношения стратиграфо-генетических комплексов и литолого-петрографических типов пород четвертичных отложений

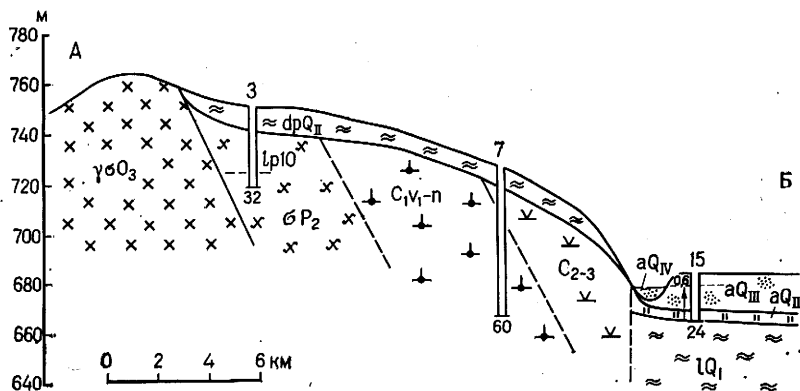


Рис. 62. Инженерно-геологический разрез в типовой инженерно-геологической скважине: цифра сверху означает номер по каталогу, справа — показатель инженерно-геологических свойств горных пород, стрелка и цифра соответствуют глубине появления и величине напора (в м) подземных вод

Инженерно-геологическая карта сопровождается одним-двумя инженерно-геологическими разрезами. Разрезы составляются через всю площадь карты в меридиональном и широтном направлениях и в соответствии со стратиграфической схемой, принятой для данной территории.

Инженерно-геологические разрезы должны строго соответствовать карте и отображать особенности стратиграфического подразделения территории.

Горизонтальный и вертикальный масштабы устанавливаются в зависимости от амплитуды расчленения рельефа, исходя из необходимости четкого изображения геологического строения.

На разрезах показывают опорные разведочные выработки с нанесением глубины появления подземных вод и установившихся уровней, а также границы элементов инженерно-геологического районирования.

На инженерно-геологических разрезах отражается пространственное положение и соотношение в вертикальной плоскости стратиграфо-генетических комплексов или литолого-петрографических типов пород до изученной глубины, а также среднее значение основных классификационных показателей физико-механических свойств пород в зоне опробования, что позволяет выявить главные направления изменчивости свойств пород (рис. 61—62).

В экспликации к инженерно-геологическим разрезам приводятся данные, характеризующие инженерно-геологическое районирование территории листа, воздействие воды на породу, а также изменчивость инженерно-геологических свойств горных пород (табл. 88).

Инженерно-геологические разрезы, являющиеся неотъемлемой частью карты и предназначенные для оценки инженерно-геологических условий на глубину, вскрытую пройденными для этой цели разведочными выработками, являются обязательным дополнением инженерно-геологической карты.

Инженерно-геологическая колонка. В левой части колонки показываются стратиграфические подразделения дочетвертичных пород (до яруса или свиты) с их наименованием, возрастными индексами и мощностью (рис. 63).

В правой части колонки показываются стратиграфо-генетические комплексы или литолого-петрографические типы, их принадлежность к соответствующим формациям с указанием тектонических условий стадии развития, возраста, генезиса с преобладающим петрографическим составом комплексов пород и крайних пределов мощностей.

Стратиграфические подразделения приводятся с целью геологической увязки выделенных и показанных на инженерно-геологической карте единиц инженерно-геологической стратификации.

Четвертичные отложения показываются на схеме соотношения стратиграфо-генетических комплексов или литолого-петрографических типов пород.

Инженерно-геологическое районирование. Впервые принципы инженерно-геологического районирования были разработаны И. В. Поповым.

На картах инженерно-геологического районирования наиболее крупные единицы территории обычно подразделяются: на регионы — по геоструктурным признакам; на области — по геоморфологическим показателям; на районы — по комплектам горных пород и на участки — по одному из характерных для данной территории факторов. Выделение регионов должно отражать распределение и соотношение типов формаций, принадлежность последних к соответствующему структурному этажу и участие их в том или ином тектоническом цикле складчатости, т. е. должно показывать основу формирования инженерно-геологических условий территории.

В зависимости от масштаба карты, структурных и геоморфологических особенностей региона и области первого порядка территорию можно подразделять на регионы и области второго и третьего порядков.

На картах среднего и крупного масштабов в условных обозначениях приводят рекомендации по инженерно-геологическим мероприятиям, необходимые при подготовке территории для строительства.

Карты инженерно-геологического районирования могут составляться как самостоятельно, так и непосредственно на инженерно-геологической карте. Для карт мелкого масштаба карта инженерно-геологического районирования может выполняться в виде схемы-врезки.

Экспликация к инженерно-геологическому разрезу

Инженерно-геологическое районирование	регионы	I. Малайский антиклинорий, преобладание слабых новейших поднятий; зона недостаточного увлажнения		II. Предгорная впадина, преобладание слабых новейших опусканий; зона недостаточного увлажнения
	области	I—А. Низкогорье с амплитудой рельефа до 40 м. Развитие осыпных, селевых и эрозионных процессов	I—Б. Слабоволнистая предгорная равнина. Развитие селевых, эрозионных процессов и плоскостного смыва	II—А. Пологая, наклонная равнина с развитием плоскостного смыва, эрозии и оползней
Воздействие воды на горную породу		Интрузивные и вулканические осадочные и водонепроницаемые породы с коэффициентом размягчаемости $< 0,75$ в зоне выветривания и водонасыщенные $0,5—0,6$	Суглинки, супеси (dpQ_{II}) слабопроницаемые, сильносжимаемые, при водонасыщении размягчаются, быстро размокают	Песчаные аллювиальные комплексы (aQ_{IV}), хорошо водонепроницаемые
Изменчивость инженерно-геологических свойств горных пород		Граниты ($\gamma\sigma O_3$), коэффициент выветрелости изменяется в зоне трещиноватости до 100 м с глубиной от 0,6 до 0,8	Суглинок (dpQ_{IV}), I_p от 7 до 11, диорит-гранодиорит (σP_2); K_{bc} —изменяется в зоне мощностью 60 от 0,4 до 0,6	Песчаные комплексы (aQ_{IV} и aQ_{III}) Коэффициент пористости $e = 0,55—0,65$ Лёссовидный суглинок (aQ_{II}), показатель просадочности $\Pi = 0,3—0,15$

Система	Отдел	Ярус	Индекс	Мощность, м	Тектонические условия	Стадия развития	Стратиграфо-генетические комплексы и литолого-петрографические типы пород			Условный знак на карте	Крайние пределы мощности, м		
							Генезис	Возраст	Состав				
Каменноугольная нижний	Меловая	Верхний	K ₂	35	Складчатая область	Вулканоогенно-осажденная	Терригенная	Мор-континентальный	K ₂	Песчаниково-конгломератовый	↑	17-35	
	Триасовая Пермская	Нижний-Верхний	P ₂ -T ₁	180			Вулканоогенно-осажденная	Терригенная	Мор-континентальный	P ₂ -T ₁	Песчаниково-конгломератово-туфовый		↑
	Пермская		P ₁₋₂	240						P ₁₋₂	Песчаниково-конгломератово-туфовый. Конгломераты, песчаники, туфы	↑	170-240
	Каменноугольная-пермская	Верхний карбон-нижняя пермь	C ₃ -P _{кп}	900						C ₃ -P _{кп}	Туфоконгломератово-песчаниково-известняковый. Туфоконгломераты, туфопесчаники, известняки, аргиллиты	↑	800-900
	Каменноугольная	Средний-верхний карбон	C ₂₋₃	1100						C ₂₋₃	Андезит-базальтовых порфиров. Туфоконгломераты, туфопесчаники, фельзит-порфиры	К	970-1100
Каменноугольная	нижний	C ₁ ph	1200				C ₁ ph	Андезит-дацитовых и липаритовых порфиров. Туфопесчаники, дацитовые и кварцитовые порфиры	↑	1100-1200			

Рис. 63. Инженерно-геологическая колонка дочетвертичных пород

Во ВСЕГИНГЕО М. В. Чуриновым, И. М. Цыпиной и В. П. Лазаревой выполнена инженерно-геологическая типизация территории СССР, основанная на принципе учета влияния комплекса природных факторов, определяющих инженерно-геологические условия конкретной территории с целью оценки ее строительного освоения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарик Г. К. Классификация геологических тел при инженерно-геологических съемках. — Разведка и охрана недр, 1973. № 10. — 16 с.
2. Бондарик Г. К., Горальчук М. И., Сироткин В. Г. Закономерности пространственной изменчивости лессовых пород. — М.: Недра, 1976. — 235 с.
3. Коломенский Н. В. Общая методика инженерно-геологических исследований. — М.: Недра, 1968. — 342 с.
4. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000—1 : 500 000). — М.: Недра, 1978. — 391 с.
5. Попов И. В. Инженерная геология. — Изд-во МГУ, 1959. — 510 с.
6. Попов И. В. Инженерная геология СССР, ч. II. Европейская часть СССР. — М.: Изд-во МГУ, 1965. — 471 с.
7. Грунтоведение. Е. М. Сергеев, Г. А. Голодковская, Р. С. Зиянгиров, В. И. Осипов, В. Т. Трофимов/Под ред. Е. М. Сергеева. — М.: изд-во МГУ 1974. — 595 с.

Глава восьмая

ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

I. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Инженерно-геологические исследования при выборе строительной площадки, выполняемые с целью сравнительной оценки возможных вариантов ее размещения (первая стадия изысканий), включают в себя проведение следующих работ.

1. Сбор, систематизация и анализ имеющихся геологических, гидрогеологических и других материалов, включая данные об опыте местного строительства по исследуемому району.

2. Инженерно-геологическая рекогносцировка. При рекогносцировке производится маршрутное обследование района и осуществляется проходка 1—2 разведочных выработок на каждом геоморфологическом элементе обследуемой территории, сопровождаемая отбором образцов пород для последующих лабораторных исследований по определению в основном классификационных показателей свойств грунтов. Глубина выработок определяется в зависимости от типа сооружений и сложности инженерно-геологических условий. Как правило, она не превышает 20 м.

3. Выяснение общих сведений о гидрогеологии района и о наиболее высоком положении уровня грунтовых вод.

4. Камеральная обработка материалов и составление отчета.

На выбранной площадке (вторая стадия) изыскания производятся с целью получения инженерно-геологических данных для составления генерального плана промышленного предприятия (комплекса зданий гражданского строительства) с учетом прогноза возможного изменения природных условий территории в связи со строительством и эксплуатацией сооружений (зданий).

В состав работ входят: 1) инженерно-геологическая съемка; 2) буровые, горнопроходческие и геофизические работы; 3) полевые опытные инженерно-геологические работы; 4) гидрогеологические исследования; 5) лабораторные исследования; 6) камеральные работы и составление отчета.

Для инженерно-геологического районирования выбранной площадки с целью принятия оптимальных проектных решений производится инженерно-геологическая съемка территории в масштабах 1 : 2000—1 : 10 000 в зависимости от сложности инженерно-геологических условий и класса проектируемых сооружений и зданий.

Буровые, горнопроходческие и геофизические работы выполняются в целях: 1) установления состава и мощности пород, особенностей их залегания; 2) определения глубины залегания грунтовых вод; 3) отбора образцов породы и воды для лабораторных исследований; 4) проведения полевых опытных инженерно-геологических работ и гидрогеологических исследований.

Количество, глубина и размещение выработок определяются их назначением, степенью изученности и сложности исследуемой площадки, а также классом проектируемых сооружений. В зависимости от сложности инженерно-геологических условий, характера сооружений и намечаемого расположения расстояние между соседними выработками изменяется примерно от 30 до 100—200 м.

На участках строительства наиболее тяжелых и ответственных сооружений, таких, как доменные цехи, заводские трубы и некоторые другие, при сложных инженерно-геологических условиях глубина выработок может увеличиваться до 30 м, а в отдельных случаях до 50 м и более.

Выбор способа проходки выработок и их диаметров производится с учетом требований СНиП II-9—78.

В процессе проходки выработок производят отбор и упаковку образцов грунтов (в соответствии с ГОСТ 12071—72) и проб воды для лабораторных исследований. Размещение и количество выработок, из которых отбираются образцы, устанавливаются так, чтобы получить обобщенные значения прямых показателей физико-механических свойств грунтов для каждого выделенного инженерно-геологического элемента с учетом возможности изменения этих свойств в процессе строительства и эксплуатации проектируемого сооружения. Места отбора и количество проб воды для определения химического состава и агрессивности устанавливаются в зависимости от размера площадки, инженерно-геологических особенностей участка, характера проектируемых сооружений и зданий.

При штамповых испытаниях в шурфах следует применять: а) глухой круглый штамп площадью 5000 см^2 (диаметром 79,8 см) — в крупнообломочных, глинистых с консистенцией $J_L > 0,25$ грунтах и песчаных грунтах средней плотности и рыхлых; б) штамп площадью 2500 см^2 (диаметром 56,4 см) — в плотных песчаных грунтах и глинистых грунтах с консистенцией $J_L \leq 0,25$.

В скважинах следует использовать штампы площадью 600 см^2 (диаметром 27,7 см): а) глухой — в песчаных грунтах, залегающих выше уровня грунтовых вод, и глинистых грунтах с консистенцией $J_L \leq 0,75$; б) фильтрующей — в глинистых грунтах с консистенцией $0,75 < J_L \leq 1,0$; в) с ножами (защитителями забоя) — в песчаных грунтах, залегающих ниже уровня грунтовых вод, и глинистых грунтах с консистенцией $J_L > 1,0$.

Нормативные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов для расчета оснований зданий и сооружений находят путем прямых определений, выполняемых полевыми или лабораторными методами.

Гидрогеологические исследования (опытные работы и стационарные наблюдения) выполняются для определения: 1) коэффициента фильтрации пород (откачка воды из скважин и шурфов, налив воды в скважины и шурфы, нагнетания воды в скважины, наблюдения за скоростью восстановления уровня при проходке выработок); 2) уровней, направления и скорости движения грунтовых вод, а также их агрессивности и коррозионности; 3) глубины зимнего промерзания пород; 4) амплитуды сезонного и годового колебания уровней подземных вод.

Лабораторные исследования производятся с целью определения состава, состояния и строительных свойств пород, а также химического состава грунтовых вод, их агрессивности и коррозионности в зависимости от сложности инженерно-геологических условий, особенностей пород, размеров исследуемой территории, а также характера и класса возводимых сооружений и зданий.

Камеральные работы включают: 1) предварительную (текущую) обработку материалов в период полевых изысканий; 2) окончательную обработку материалов после завершения полевых работ и исследований пород и воды в лаборатории, а также составления отчета.

Для определения расчетных характеристик пород производится статистическая обработка частных значений показателей, полученных в результате проведения лабораторных и полевых опытных инженерно-геологических работ в соответствии с требованиями СНиП II-15—74 и Руководства по проектированию оснований зданий и сооружений.

Инженерно-геологические исследования в сейсмических районах (с сейсмичностью 7 баллов и выше) имеют целью уточнение сейсмичности площадки, составление карт сейсмического микрорайонирования с установлением и оконтуриванием особо неблагоприятных в сейсмическом отношении участков.

Для столиц союзных республик и крупных городов, а также при строительстве особо ответственных объектов сейсмическое микрорайонирование, согласно СНиП II-A.12—69, рекомендуется проводить с помощью инструмен-

тальных наблюдений путем регистрации колебаний от сильных и слабых землетрясений и определять сейсмическую жесткость пород.

По результатам инженерно-геологических исследований с учетом данных инструментальных наблюдений уточняют сейсмичность площадки строительства (с округлением до целых баллов) и составляют карту сейсмического микрорайонирования в масштабах 1:5000—1:25 000, на которой показывают участки с разной сейсмической устойчивостью.

Инженерно-геологические исследования на болотах должны обеспечивать выявление рельефа дна болота и минеральный состав дна; условия образования болота и его тип, глубину залегания и состав подземных вод, как правило, сильноагрессивных по отношению к материалам фундаментов и подземных частей сооружений, характер подземного и поверхностного питания болота, физические свойства болотных образований (торфа и сапропелей), их ботанический состав, степень разложения торфа и прочие свойства в основном с целью определения возможности осушения болота.

При инженерно-геологических исследованиях на азоторфованных территориях выявляют участки, покрытые слоем торфа мощностью более 0,3 м и имеющие в составе песчаных и глинистых грунтов растительные остатки, относительное содержание которых по массе от минеральной части составляет: в песчаном грунте $>0,03$; в глинистом грунте $>0,05$.

Инженерно-геологические исследования с использованием геофизических методов в карстовых районах должны обеспечить: 1) выявление участков, наименее подверженных карстовым процессам; 2) установление пригодности площадки для возведения намечаемых сооружений и зданий; 3) определение возраста, причин и условий развития или повторных проявлений карста; 4) установление влияния карста на существующие сооружения, а также влияния последних на дальнейшее развитие карста; 5) разработку инженерных мероприятий по подготовке закарстованной площадки для намеченного использования.

При инженерно-геологических исследованиях в районах развития оползней выявляют причины древних и современных нарушений устойчивости отдельных участков, устанавливают типы оползней, особенности их микрорельефа, наличие и состояние инженерных сооружений, включая водопроводную и канализационную сеть, выясняют роль подземных вод в возникновении оползневых явлений, производят оценку устойчивости территории в связи с проектируемым строительством и эффективностью ранее примененных противооползневых мероприятий. Разведку оползневых участков ведут по створам, расположенным вдоль и поперек направления их движения. Для детального изучения оползневых участков, помимо разведочных, используют геологосъемочные, геофизические и другие виды работ. Среди геофизических методов исследований наиболее распространены: электроразведка, сейсморазведка и сейсмоакустика, которые применяются для прослеживания плоскости скольжения оползней, а также радиоактивные методы, используемые для изучения подвижек.

Инженерно-геологические исследования в районах развития многолетнемерзлых пород выполняют согласно требованиям технических условий проектирования оснований и фундаментов на многолетнемерзлых породах (СНиП II-18—76). Изыскания проводят в объеме, позволяющем: 1) установить пригодность площадки для возведения на ней проектируемых сооружений и зданий; 2) выявить физико-механические особенности мерзлых пород; 3) обосновать выбор конструктивного решения по использованию пород основания; 4) обеспечить разработку мероприятий по регулированию температурного режима многолетнемерзлых пород и по борьбе с наледями и пучением; 5) дать прогноз возможных изменений мерзлых грунтов в процессе строительства и при последующей эксплуатации сооружений и зданий.

При инженерно-геологических исследованиях в районах распространения искусственно образованных (насыпных и намывных) пород дополнительно должны быть определены: 1) способ отсыпки (намыва); 2) давность отсыпки (намыва);

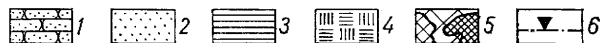
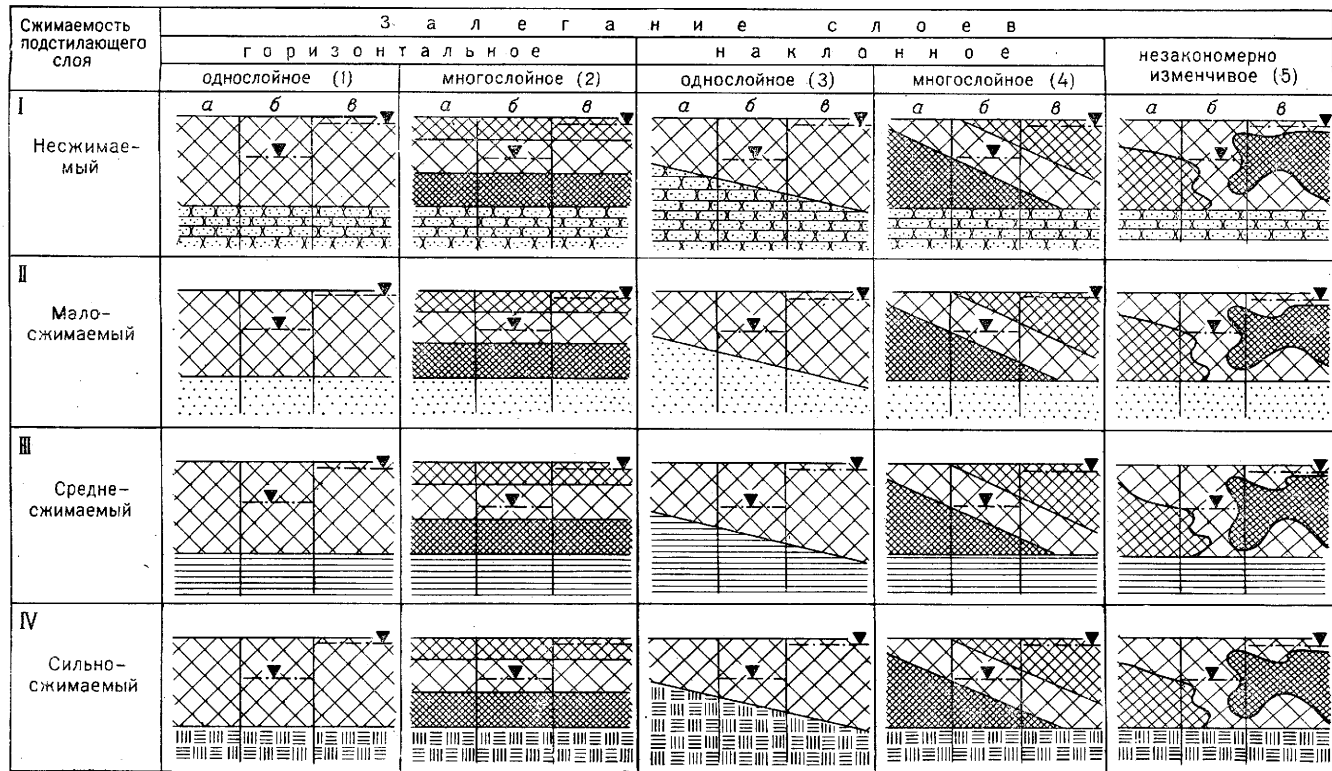


Рис. 64. Типизация основания из искусственных грунтов (по М. И. Хазанову).

Грунт: 1 — несжимаемый; 2 — малосжимаемый; 3 — среднесжимаемый; 4 — сильносжимаемый; 5 — искусственный; 6 — уровень грунтовых вод

3) неоднородность состава и сложения; 4) рельеф поверхности подстилающих пород в пределах площадки; 5) изменение плотности, влажности, прочностных и деформационных свойств насыпных (намывных) пород в зависимости от давности их отсыпки (намыва).

Инженерно-геологическую оценку оснований зданий и сооружений и разработку рекомендаций по их использованию целесообразно производить на основе предложенной М. И. Хазановым типизации оснований из искусственных грунтов (рис. 64).

При изучении насыпных и намывных пород рекомендуется широко использовать результаты полевых опытных инженерно-геологических работ, в первую очередь, — динамического и статического зондирования.

II. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Сложные условия для дорожного строительства создаются при наличии заболоченных территорий и торфяников, глубоко расчлененных эрозией склонов крутизной $>10^\circ$, значительного развития современных геологических процессов, тектонически нарушенного залегания трещиноватых пород с ослабленной их прочностью, коры выветривания, легкорастворимых пород и распространения островной мерзлоты.

Инженерно-геологические изыскания проводят для обоснования проектов: трассы, земляного полотна, искусственных сооружений (включая тоннели и мостовые переходы), устройств электрификации и связи, станционных комплексов, промышленных предприятий и жилых поселков дорожников, карьерного хозяйства и организации строительства на всех стадиях проектирования новой дороги или реконструкции дорожных сооружений.

При технико-экономическом обосновании целесообразности строительства новой дороги или реконструкции существующей в задачу инженерно-геологических изысканий входит получение информации, необходимой наряду с другими технико-экономическими показателями для выбора оптимального направления дороги и размещения на местности узловых дорожных комплексов (мостовые переходы, тоннели, площадки узлов и участковых станций, базовые карьеры на месторождениях строительных материалов и др.).

Основное в составе выполняемых для ТЭО инженерно-геологических работ — это сбор, систематизация и обобщение фондовых материалов и (в первую очередь) данных по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации.

На основе ландшафтно-индикационных методов снимки сначала дешифрируют камерально (в инженерно-геологическом отношении). При этом составляют предварительную инженерно-геологическую карту района в масштабе 1 : 25 000 — 1 : 50 000. Этого часто бывает достаточно для выбора варианта направления линии и способа реконструкции дороги в простых инженерно-геологических условиях.

При слабой изученности необжитого района и при сложных условиях по составленной камерально карте намечают представительные для отдельных частей района ключевые участки. На них, а также на барьерных для дороги местах (склоны с лавинами, селями, осыпями, оползнями, площади развития современного соляного и гипсового карста; большие глубокие болота; подземные льды; участки распространения льдистых грунтов IV категории просадочности при свободном оттаивании; наледи) и на узловых проектируемых комплексах выполняют наземные инженерно-геологические (геокриологические) съемки с сопутствующими им геофизическими и разведочными работами. При полевом дешифрировании фотоосновы съемки и поисков месторождений стройматериалов уточняют и дополняют легенду дешифровочных признаков.

На каждом ключевом участке, барьерном и узловом пересечении закладывают и опробуют 2—4 опорные скважины глубиной 0—15 м для построения предварительных инженерно-геологических профилей.

В стадии разработки технического (техно-рабочего) проекта выполняют основные объемы инженерно-геологических работ всех видов.

По выбранному при ТЭО варианту трассы (сторонности второго пути и т. п.) выполняются инженерно-геологические съемки масштаба 1 : 5000—1 : 10 000, в простых условиях в полосе шириной 200—300 м по обе стороны от оси трассы, а в сложных условиях при интенсивности проявления геологических процессов съемками масштаба 1 : 5000—1 : 25 000, охватывая все сечение долины.

В простых условиях участок каждого отдельно проектируемого сооружения (выемка, насыпь, водопропускная труба, опора моста и др.), дорожного здания должен быть освещен 2—4 выработками на всю глубину сферы воздействия сооружения на массив грунта для возможности построения продольного и поперечных геологических разрезов и для отбора образцов грунтов и проб воды на анализ. При пестроте геологического строения массива и размерах сооружения в длину больше 300 м для построения инженерно-геологической модели сферы воздействия число выработок увеличивается. Напротив, при размещении группы или комплекса сооружений и зданий в пределах одного инженерно-геологического (геокриологического) участка число выработок и объемы опробования могут быть сокращены.

Опробован должен быть каждый локальный инженерно-геологический элемент сфер воздействия проектируемых сооружений и зданий на массивы пород. Расчетные характеристики свойств грунтов (мгновенную и длительную прочность, сжимаемость, водопроницаемость, суммарную влажность и льдистость и др.) определяют в основном при индивидуальном проектировании земельного полотна (высокие откосы выемок и насыпей, разработка грунтов с помощью гидромеханизации или массовых взрывов и пр.) и на участках размещения узловых комплексов сооружений и зданий. Доверительная вероятность обобщения упомянутых параметров должна быть не менее 0,085, а для основания опор проектируемых средних и больших мостов не ниже 0,95.

Основные объемы разведки, полевых испытаний грунтов в массивах и лабораторного опробования, режимных гидрогеологических, температурных и стационарных наблюдений за развитием и протеканием неблагоприятных геологических процессов, а также объемы опытных работ выполняют на участках со сложными инженерно-геологическими условиями.

Большинство неблагоприятных образований выявляется при дешифрировании фотоматериалов и проведении наземных инженерно-геологических съемок. Скрытые явления (подземные льды, карстовые полости и др.) находят и приближенно оконтуривают с помощью комплекса геофизических исследований, главным образом электро- и сейсморазведки в различных модификациях. Так же нащупывают и поверхности раздела в изучаемой толще пород: кровлю скальных пород, кровлю и подошву вечномерзлой толщи, уровни грунтовых вод и др.

На пересечении проектных габаритов и контуров природных образований и по серединам пересечения последних трассой или сооружением задают и опробуют дополнительные выработки до подошвы изучаемого тела пласта или линзы подземного льда, гидроакколита, карстовой полости, дна болота с заглублением ниже его на 1—2 м.

Многие участки трассы труднодоступны (косогоры, береговые прижимы, осыпи и курумы, мари и болота и др.) для транспорта. Поэтому на дорожных изысканиях применяют самоходные на гусеничной базе или на автомобилях высокой проходимости установки комбинированного либо колонкового бурения скважин: УГБ-50 М, СБУДМ-150-ЗИВ, УРБ-2А-2 и др. Если проезд к точке разведки невозможен, то применяют разборные станки БУКС-ЛГТ, БУВ-1 Б, УБР-1 и др. Части этих станков доставляют на место выюком или на руках.

Испытания прочности и деформируемости грунтов в массиве: статические нагружения на штампы, сдвиги целиков, обрушения и выпирания призм крупнообломочных грунтов, статическое и динамическое зондирования, опытные откочки и другие испытания образцов в лаборатории проводят по общепринятой методике.

В стадии рабочего проектирования те же работы, что и в предшествующей стадии, выполняют на участках перетрассировок, смещения положения отдельных проектируемых сооружений на местности. При начавшемся строительстве освидетельствуют вскрываемые выемки, котлованы, карьеры, тоннельные выработки, траншеи различных коммуникаций (кабелей, дренажей, трубопроводов

и др.). При этом проверяют соответствие натуре инженерно-геологических моделей массивов, составленных при изысканиях. Уточняют содержание поставленных инженерно-геологических прогнозов и при необходимости разрабатывают дополнительные прогнозы на периоды строительства и эксплуатации дорожных сооружений.

Основными результативными документами дорожных инженерно-геологических изысканий являются отдешифрованные фотоматериалы, карты разных масштабов, колонки выработок, поперечные и продольные инженерно-геологические профили, блок-диаграммы, паспорта месторождений строительных материалов и грунтов для возведения земляных сооружений. Кроме того, получают обобщенные значения характеристик прочности, деформируемости, водопроницаемости, объемных масс, реологических и теллофизических свойств грунтов локальных инженерно-геологических элементов в сферах воздействия на массивы различных сооружений дороги. К комплексному проекту дороги или проекту реконструкции и к каждому из его разделов выдают пояснительные инженерно-геологические записки.

III. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРУБОПРОВОДОВ

Трубопроводы (водопроводы, нефтепроводы, газопроводы, рассолопроводы и др.) характеризуются незначительной удельной нагрузкой на основание, обычно не превышающей $2 \cdot 10^4$ Па, но для них свойственна высокая чувствительность к механическим и температурным деформациям, которые могут вызвать осевые перемещения с повреждением стыковых соединений. Расчет трубопроводов производится с учетом прочности основания, массы пород засыпки или насыпи, глубины сезонного и наличия постоянного промерзания пород, сейсмичности, временных нагрузок (возникающих при пересечении железных и автомобильных дорог), блуждающих токов и степени агрессивного воздействия среды.

Состав и содержание инженерно-геологических изысканий для обоснования строительства трубопроводов и связанных с ними зданий и сооружений (насосные, наблюдательные и компрессорные станции, водонапорные башни, резервуары и пр.) определяются требованиями СНиП II-9—78, СНиП II-45—75 (магистральные трубопроводы) СНиП II-28—73, ГОСТ 9.015—74 (защита строительных конструкций от коррозии).

Инженерно-геологические изыскания трубопроводов обычно проводятся в две стадии: на первой — с целью обоснования выбора оптимального варианта трассы; на второй — по выбранному варианту трассы со съемкой участков индивидуального проектирования (оползневые склоны, конусы выноса, участки разветвляющейся осыпей и пр.).

При работах на первой стадии используются аэрофотоматериалы по району работ, осуществляется их дешифрирование с выделением элементов природной обстановки. Производится наземное или аэровизуальное инженерно-геологическое обследование полосы трассы шириной до 300 м. Осуществляется осмотр и описание естественных обнажений, колодцев, проявлений неблагоприятных физико-геологических процессов и т. п.

Местоположение, количество и глубина выработок определяются изученностью и сложностью инженерно-геологических условий полосы продолжения трассы. При простых инженерно-геологических условиях обычно проводится одна выработка глубиной 3—5 м на 5—10 км трассы или 1—2 выработки на каждом выделенном инженерно-геологическом участке.

В заключении (отчете) об инженерно-геологических условиях полосы продолжения трассы приводится сравнительная инженерно-геологическая характеристика вариантов трассы трубопровода и обосновывается выбор наиболее благоприятного варианта. К отчету прилагаются: обзорная топографическая карта района с указанием расположения рассмотренных вариантов; схематическая карта инженерно-геологического районирования трассы; схематические геолого-литологические профили (разрезы) всех вариантов, трассы; таблицы результатов лабораторных исследований свойств грунтов и воды.

Инженерно-геологические изыскания включают: проходку разведочных выработок по трассе и на площадках сооружений; дополнительные исследования участков индивидуального проектирования и отдельных переходов; лабораторные исследования грунтов (определение коррозионной и агрессивной активности пород и подземных вод.)

Количество разведочных выработок по трассе принимается в зависимости от местных условий. При простых условиях через каждые 200—500 м трассы закладывается одна выработка. Глубина выработок устанавливается, исходя из условий заглубления их на 1—2 м ниже отметок заложения трубопровода. Лабораторные исследования проводятся для определения классификационных и прямых показателей свойств грунтов, развитых по трассе трубопровода и на переходах, а также для получения данных о степени агрессивности грунтовых вод.

В районах со сложными инженерно-геологическими условиями необходимо проведение дополнительных специальных исследований согласно требованиям СНиП II-A.13—69.

В оползневых районах в процессе проведения инженерно-геологической съемки трассы в масштабах 1 : 25 000—1 : 5000 (масштаб съемки устанавливается исходя из конструктивных особенностей трубопровода с учетом сложности инженерно-геологических условий) выявляют участки склонов с различной степенью опасности нарушения устойчивости и определяют мероприятия, обеспечивающие устойчивость склона. В состав исследований входит: изучение тел оползней; изучение свойств пород и режима подземных вод; наблюдения за подвижками оползня, а также расчеты устойчивости склона. Глубина разведочных выработок назначается в зависимости от мощности оползневого тела.

В карстовых районах при инженерно-геологической съемке изучают морфологию и возраст карста; устанавливают возможность образования провалов или просадок; выявляют участки, наименее подверженные карстовым процессам; определяют мероприятия, обеспечивающие безопасность строительства и эксплуатации трубопровода; собирают сведения об опыте строительства и эксплуатации существующих сооружений.

Разведочные выработки по трассе закладывают, как правило, через 500—300 м на глубину, определяемую программой, в зависимости от глубины распространения карста.

На основании всех результатов исследований оконтуривают участки трассы с различной степенью закарстованности, на которых: а) строительство запрещается; б) строительство разрешается без проведения специальных мероприятий; в) строительство разрешается после осуществления специальных мероприятий.

В районах развития многолетней мерзлоты проводят специальные мерзлотно-грунтовые исследования с целью установления: глубины сезонного промерзания и протаивания грунтов; глубины залегания и характера рельефа верхней поверхности многолетней мерзлоты; типа мерзлоты (сплошная, слоистая); состава и льдистости мерзлых пород; термического режима деятельного слоя; степени пучения пород деятельного слоя; сжимаемости мерзлых пород при оттаивании; наличия наледей, термокарстовых понижений и т. д. Разведочные выработки по трассе задают в среднем через 300 м.

В районах развития просадочных грунтов устанавливают тип грунтовых условий, величину относительной просадочности при замачивании, а также мощность просадочных пород, глубина изучения которых не должна превышать 10—15 м.

При проектировании трасс трубопроводов в районах развития переработки берегов морей, озер и водохранилищ в процессе инженерно-геологической съемки масштаба не менее 1 : 25 000 изучают процессы переработки берегов и подпора грунтовых вод, устанавливают зоны возможной активизации современных геологических процессов и обосновывают мероприятия по предохранению трассы трубопровода от вредного воздействия переработки берегов и подтопления грунтовыми водами. Выработки проходятся по трассе в среднем через 300 м.

В горных районах особое внимание должно быть уделено изучению современных геологических процессов: возможности возникновения селей, оползней, осыпей, обвалов, снежных лавин и мерзлотных явлений. Выявляют степень опасности этих процессов и оконтуривают возможные зоны их влияния на тру-

бопроводы (масштаб инженерно-геологической съемки в этих районах должен быть не менее 1 : 50 000). Выявляют также наименее опасные участки для прокладки трубопровода, расположенные вне зоны динамического удара лавин, на прямолинейных и хорошо выработанных участках ущелий, где можно не опасаться образования заторов и изменения русел водотоков.

На заболоченных территориях изучают условия образования болота, устанавливают его тип, геологическое строение, состав и рельеф минерального дна; уточняют условия залегания грунтовых вод и характер питания болота; определяют химический состав грунтовых вод, физические свойства болотных образований, их ботанический состав, степень разложения; выясняют условия проходки траншеи для укладки трубопровода.

Выработки закладываются через 200—300 м с расчетом проходки скважинами минеральных грунтов на глубину до 2 м.

IV. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Инженерно-геологические изыскания воздушных линий электропередач (ВЛ) проводят в одну или две стадии. В одну стадию изыскиваются ВЛ для электроснабжения колхозов и населенных пунктов в сельской местности, а также ВЛ напряжением 3—20 кВ и 35—500 кВ, строительная стоимость которых не превышает установленных лимитов. Изыскания всех остальных ВЛ, как правило, производятся в две стадии.

Состав и содержание инженерно-геологических исследований линий электропередач устанавливают в соответствии с общими положениями СНиП II-9—78, инструкцией по инженерным изысканиям для основных видов строительства и инструкциями по инженерным изысканиям для линейного строительства, включающим изыскания для линий напряжением 110 кВ и выше.

При двухстадийном проектировании на первой стадии изыскания выполняются в три этапа с целью: 1) выбора трассы ВЛ (первый этап); 2) обоснования проектирования расстановки опор и определения конструкций фундаментов на простых в инженерно-геологическом отношении участках трассы (второй этап); 3) обоснования проектирования опор на сложных и неблагоприятных в инженерно-геологическом отношении участках и на переходах через водные препятствия (третий этап).

На первом этапе производится сбор и изучение литературы, фондовых и архивных материалов района изысканий. На основе их в процессе камеральной обработки на карту района наносится проект проложения трассы. Проектом по возможности предусматривается обход территорий с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями и месторождений полезных ископаемых. Визуальная инженерно-геологическая рекогносцировка камерально разработанной трассы завершает работы первого этапа.

Основным видом работ второго этапа является маршрутная инженерно-геологическая съемка, которая производится в полосе шириной не менее 300 м по обе стороны от оси трассы. В местах с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями ширина полосы съемки может быть увеличена. Глубина разведочных выработок назначается в зависимости от инженерно-геологических условий и конструкции подземной части проектируемых опор. Для свайных фундаментов выработки должны закладываться не менее чем на 3 м ниже острия сваи — для промежуточных опор и не менее чем на 4 м — для анкерных. Для винтовых свай глубина выработки должна быть не менее чем на 1 м ниже лопасти сваи. Для всех остальных типов фундаментов глубина выработок должна быть не менее 5 м (для промежуточных опор) и 7 м (для анкерных опор).

На участках развития слабых грунтов (торф, грунты текучей консистенции и т. п.) выработки заглубляются в подстилающие грунты не менее чем на 2 м. В процессе проходки выработок производится отбор образцов грунта и проб вод для лабораторных исследований с целью установления классификационных и расчетных показателей физико-механических свойств грунтов и химического состава подземных вод.

На третьем этапе при изысканиях под опоры осуществляется проходка дополнительных выработок из расчета 2 выработки на 1 км трассы. Часть выработок может быть заменена зондировочными скважинами (статического и динамического зондирования). При изысканиях на сложных участках статическое зондирование производится в пределах площадки каждой опоры со свайными фундаментами. На переходах через препятствия количество и глубина выработок определяются в зависимости от инженерно-геологических условий с учетом конструкции и глубины заложения фундаментов.

На второй стадии изыскания выполняются с целью уточнения ранее выделенных инженерно-геологических элементов и показателей физико-механических свойств грунтов. Дополнительные выработки проходятся на углах поворота трассы и на пересечении трассой инженерных сооружений. Широко используется статическое и динамическое зондирование для получения характеристик физико-механических свойств грунтов и для уточнения инженерно-геологического разреза.

В состав одностадийных инженерно-геологических изысканий (для ВЛ — 35 кВ и выше) входят все виды работ, выполняемые при двухстадийном проектировании.

При изысканиях для ВЛ напряжением 3—20 кВ инженерно-геологическая разведка производится лишь в местах установки опор на ответственных переходах через естественные и искусственные препятствия. При сложных инженерно-геологических условиях (III категории сложности) проходятся 2—3 выработки на 1 км трассы. Глубина выработок в этом случае обычно принимается равной 4—5 м.

В районах со сложными инженерно-геологическими условиями — с развитием карстовых, сейсмических и оползневых процессов, в горных и заболоченных районах, в районах развития многолетней мерзлоты — проводятся дополнительные исследования по специальным программам. В процессе исследований особое внимание уделяют установлению причин возникновения и развития неблагоприятных физико-геологических явлений и определению пригодности исследуемой территории для строительства; предлагают рекомендации по предотвращению или ограничению этих явлений.

V. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭРОДРОМОВ

Аэродром предназначается для обеспечения взлета, посадки, руления, хранения и обслуживания воздушных судов. В его состав входят одна или несколько летных полос (ЛП), рулежные дорожки (РД), перрон, места стоянок (МС) и площадки специального назначения.

Аэродром является составной частью аэропорта, включающего также служебно-техническую территорию (СТТ), на которой располагаются здания и сооружения обслуживания пассажирских, грузовых и почтовых перевозок, технического обслуживания воздушных судов и ряд обособленных сооружений, предназначенных для управления воздушным движением (УВД), радионавигации и посадки, очистные сооружения, склады горюче-смазочных материалов (ГСМ) и др., т. е. здания и сооружения, аналогичные сооружениям промышленного, гражданского и линейного строительства.

Выбор участка для строительства аэродрома сопровождается проведением небольшого объема инженерно-геологических работ, включающих сбор и анализ геологических, гидрогеологических и других материалов, инженерно-геологическую рекогносцировку возможных вариантов размещения аэродрома, а также заложение единичных выработок на конкурентоспособных вариантах. При этом основной вариант исследуется обычно более детально. В результате этого составляется сравнительная инженерно-геологическая характеристика возможных вариантов размещения аэродрома.

На выбранном варианте инженерно-геологические изыскания проводятся в две стадии: для технического проекта и для рабочих чертежей. Для несложных

объектов и в простых природных условиях изыскания, как правило, проводятся в одну стадию (техно-рабочий проект). Изыскания включают подготовительный полевой и камеральный периоды.

Изыскания под технический проект проводятся с целью комплексного изучения природных условий для технически правильного и экономически целесообразного решения вопросов проектирования комплекса сооружений аэродрома с учетом прогноза возможного изменения инженерно-геологических условий в связи со строительством и эксплуатацией сооружений.

В подготовительный период на основании архивных, литературных материалов, данных выбора участка и технического задания составляется программа на производство изысканий.

В полевой период производится инженерно-геологическое, почвенное и геоботаническое обследование, осуществляется проходка разведочных выработок и их опробование, статическое и динамическое зондирование, исследование почвенной коррозии, сбор данных по карьерным стройматериалам, изыскания резерва грунта. В процессе обследования особое внимание уделяется наличию оврагов, их размыву, способам укрепления. Данные обследования наносятся на инженерно-геологическую (литологическую) карту.

Разведочные выработки закладываются на взлетно-посадочных полосах (ВПП), рулежных дорожках (РД), местах стоянок (МС) и перроне с учетом рельефа и микрорельефа, предполагаемых насыпей и срезок, мест смены растительного и почвенного покрова. На ВПП и РД разведочные выработки закладываются в «шахматном» порядке в 5—10 м от края покрытия, расстояние между выработками должно быть около 200 м. Ориентировочная глубина разведочных выработок при ровном рельефе составляет 3—5 м, часть выработок проходит до глубины 8—10 м. На МС и перроне, по боковым и концевым полосам разведочные выработки закладываются из расчета одна выработка на 2 га. При сложных условиях количество выработок увеличивается. Для обеспечения детального и четкого выделения горизонтов почв и грунтов около 30% выработок должны составлять шурфы.

С целью определения физико-механических свойств почв и грунтов производится их опробование. Количество технических выработок ориентировочно составляет 20% от общего числа пройденных скважин и шурфов. Наиболее детально опробуются грунты до глубины порядка 3 м и «слабые» прослойки нижележащих горизонтов. Количество проб грунта должно быть достаточным для нахождения расчетных показателей.

Для характеристики условий залегания грунтов и их свойств в естественном состоянии применяется динамическое и статическое зондирование.

Для обеспечения проектируемого строительства карьерными стройматериалами проводятся согласования с подрядной строительной организацией.

Для обеспечения строительства резервом грунта производится выбор и согласования этого участка и заложение на нем разведочных выработок на глубину отработки карьера по сетке 50×50 — 100×100 м. Пробы грунта отбираются из расчета одна проба на 5000 — 7000 м³ грунта.

Для решения вопроса дренажа площадки проводятся работы по установлению направления и мощности грунтового потока, фильтрационных свойств грунтов и агрессивности грунтовых вод по отношению к бетону, стали и оболочкам кабелей.

В камеральный период обрабатываются материалы полевых и лабораторных исследований и составляется отчет об инженерно-геологических изысканиях строительства аэродрома. К отчету прилагается инженерно-геологическая (литологическая) карта с данными почвенного, ботанического и гидрогеологического обследования, литологические профили по ВПП, РД, МС и перрону, колонки разведочных выработок, графики зондирования и результаты лабораторных работ.

Изыскания для рабочих чертежей проводятся в объеме, обеспечивающем проектирование по принятому варианту планировки сооружений и их конструктивному выполнению. Они дополняют и уточняют материалы технического проекта (ТП). Проводятся дополнительные работы по трассам нагорных канав, дренажей и отводу поверхностных вод. Глубина выработок по

трассам устанавливается в зависимости от принятых конструктивных решений по проектируемым сооружениям. Расстояние между выработками обычно составляет 200—300 м.

При изысканиях под аэродромы номенклатура грунтов принимается в соответствии с СН-120—70 (указания по проектированию аэродромных покрытий). В камеральный период составляется отчет об инженерно-геологических изысканиях.

При производстве изысканий в особых природных условиях проводятся дополнительные работы.

В районах распространения лёссовидных грунтов определяется распространение, мощность просадочных грунтов, величина относительной просадочности при замачивании, бытовом давлении и дополнительной нагрузке, а также величина начального просадочного давления. На карту наносятся границы просадочных грунтов с подразделением их по интенсивности просадочных явлений.

В заболоченных и заторфованных районах устанавливается тип болота и источник его водного питания. Определяется мощность, степень разложения и плотность торфа, характер минерального дна. На заторфованных участках в пределах расположения сооружений производится зондировка по сетке 40×40 м и по более редкой сетке за пределами сооружений. Составляется карта мощности торфа и даются рекомендации по осушению и сбросу дренажных вод.

В районах распространения засоленных грунтов определяется вид, степень засоления, характер водного режима грунта и соленакопления. Увеличиваются количество шурфов и густота их расположения. Из шурфов отбираются пробы на водные и солянокислые вытяжки через 0,2—0,4 м до глубины 1,5—2,0 м и далее через 0,5 м до уровня грунтовых вод. На карте наносятся границы распространения засоленных грунтов с подразделением по виду и степени засоления. Даются рекомендации о возможности использования этих грунтов при строительстве.

В районах распространения многолетнемерзлых грунтов инженерно-геологические исследования должны обеспечивать: 1) решение принципа использования грунтов основания (в мерзлом состоянии или с допущением их сезонного оттаивания); 2) выбор типа конструкции и ее расчетов (в том числе и теплотехнического и осадки при оттаивании грунтов); 3) прогнозирование или назначение температурно-влажностного режима оснований и насыпей сооружений аэродрома.

Разведочные выработки обычно располагаются по створам на расстоянии 200 м друг от друга. В створе проходит не менее трех выработок. При наличии в мерзлой толще подземных льдов производится их оконтуривание. Проводится мерзлотная съемка и термические наблюдения на весь период изысканий и проектирования, на каждом сооружении (ВПП, РД, МС и перроне) закладывается не менее трех термических скважин глубиной 10 м.

VI. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ И ДРУГИХ ВИДОВ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Задачей инженерно-геологических изысканий для обоснования подземного строительства является комплексное изучение инженерно-геологических условий района, позволяющее правильно и наиболее экономично запроектировать, построить и эксплуатировать подземные сооружения.

Результаты инженерно-геологических исследований являются основой: 1) для выбора положения тоннелей в плане и профиле; 2) для установления способов ведения горных работ, обеспечивающих безопасность последних и сохранность наземных сооружений; 3) для правильного выбора конструкций временной и постоянной крепи; 4) для выработки мероприятий по защите обделки от агрессивного воздействия грунтов и подземных вод; 5) для решения вопросов вентиляции и водоснабжения.

Объемы буровых работ определяются глубиной заложения сооружения, степенью доступности района изысканий, сложностью инженерно-геологических

Инженерно-геологические факторы, определяющие степень сложности инженерно-геологических условий подземного строительства

Основные элементы	Простые условия	Сложные условия
<p>Строение массива</p> <p>Породы в зоне тоннеля</p> <p>Геоморфологические условия</p> <p>Характер тектоники</p> <p>Газоносность и радиоактивность</p> <p>Гидрогеологические условия</p>	<p>Массив однороден по составу пород. Сооружение располагается в пределах одного слоя</p> <p>Скальные монолитные и слабо трещиноватые. Глины твердой и полутвердой консистенции каолинового состава</p> <p>Несвязные безводные породы</p> <p>Отсутствуют вредные для сооружения физико-геологические процессы; косогоры и склоны устойчивы. Рельеф спокойный</p> <p>Сейсмичность района менее 7 баллов. Согласное залегание горизонтальных или крутопадающих слоев. Тоннель проходит вкрест простирающихся слоев антиклинали. Трещиноватость пород слабая, зоны тектонических нарушений отсутствуют</p> <p>Подземные газы отсутствуют. Породы не радиоактивны</p> <p>Водоносные горизонты отсутствуют или имеется один горизонт, не связанный с поверхностными водами. Подземные воды не агрессивны к материалу обделки. Песчаные породы обладают хорошей водоотдачей. Водоприток в выработку не превышает 50 м³/ч. Гидростатическое давление менее 3 · 10⁵ Па</p>	<p>Массив неоднороден по составу пород</p> <p>Сооружение пересекает несколько пластов различного состава</p> <p>Скальные сильно трещиноватые выветрелые. Глины, имеющие текучую консистенцию и высокую гидрофильность, склонные к набуханию</p> <p>Несвязные водоносные породы</p> <p>Развиты вредные для сооружения физико-геологические процессы; тоннель пересекает карстовые полости и погребенные размывы, выполненные неустойчивыми породами. Рельеф резко пересеченный; склоны не устойчивы</p> <p>Сейсмичность района 7 баллов и более. Развиты флексуры. Залегание слоев наклонное. Тоннель проходит по простираению пластов. Встречаются зоны тектонических нарушений — сбросов, сдвигов, разрывов, кливажа, зон дробления, развития трещин проявления неотектоники</p> <p>Встречаются метан, углекислый газ, сероводород</p> <p>Повышенная радиоактивность. Многочисленные водоносные горизонты, имеющие связь с поверхностными водоемами. Песчаные грунты обладают слабой водоотдачей. Подземные воды агрессивны. Водоприток в выработку превышает 50 м³/ч. Гидростатическое давление более 3 · 10⁵ Па. Имеются участки многолетнемерзлых пород</p>

условий, этапом проектирования, а также назначениями и размерами подземного сооружения (табл. 89, 90).

В результате инженерно-геологических изысканий должны быть установлены следующие вопросы:

1. Общие (климатические условия, географическое положение; орорафия и гидрография; наличие строительных материалов).

2. Геологическое строение (геоморфология, стратиграфия, литология, тектоника).

3. Гидрогеологические условия строительства (наличие и состав водонесных горизонтов в зоне горных работ; наличие выдержанных водоупорных слоев; направление и скорость движения подземных вод, характеристика водопроницаемости пород; ожидаемые водопритоки в выработки; ожидаемое гидростатическое давление на обделку; размеры депрессионной воронки и влияние водоотлива на режим эксплуатации артезианских скважин и колодцев в районе подземного строительства; температура, химический и бактериологический состав подземных вод и степень их агрессивности по отношению к материалу обделки сооружения).

4. Возможность использования подземных вод для водоснабжения.

5. Инженерно-геологические условия (общая устойчивость массива горных пород; наличие физико-геологических процессов и степень их активности; наличие тектонических нарушений, раздробленных пород и неустойчивых зон; сейсмичность района; физико-механические свойства грунтов в массиве; характер трещиноватости; участки и характер возможных нарушений устойчивости горных пород при проходке — вывалы, высыпания, выплывание пород; условия и характер проявления горного давления; крепость пород, категории по разрабатываемости; возможность выветривания и выщелачивания пород при проходке и эксплуатации сооружений; ожидаемые температуры при горных работах; химико-минеральный состав горных пород и его влияние на материал обделки; газопроявления и радиоактивность пород; возможность использования грунтов и воды из подземных выработок).

При установлении степени сложности определяющими признаками являются устойчивость пород и величина водопритока.

При проведении инженерно-геологических изысканий особое внимание должно обращать на выявление: 1) зон ослабления в массиве, в которых породы отличаются более низкими прочностными свойствами по сравнению с окружающими (крупные тектонические нарушения, прослои пластичных глин, прослои водонасыщенных песчано-глинистых отложений); 2) зон с высокими фильтрационными свойствами грунтов и высоким гидростатическим напором; 3) грунтов и подземных вод с высокой степенью агрессивности к материалам конструкций; 4) сред, взрывоопасных и оказывающих вредное влияние на здоровье людей (высокая температура, газоносность, радиоактивность и др.).

При изучении зон, неблагоприятных для строительства, должны быть установлены их характер, границы распространения, размеры, интенсивность развития и влияние на условия строительства и работу сооружения.

В районах распространения многолетнемерзлых пород должны быть получены сведения о климате района; данные о мерзлотных явлениях; сведения, отражающие опыт строительства в данном районе; данные мерзлотной съемки; данные о размерах, форме и глубине залегания по трассе тоннеля мерзлых пород; сведения о режиме подземных вод (в части сезонных колебаний уровня и температуры); данные о температурном режиме грунтов в пределах глубин заложения тоннеля; данные исследований состава и физико-механических свойств талых и мерзлых грунтов.

В результате изысканий должна быть установлена возможность развития морозного пучения глинистых пород на порталных участках тоннеля. Необходим прогноз процессов, которые могут развиваться при строительстве в результате оттаивания грунтов.

В отчетах об инженерно-геологических изысканиях для подземного строительства должен содержаться прогноз возможности возникновения неблагоприятных инженерно-геологических процессов (табл. 91), влияния эксплуатации сооружения и горных работ на окружающую среду.

**Состав инженерно-геологических изысканий
(на основании инструкций и пособий по данному вопросу)**

Виды работ	Назначение работ	Состав работ	Примерное выполнение по стадиям, %		
			ТЭО	Технический проект	Рабочие чертежи
Подготовительные	Обоснование объема и методики исследований с учетом изученности района	Сбор и изучение литературных источников, отчетов и архивных материалов. Составление сметы, программы и графика работ. Оформление проведения изысканий	Выполняется для каждой стадии		
Инженерно-геологическая съемка	Предварительная характеристика территории строительства: рельеф, геоморфология, геологическое строение, гидрогеологические условия, наличие физико-геологических явлений, состояние существующих сооружений Ширина полосы съемки до 1 км. Масштаб 1 : 10 000; для порталных участков 1 : 5000—1 : 1000 (в зависимости от сложности условий)	Описание и зарисовка искусственных и естественных обнажений горных пород, выходов подземных вод, современных геологических явлений: аэрофотосъемка, проходка шурфов, мелких буровых скважин, расчисток; полевые лабораторные исследования; изучение форм рельефа; обследование состояния существующих зданий и подземных сооружений; выбор мест для отвала породы и строительства околосаптных сооружений; описание и оценка устойчивости пород в откосах котлованов и обнажениях, составление инженерно-геологических карт, фотографирование	100		
Геофизические	Получение данных об общей структуре участка, глубине залегания пород коренной основы и уровня подземных вод, а также состояния горных пород	Электроразведка: электропрофилирование, ВЭЗ, круговые ВЭЗ, сейсмические исследования, каротаж, метод заряженного тела. Расходомерия и резистивиметрия	20	80	

Разведочные	<p>Детальное исследование стратиграфии, литологии, гидрогеологических условий и газоносности</p>	Бурение разведочных скважин, проходка шурфов, расчисток, канав, штолен	30—35	40—50	15—30
Гидрогеологические	<p>Получение исходных данных для расчетов водопритоков в выработки, для определения возможности искусственного водопонижения и расчетов водопонижительных установок; для определения гидростатического давления на обделку сооружения</p>	<p>Опытные одиночные и кустовые откачки; наливывы; нагнетания; определение скорости движения воды; стационарные наблюдения за режимом подземных вод</p>	20	50	30
Полевые испытания грунтов	<p>Определение некоторых показателей механических свойств горных пород</p>	<p>Пробные нагрузки в шурфах и скважинах; пенетрация статическая и динамическая; испытания сопротивлению пород на сдвиг. Определение коэффициента отпора пород в шурфах и выработках</p>		50	50
Лабораторные	<p>Определение инженерно-геологических свойств горных пород; химического состава пород и воды</p>	<p>Лабораторные анализы свойств пород и химического состава воды</p>		60	40
Моделирование	<p>Решение теоретических, расчетных прогнозных вопросов</p>	<p>Лабораторное, натурное, математическое моделирование</p>		70	30
Камеральные	<p>Заключение об инженерно-геологических условиях района строительства</p>	<p>Обработка полевых материалов и лабораторных данных, составление карт, разрезов, графиков и отчетов. Определение расчетных показателей для проектирования тоннеля</p>	Выполняется для каждой стадии проектирования		
Инженерно-геологическая документация горных выработок и исследования при строительстве	<p>Проверка соответствия данных инженерно-геологических изысканий действительным условиям, наблюдаемым на строительстве. Корректирование рабочих чертежей в процессе строительства. Проверка правильности исходных данных, выданных для расчетов тоннельной обделки и определения способов производства горных работ</p>	<p>Инженерно-геологическая документация забоев выработок; отбор и анализы проб пород и подземных вод; замеры водопритоков и наблюдения за режимом подземных вод. Опыты по определению горного давления и упругого отпора пород. Прогнозирование устойчивости пород в забоях</p>			100

**Инженерно-геологические процессы, способные возникнуть
при проходке подземных сооружений**

Способ работ	Процессы, общие для данного способа работ	Типы пород, вскрываемых забоем	Возможные дополнительные процессы
<p>Без применения специальных методов проходки</p>	<p>Изменения напряжений в массиве: подземное выветривание; горное давление, сдвигание горных пород, оседание земной поверхности</p>	<p>Скальные и полускальные</p>	<p>Повышение трещиноватости, вывалы отдельных глыб, гидростатическое уплотнение пород в зоне депрессионной воронки с дополнительным оседанием земной поверхности, суффозия, выщелачивание горных пород, прорывы подземных вод или газа, стреляние пород</p>
		<p>Глинистые</p>	<p>Увлажнение, уменьшение прочности, усыхание, уменьшение или увеличение прочности, пучение, усадка, растрескивание, прогиб слоев, вывалы и высыхание пород</p>
		<p>Песчаные, влажные</p>	<p>Виброуплотнение или разрыхление, высыпание</p>
		<p>Песчаные, водоносные</p>	<p>Гидродинамическое давление, суффозия, выплывание и прорывы пльвунов. Дополнительное оседание земной поверхности</p>
<p>С применением искусственного замораживания</p>	<p>При замораживании: понижение температуры, льдообразование, повышение прочности, уменьшение водопроницаемости, образование новой структуры</p>	<p>Скальные и полускальные</p>	<p>При замораживании: растрескивание, уменьшение или ликвидация водопритока При оттаивании: разрыхление, увеличение водопроницаемости</p>

	При проходке: изменение напряжений в массиве, горное давление, сдвигание земной поверхности	Глинистые	При замораживании: миграция влаги и диффузия солей, морозное пучение, подъем поверхности земли
	При оттаивании: повышение температуры, переход твердой фазы (льда) в жидкую		При оттаивании: нередко уменьшение прочности и повышение водопроницаемости. Дополнительные сдвигания горных пород, горное давление и оседание земной поверхности
		Песчаные, водоносные	При оттаивании: восстановление первоначальных свойств, сдвигание горных пород и оседание поверхности земли
С применением сжатого воздуха	Осушение пород в зоне забоя, изменение напряжений в массиве, горное давление, оседание поверхности земли	Скальные и полускальные	Увеличение пластового давления, подъем уровня подземных вод, уменьшение или ликвидация водопритока
		Глинистые	Уменьшение влажности пород в зоне забоя, слабое растрескивание пород, расширение существующих трещин
		Песчаные, водоносные	Повышение пластового давления, подъем уровня грунтовых вод, образование газовой-жидкостной смеси в пласте, уплотнение пород, подъем земной поверхности
С применением искусственного водопонижения	Снижение уровня подземных вод, повышение гидродинамического давления, образование депрессионной воронки с уплотнением глинистых и песчаных пород в ее зоне	Скальные и полускальные	Вымывание заполнителей трещин и карстовых пустот
		Песчаные	Суффозия и дополнительные оседания поверхности земли

В период строительства подземных сооружений должны проводиться инженерно-геологические работы (документация забоев, замеры водопритоков, прогнозирование устойчивости пород и др.) в горных выработках. Эти работы осуществляются с целью определения соответствия фактических данных результатам изысканий и для получения дополнительных сведений об инженерно-геологических факторах, влияющих на проведение горных работ и требующих изменения принятых в проекте способов горных работ и конструкций.

VII. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Гидротехнические сооружения по своему народнохозяйственному назначению делятся на гидроэнергетические, водно-транспортные, мелиоративные и водоснабженческие. На реках обычно строятся гидроузлы, с помощью которых решается комплекс народнохозяйственных задач.

По характеру компоновки сооружений различают следующие гидроузлы: 1) приплотинные с расположением здания ГЭС в составе напорного фронта или непосредственно за плотиной; 2) деривационные с безнапорной (открытым каналом) или напорной (тоннельной) деривацией; 3) гидроаккумулирующие, имеющие обратимые агрегаты для перекачки воды из нижнего бьефа в верхний.

В зависимости от условий использования гидротехнические сооружения делятся на основные, используемые при эксплуатации объекта (плотины водосбросы, деривационные туннели и каналы, напорные трубопроводы, здания ГЭС, шлюзы и т. п.), и вспомогательные, используемые только в период строительства и ремонта сооружений (перемычки, оградительные станки, водоотводящие туннели и каналы и т. п.).

Наиболее ответственными сооружениями гидроузлов являются плотины, которые классифицируются следующим образом: а) по условиям обеспечения устойчивости от сдвигающей нагрузки — гравитационные, арочные, контрфорсные; б) по материалу, из которого они возводятся, — бетонные, каменно-набросные, земляные (намывные, насыпные); в) по высоте: низкие — до 10 м, средние от 10 до 50 м, высокие от 50 до 150 м, сверхвысокие более 150 м.

В основе организации проектно-изыскательских работ для гидротехнического строительства лежит их этапность: предпроектные работы — схема комплексного использования реки и технико-экономическое обоснование; проектные работы (стадии) — технический проект и рабочие чертежи. Для наиболее простых сооружений возможно одностадийное проектирование с составлением технического проекта. Содержание этапов проектирования приведено ниже в соответствующих параграфах.

Работы для обоснования схемы комплексного использования реки. Целью составления схемы комплексного использования реки (для нужд энергетики, мелиорации, судоходства и др.) является разработка технического замысла использования водных ресурсов, разбивка реки на ступени, определение экономических показателей отдельных гидроузлов и выбор объектов первоочередного строительства. Инженерно-геологические изыскания, задачей которых является обоснование выбора наиболее благоприятных районов размещения гидроузлов и водохранилищ, проводятся в два этапа.

На первом, подготовительном, этапе сначала проводится сбор и систематизация фондовых и литературных материалов, затем главный инженер проекта (совместно с геологом и геодезистом) проводит рекогносцировочное обследование района предстоящих работ. В результате первого этапа составляются программа и смета на изыскания.

На втором этапе сначала производят общие инженерно-геологические исследования долины реки с целью обоснования разбивки реки на ступени и выявления возможности строительства гидроузлов и создания водохранилищ. В состав этих работ входят инженерно-геологическая съемка масштабов от 1 : 50 000 до 1 : 200 000 и в случае необходимости — работы по изучению специальных вопросов, которые имеют важное значение для обоснования схемы: возможности утечек из водохранилища, сейсмичности, многолетней мерзлоты и др.

**Масштабы инженерно-геологических съемок,
выполняемых при составлении схемы использования реки**

Категория сложности инженерно-геологических условий	Долина реки	Гидроузлы первой очереди	Гидроузлы 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

На основании всех этих работ проводится инженерно-геологическое районирование изучаемой долины реки.

На выявленных общими исследованиями участках возможного размещения гидроузлов проводятся следующие работы.

Инженерно-геологическая съемка, масштаб которой устанавливается в зависимости от категории сложности и характера гидроузла (табл. 92).

Геофизические исследования, ставящие своей задачей выделение основных геологических границ.

Геофизические исследования дополняют и уточняют данные инженерно-геологической съемки и позволяют дать правильное направление горно-буровым работам.

Буровые и горные работы. На участках гидроузлов разведочные выработки задаются с учетом данных съемочных и геофизических работ. Для разведки оснований подпорных сооружений выработки располагаются по поперечникам (створам) и должны быть приурочены ко всем основным геоморфологическим элементам долины, а в пределах одного элемента — находиться на расстоянии от 50 до 300 м. Крайние выработки на створе следует располагать за границами проектируемого подпора в пределах зоны влияния сооружения на борта долины. Глубина выработок определяется необходимостью изучения рельефа коренного ложа долины, установления состава, условий залегания и состояния пород, выявления устойчивости береговых примыканий, а также изучения гидрогеологических условий и водопроницаемости пород. В равнинных речных долинах разведка ведется преимущественно буровыми скважинами. На створах высоконапорных гидроузлов, располагающихся в горных долинах, рекомендуется проходка штолен в береговых примыканиях плотин.

Трассы деривации и участки других сооружений освещаются очень ограниченным количеством разведочных выработок, которые располагаются в наиболее сложных местах.

Гидрогеологические исследования на участках гидроузлов должны охарактеризовать условия фильтрации в районе плотины и возможность фильтрационных деформаций ее основания. Для выявления этих условий на створах гидроузлов первой очереди проводятся опытные откачки, нагнетания, наливы и наблюдения за режимом подземных вод. На остальных створах эти условия характеризуются на основании наблюдений при съемке и бурении, а опытные работы могут проводиться в весьма ограниченном объеме и только в том случае, если гидрогеологическая обстановка имеет решающее значение для выбора района гидроузла.

Изучение физико-механических свойств горных пород с целью их классификации и оценки состояния и свойств проводится для всех створов. Для гидроузлов первой очереди могут выполняться в небольшом объеме исследования показателей прочности и сжимаемости отдельных наиболее характерных разностей пород.

Поиски и разведка строительных материалов проводятся для решения вопросов обеспеченности ими строительства проектируемых гидроузлов с подсчетом запасов, превышающих потребности в 2—3 раза, по категориям C_1 и C_2 .

**Масштабы инженерно-геологических съемок,
применяемых при обосновании технического проекта**

Категория сложности инженерно-геологических условий	I этап * — выбор створа	II этап * — изучение выбранного створа
I	1 : 25 000	1 : 10 000
II	1 : 10 000	1 : 5 000
III	1 : 5 000	1 : 200

* Разведочные работы — бурение скважин и проходка горных выработок — ведутся на обоих этапах.

Работы для обоснования ТЭО и на стадии технического проекта. Решение о проектировании и строительстве гидротехнического объекта принимается исходя из схемы комплексного использования реки на основе технико-экономического обоснования (ТЭО). В ТЭО должен быть выбран участок для гидротехнического объекта и подтверждена экономическая целесообразность и хозяйственная необходимость строительства его на этом участке. В связи с этим изыскания для ТЭО по своей направленности, составу и объему работ соответствуют изысканиям для первого этапа технического проекта.

В техническом проекте должно быть окончательно выбрано место расположения гидротехнического объекта и с исчерпывающей полнотой решены все вопросы его строительства. В соответствии с этим изыскания для технического проекта делятся на два этапа: 1) для выбора одного варианта из ряда конкурирующих и 2) по выбранному варианту для обоснования проекта сооружения и проекта производства строительных работ.

На участках плотин, приплотинных зданий ГЭС, шлюзов и других сооружений, входящих в крупные гидроузлы, проводятся следующие работы.

Инженерно-геологическая съемка производится на всех конкурирующих участках створа в масштабах, указанных в табл. 93. Площадь съемки должна быть достаточной для правильной оценки общих геологических условий участка, размещения всех вариантов компоновок сооружений и оценки инженерно-геологических процессов, способных возникнуть после возведения сооружения (фильтрации в обход плотины, оползания откосов, размыва русла в нижнем бьефе и т. п.). На выбранном участке проводится инженерно-геологическая съемка более крупного масштаба, которая в горных районах должна сопровождаться специальными исследованиями трещиноватости пород, а в сейсмически активных районах — микросейсмрайонированием.

На первом этапе разведочные выработки располагаются на всех конкурирующих вариантах створов. Результаты проходки выработок, совместно с данными других работ, должны освещать: 1) особенности геологического строения и геоморфологических условий; 2) основные черты строения погребенной части долины (положение коренного ложа долины, наличие эрозионных врезов и т. п.); 3) границы основных стратиграфических, гинетических и литологических типов пород, их состав и состояние; 4) мощность зоны выветривания, положение уровня подземных вод. Выработки должны располагаться на всех геоморфологических и структурных элементах долины реки. Средние расстояния между выработками в пределах одного элемента приведены в табл. 94.

Глубина выработок определяется необходимостью изучения пород, которые могут служить основанием сооружений с учетом оценки возможного изменения состояния этих пород; выявления основных закономерностей геологического строения с четким определением контактов между породами и установлением мощности зоны выветривания; выявления гидрогеологических условий. При сложном геологическом строении на наиболее ответственных участках должны проводиться шурфы, а в береговых примыканиях — штольни.

Расстояния между выработками, рекомендуемые при изысканиях для обоснования технического проекта

Категория сложности инженерно-геологических условий	Средние расстояния между выработками, м					
	Изыскания для выбора варианта створа		При изысканиях на выбранном створе для сооружений			
	в равнинных долинах	в горных долинах	бетонных		земляных	
			в равнинных долинах	в горных долинах	в равнинных долинах	в горных долинах
I	300	150	60	50	150	100
II	250	100	50	40	100	75
III	200	75	40	30	75	50

На выбранном створе разведочные работы проводятся по плотине и остальным сооружениям, для всех вариантов их компоновки, разрабатываемых в проекте. Разведочные выработки располагаются по осям сооружений и линиям, параллельным и перпендикулярным к осям. Число разведываемых линий и расстояние между ними, а также расстояние между выработками зависят от размеров сооружений и от категории сложности инженерно-геологических условий (см. табл. 94). Обязательной является проходка выработок по оси сооружения и по двум оконтуривающим сооружение линиям, располагаемым обычно на расстоянии около 100 м от оси. Разведочными выработками должны быть также освещены условия проходки строительных котлованов для сооружений гидроузла. Глубины выработок определяются глубиной распространения воздействия нагрузок от сооружений (активная зона); глубиной зоны фильтрации; возможными границами возникновения таких явлений, как механическая и химическая суффозия, взвешивающее давление и т. п.

Тип и сечение выработок определяются инженерно-геологическими условиями и характером проектируемого сооружения. При решении ответственных задач, особенно на участках высоких плотин в долинах горных рек, наибольшее значение имеет проходка штолен, шахт, шурфов и смотровых скважин.

Гидрогеологические исследования при выборе варианта гидроузла проводятся в объеме, необходимом для сопоставления гидрогеологических условий конкурирующих вариантов. Для выбранного варианта объем этих исследований должен обеспечивать выполнение всех расчетов (определение фильтрационных потерь, расчет гидродинамического давления, суффозии, водопритоков в котлованы и т. п.). Верхней границей исследований является отметка НПУ, нижняя определяется глубиной зоны интенсивной фильтрации, которая может быть ограничена водоупорным пластом. Максимальная глубина исследований оснований подпорных сооружений не должна превышать одного-двух напоров. Лишь при сложных гидрогеологических условиях (наличии напорных вод, соленых пород и др.) исследования могут производиться на большую глубину. Исследования водопроницаемости береговых примыканий производятся в полосе, ширина которой при слабой водопроницаемости пород равна мощности покровных отложений; при средней водопроницаемости составляет 1—2 напора на плотине, при сильной водопроницаемости — до 10 напоров, а в карстовых районах — более 10 напоров.

Исследования включают: опытные нагнетания (на подпорных сооружениях); откачки (кустовые и из одиночных скважин); наливывы в шурфы и скважины; определения истинных скоростей фильтрации; стационарные наблюдения за колебаниями уровней подземных вод, изменением их химического состава и тем-

пературы. Кроме того, могут проводиться лабораторные исследования водопроницаемости пород.

Изучение химического состава подземных вод должно вестись в течение всего периода изысканий под технический проект с целью оценки гидрохимических процессов, установления связи между водоносными горизонтами и определения агрессивности вод по отношению к бетону. Каждый водоносный горизонт должен быть охарактеризован не менее чем 10—20 пробами.

Исследования физико-механических свойств пород и изучение их петрографического и химического состава на первом этапе исследований производится для классификации и общей оценки состояния пород. Определение расчетных значений прочности и сжимаемости пород выполняется лишь для слоев, характеристика которых может существенно повлиять на выбор створа. Количество определений каждого показателя для каждого из выделенных слоев должно быть от 5 до 20.

На втором этапе путем лабораторных и полевых исследований должны быть определены как классификационные показатели физических свойств и петрографо-минерального и химического состава, так и показатели состояния пород. Количество определений каждого показателя для каждого слоя (разности) должно быть от 20 до 50. На этом этапе проводят лабораторные и полевые исследования прочности и сжимаемости пород и устанавливают их расчетные показатели. Число определений каждого из этих показателей для каждого слоя (разности)—от 10 до 30. Полевые опыты по сдвигу штампов и нагрузкам на штамп являются обязательными для плотин высотой более 25 м.

Оценку свойств скальных пород следует проводить с учетом характера их трещиноватости, выветрелости, наличия зон тектонических нарушений и т. п. Для оценки естественного состояния песчаных и глинистых пород рекомендуется применять статическое и динамическое зондирование.

Геофизические работы проводят как для уточнения геологического строения участка, так и для решения специальных задач: 1) оценки гидрогеологических условий (направления и скорости грунтового потока) методами заряженного тела, естественного поля и электрохимическим методом; 2) изучения физико-механических свойств скальных пород в массиве (прочности, упругости, плотности) и их расчленения по степени сохранности сейсмическими и ультразвуковыми методами, а также методами электрокаротажа и ядерной геофизики.

На первом этапе основными видами исследований являются инженерно-геологическая съемка масштабов от 1 : 5000 до 1 : 25 000 в полосе шириной от 1 до 2 км и бурение разведочных скважин на поперечниках длиной от 100 до 200 м, расположенных через 200—250 м. На втором этапе (после выбора трассы) на участках расположения наиболее ответственных сооружений, и наиболее сложных по геологическому строению, проводят дополнительные выработки (шурфы и скважины). Глубина выработок в общем случае определяется глубиной выемки канала. Она должна быть больше последней на 3—5 м. В случае возможности значительных фильтрационных потерь из канала выработки следует доводить до водоупора.

Гидрогеологические исследования выполняются для оценки фильтрации из канала, прогноза подтопления территории, прилегающей к каналу, и установления условий проведения работ. На первом этапе исследований опытно-фильтрационные работы (откачки из скважин и наливыв в шурфы и скважины) производятся в том случае, если размеры фильтрации могут существенно повлиять на выбор трассы. На втором этапе опытными работами определяется водопроницаемость всех пород, распространенных по трассе. Для прогноза подтопления территории, прилегающей к каналу, проводятся специальные исследования, аналогичные работам, проводимым на водохранилищах. Физико-механические свойства пород изучаются так же, как и на участках подпорных гидротехнических сооружений.

На трассах деривационных тоннелей изыскания также проводятся в два этапа. На первом этапе (при выборе варианта) выполняется инженерно-геологическая съемка, охватывающая все возможные варианты трассы тоннеля. Масштаб съемки от 1 : 25 000 до 1 : 10 000, в зависимости от сложности геологиче-

ского строения района. Участки порталов покрываются съемкой масштаба от 1 : 10 000 до 1 : 2 000. В районах с несложным геологическим строением разведочные работы производятся только для вскрытия поверхностных отложений и зон выветривания, покрывающих коренные породы, в которых пройдет тоннель, чем и определяются глубины выработок; на 1 км трассы задают от трех до пяти выработок.

В районах со сложным геологическим строением проходят более глубокие выработки (преимущественно скважины) для вскрытия пород, в которых проектируется тоннель. Скважины доводятся до глубины заложения тоннеля, если она не превышает 300 м. Количество выработок определяется необходимостью осветить неблагоприятные участки; количество глубоких буровых скважин (100—300 м) не должно быть более одной на 3 км трассы. При глубоком (более 300 м) заложении тоннеля основными видами изысканий являются геологическая съемка и геофизическая разведка. На участках порталов проходят разведочные выработки на поперечниках для изучения мощности рыхлых или ослабленных выветриванием отложений. Расстояния между поперечниками колеблются от 100 до 200 м, между скважинами на поперечниках — от 25 до 100 м.

После выбора трассы проходят дополнительные скважины и горные выработки по оси тоннеля для уточнения геологических условий принятой трассы и выявления условий проходки тоннеля. Количество глубоких скважин (100—300 м) должно быть не более одной на 2—3 км трассы; расстояние между более мелкими выработками колеблется от 100 до 500 м в зависимости от сложности геологического строения района. Для изучения участков порталов, помимо скважин и шурфов, проходится штольня.

Гидрогеологические исследования проводятся для оценки притока воды в тоннель в период строительства и утечки воды из тоннеля в процессе эксплуатации. Они состоят из опытно-фильтрационных работ, проводимых в основном на выбранной трассе тоннеля, а также из стационарных наблюдений за режимом уровня, химизма и температуры подземных вод. В процессе этих наблюдений изучается также температурный режим и газоносность пород по трассе тоннеля.

Физико-механические свойства пород исследуются как в лабораторных, так и в полевых условиях (определение упругого отпора и горного давления в штольнях и шахтах).

На участках станционных узлов деривационных гидроэлектростанций исследования тоже проводятся в два этапа. На первом этапе по всем вариантам узла производят инженерно-геологическую съемку масштаба от 1 : 2 000 до 1 : 10 000, а также разведочные работы. Разведочные выработки располагаются на участке напорного бассейна, на площадке здания станции и на сопрягающем их склоне. Выработки должны вскрыть породы, которые могут служить надежным основанием сооружения, на следующие глубины:

- 1) на участке напорного бассейна на глубину 10—20 м от дна бассейна;
- 2) на трассе напорного трубопровода — на 5—7 м ниже фундаментов опор;
- 3) на площадке здания станции — на 10—15 м глубже проектируемой отметки заложения фундамента. В случае проектирования подземной станции, в пределах ее расположения должна быть пройдена скважина на 15—20 м глубже основания станции. При сложных геологических условиях здесь должна быть пройдена горная выработка (штольня или шахта).

На втором этапе исследований разведывают только участок выбранного варианта. В пределах напорного бассейна скважины проходят на расстояниях 20—30 м одну от другой. На трассе напорного трубопровода скважины располагают на поперечниках в характерных точках; на участке здания станции их закладывают на расстояниях 25—50 м одна от другой. Глубины скважин определяются с учетом результатов первого этапа исследований. Гидрогеологические исследования и лабораторные исследования физико-механических свойств пород проводятся в объемах, обеспечивающих обоснование проекта.

На участке водохранилища инженерно-геологические изыскания должны обеспечить получение всех необходимых данных, на основании которых могут быть оценены условия устройства водохранилища, сделан прогноз фильтрации из водохранилища и влияния его на прилегающие территории (подтопление

переработка берегов и т. п.), а также обоснован проект защитных мероприятий.

Исследования проводятся в следующей последовательности.

Для общей оценки территории водохранилища проводится инженерно-геологическая съемка масштаба от 1 : 50 000 до 1 : 200 000. Съемка должна покрывать всю чашу водохранилища и его берега в пределах полосы, которая может подвергнуться переработке и подтоплению, а также те участки, на которых может ожидать фильтрация из водохранилища в борта. На основании съемки устанавливаются участки возможного проявления инженерно-геологических процессов, на которых проводятся более детальные исследования.

На участках возможной фильтрации в борта водохранилища проводится гидрогеологическая съемка и бурение скважин по поперечникам через водораздел. На каждом поперечнике проводят одну-две откачки из водоносных пластов и опробуют опытными нагнетаниями породы, которые после образования подпора окажутся обводненными. Скважины оборудуют для проведения в них стационарных наблюдений продолжительностью не менее одного года.

На участках возможного подтопления и переработки берегов для прогноза подпора грунтовых вод и размеров переработки выполняют инженерно-геологическую съемку и бурение скважин по поперечникам. При оценке подтопления производится опробование всех основных разностей водоносных пород (откачками или наливками), а также — стационарные режимные наблюдения. Состав лабораторных и специальных исследований при изысканиях на участках возможной переработки берегов определяют по принятым методам расчета (по Е. Г. Качугину, по Н. Н. Кондратьеву или по Г. С. Золотареву).

Масштаб инженерно-геологической съемки, выполняемой на участках возможной фильтрации из водохранилища, а также на участках возможного подтопления или переработки берегов, определяется категорией сложности геологических условий района и может изменяться от 1 : 25 000 до 1 : 5000. На берегах разбуриваются гидрогеологические поперечники.

На участках, где проектируется инженерная защита от затопления или подтопления, изыскания в зависимости от состава гидротехнических сооружений проводятся в соответствии с пунктами I и II.

Поиски и разведку строительных материалов выполняют одновременно с изысканиями для обоснования проектов сооружений, так как от наличия тех или иных видов строительных материалов зависит выбор экономичного типа гидротехнического сооружения. На первом этапе изысканий выполняют поиски и разведку месторождений для выявления запасов по категориям С₁ и В и получения данных, необходимых для сопоставления вариантов расположения сооружений.

На втором этапе производится разведка месторождений, наиболее перспективных для выбранного варианта. Разведанные запасы должны соответствовать категориям В и А и на 30—50% превышать заявленные потребности.

Работы на стадии рабочих чертежей в период строительства эксплуатации сооружений. Задачей проектирования на стадии рабочих чертежей является доработка и уточнение технических решений; внесение изменений в проект в соответствии с решением утверждающей инстанции по техническому проекту; разработка детальных конструктивных решений для отдельных сооружений и их элементов. Результаты инженерно-геологических изысканий на этой стадии должны обосновать решение конкретных задач, возникающих в процессе проектирования и строительства сооружений, а также уточнить и детализировать условия проведения строительных работ.

Инженерно-геологические исследования на этой стадии включают полный комплекс изыскательских работ и специальные исследования. Большое значение приобретают горные выработки (шурфы и штольни) и исследования инженерно-геологических свойств пород в естественном залегании. В ряде случаев производятся опытные строительные работы.

В период строительства и эксплуатации сооружений выполняются следующие работы: 1) инженерно-геологическая документация строительных выемок и контроль за ходом строительства; 2) геотехнический контроль за возведением земляных сооружений и других качественных насыпей;

3) наблюдения за режимом подземных вод; 4) наблюдения за подтоплением и переформированием берегов водохранилища.

На основании всех этих наблюдений вносятся необходимые изменения в проект сооружения, уточняются способы проведения строительных работ и режим эксплуатации сооружения.

VIII. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МЕЛИОРАЦИИ

Под мелиорацией земель принято понимать комплекс инженерных и агрономических мероприятий, способствующих прогрессивному повышению плодородия почв, обеспечивающего высокие устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур. Мелиоративные мероприятия включают осушение или орошение почв, а также регулирование водным и солевым балансом грунтовых вод.

Обоснованию необходимого комплекса мероприятий предшествует продолжительное гидрогеологическое и инженерно-геологическое изучение территории, включающее несколько стадий исследований в соответствии с принятыми в СССР этапами проектирования. Каждый этап проектирования предусматривает состав и объемы изыскательских работ и основные задачи для «Схемы комплексного использования и охраны земельных и водных ресурсов», технико-экономического обоснования (ТЭО) «Технического проекта» и «Рабочих чертежей» (табл. 95).

Для «схемы» проводятся специальные инженерно-геологические рекогносцировки по участкам крупных гидротехнических сооружений, трактам переброски стока рек и крупным системам. В исключительных случаях в районах первоочередного строительства гидротехнических объектов предусматриваются полевые инженерно-геологические исследования и сопутствующие им буровые, горно-проходческие и опытные работы.

Исходным материалом для составления ТЭО служит гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка масштаба 1 : 200 000. Основное внимание при исследовании инженерно-геологических условий территории концентрируется на следующем.

1. Стратиграфо-генетические комплексы пород, их распространение, условия залегания и мощность, литологические разности и разновидности отложений, слагающих каждый комплекс.

2. Засоленность пород зоны аэрации, связь степени и типа засоления с составом пород, элементами мезо- и макро-рельефа, а также глубиной залегания уровня грунтовых вод.

3. Физико-механические и водно-физические свойства пород зоны аэрации (особенно фильтрационных и просадочных свойств).

4. Геологические процессы и явления (интенсивности развития овражной и балочной сети, интенсивности переработки берегов водохранилищ, каналов, открытых коллекторов, постоянных и временных водотоков, мест активного проявления глубинной и боковой эрозии, дефляции, карста, оползней, обвалов, селей, суффозионных и просадочных явлений, образования болот).

5. Типы болот, площади их распространения, глубины залегания минерального дна, мощности торфяников и их водно-физических свойств в районах избыточного увлажнения.

Для обоснования технического проекта кроме специализированной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштаба 1 : 50 000 для целей мелиорации дополнительно выполняется инженерная разведка, задача которой состоит в изучении: 1) инженерно-геологических условий возведения строительства гидротехнических сооружений, линейных объектов (магистральных, судовых, соединительных, сбросных и других каналов, плотин, дамб обвалования и др.); 2) просадочных деформаций в естественных условиях (путем замачивания котлованов); 3) фильтрационных свойств пород зоны аэрации на отдельных участках, где в разрезе преобладают суглинки и глины с целью изучения распределения проницаемости и структуры инфильтрационного потока и разработки рекомендаций по применению дренажа.

Этапы, задачи и отчетные материалы гидрогеологических и ирригационных работ

Стадия проектирования	Целевая направленность работ	Состав и задач исследований
Схема	<p>I. Перспективное планирование и разработка программы комплексного использования и охраны земельных и водных ресурсов, рекомендации по выбору первоочередных объектов строительства</p>	<p>Тематическая работа по обобщению имеющихся материалов исследований, составлению мелкомасштабных карт или схем гидрогеолого-иригационного и инженерно-геологического районирования территории, проведение инженерно-геологических рекогносцировок, а в сложных районах — выполнение минимально необходимого объема геологоразведочных работ</p>
ТЭО	<p>II. Техно-экономические разработки по выбранному иригационному объектам для обоснования основных технических решений и стоимости строительства</p>	<p>Гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка с учетом требований иригационного строительства, позволяющая: обосновать выбор первоочередного массива развития ирригаций; использовать подземные воды для орошения и водоснабжения; дать гидрогеологическую и инженерно-геологическую характеристику конкурирующих вариантов гидротехнических сооружений (каналов, коллекторов, дамб, плотин насосных станций, водохранилищ и пр.), определение основных задач крупномасштабных исследований</p>
Технический проект	<p>III. Обоснование технического проекта строительства иригационных систем при двухстадийном проектировании и техно-рабочего проекта при одностадийном</p>	<p>Специализированная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка территорий, подлежащих освоению, обоснование расчетных схем и конструктивных особенностей иригационных систем. Оценка гидрогеологических параметров и инженерно-геологическая характеристика состава и свойств пород. При двухстадийном проектировании, кроме того, опытные замачивания просадочных грунтов в котлованах, опытные промывки засоленных земель, почвенно-солевые съемки, изучение условий формирования «верховодки». Прогноз изменения гидрогеологических и инженерно-геологических условий под влиянием действующих иригационных систем</p>
Техно-рабочий проект		

Масштаб исследований	Исходные материалы	Отчетные материалы (карты, составляемые дополнительно к картам съемок общего назначения)
<p>Определяется площадью объекта от 1 : 200 000 до 1 : 1 000 000</p> <p>1 : 200 000</p> <p>1 : 50 000</p>	<p>Карты м-бов 1 : 2 500 000, 1 : 1 000 000, 1 : 500 000 и 1 : 200 000, фондовые материалы, обобщающие работы и отчеты гидрогеологических станций по региональной сети</p> <p>Гидрогеологические карты м-ба 1 : 1 000 000 и 1 : 500 000. Материалы геологической съемки всех масштабов: карты геологические, тектонические, геоморфологические, стройматериалов м-ба 1 : 200 000 (1 : 100 000), используемые в качестве основы для проведения гидрогеологической и инженерно-геологической съемки для целей мелиорации</p> <p>Карты и материалы, полученные в результате съемки м-ба 1 : 200 000 Материалы многолетних наблюдений за режимом подземных вод и результаты воднобалансовых исследований</p>	<p>Карты: геологическая, тектоническая, четвертичных отложений, геоморфологическая с указанием контуров новейших структур, гидрогеолого-мелиоративного районирования, инженерно-геологического районирования, прогнозных эксплуатационных ресурсов пресных и слабосоленых вод, месторождений стройматериалов. Объяснительная записка</p> <p>Отчет по результатам съемки и основные карты м-ба 1 : 200 000: геоморфологическая с элементами новейшей тектоники, гидрогеологическая, инженерно-геологическая. Специализированные карты: гидродинамическая, гидрогеологического и инженерно-геологического районирования для целей мелиорации; в сложных районах гидрогеолого-мелиоративного районирования и инженерно-геологического районирования</p> <p>Отчет по результатам съемки и карты м-ба 1 : 50 000 Основные карты: геоморфологическая с элементами новейшей тектоники, четвертичных отложений, гидрогеологическая и инженерно-геологических условий</p> <p>Специализированные карты: ландшафтно-индикационная, глубин залегания, минерализации и химического состава подземных вод, статиграфогенетических комплексов и состава пород, гидродинамическая, засоления почво-грунтов зоны аэрации, гидрогеологического и инженерно-геологического районирования для целей мелиорации. В сложных районах составляются раздельно карты: гидрогеолого-мелиоративного и инженерно-геологического районирования</p> <p>Предварительный прогноз изменения режима и водно-солевого баланса грунтовых вод</p>

Стадии проектирования	Целевая направленность работ	Состав и задачи исследований
Рабочие чертежи	IV. Уточнение и детализация решений техпроекта и дополнительные проработки конкретных вопросов прогноза водного и солевого баланса, проектирование отдельных видов инженерных сооружений	Дополнительные изыскания на трассах каналов, коллекторов, гидротехнических узлов с целью уточнения гидрогеологических и гидрохимических параметров вертикального и горизонтального дренажа, опытно-эксплуатационные откачки для уточнения рекомендаций по использованию источников водоснабжения или орошения. Полевые изучения физико-механических и водно-физических свойств пород, опытные замачивания просадочных грунтов в котлованах, опытные промывки засоленных земель, опытная цементация пород и специальные воднобалансовые исследования на опытных участках

Дополнительные инженерные изыскания сопровождаются буровыми, горно-ходческими, опытными и лабораторными работами.

На этапе рабочего проектирования производятся уточнения и детализация решений техпроекта в объеме, необходимом для выполнения строительных работ.

Дополнительно изучаются: физико-механические и водно-физические свойства пород на отдельных участках сооружений со сложными геологическими условиями; участки развития карста, оползней, просадок и др.; участки, не обеспеченные количественными характеристиками основных расчетных показателей; параметры противofильтрационных устройств; степень трещиноватости зоны выветривания, определяющей устойчивость береговых склонов водохранилищ и магистральных каналов с целью разработки защитных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геология и плотины*/Под ред. А. А. Борового. М.: Госэнергоиздат, 1963. — Т. III. — 175 с.
2. *Глушков Г. И., Равв-Богословский Б. С.* Изыскания и проектирование аэродромов. — М.: Транспорт, 1972. — 279 с.
3. *Дружинин М. К.* Основы инженерной геологии. Учебник для учебных заведений Минтрансстроя. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1978. — 249 с.
4. *Дружинин М. К., Горелик А. М.* Методические рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям новых железнодорожных линий и реконструкции существующих железных дорог. — М.: Изд-во Всес. ин-та транспортного строительства, 1976. — 241 с.
5. *Изыскания и проектирование трассы Байкало-Амурской магистрали.* Справочно-методическое пособие. В помощь строителям БАМ/Под ред. Д. И. Федорова. — М.: Транспорт, 1977. — 199 с.
6. *Инженерные изыскания в строительстве.* Справочник по общестроительным работам. — М.: Стройиздат, 1975. — 479 с.
7. *Инженерно-геологические изыскания для строительства гидротехнических сооружений*/Под ред. Е. С. Карпышова. — М.: Энергия, 1972. — 376 с.
8. *Инструкция по инженерно-геологической документации строительных выемок при гидроэнергетическом строительстве (И-40-69).* — М.: Энергия, 1969. — 55 с.
9. *Лыкошин А. Г.* Карст и гидротехническое строительство. — М.: Стройиздат, 1968. — 180 с.
10. *Наставление по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки* — НИМП-72 / Под ред. Е. В. Болдакова и Л. Г. Бегама. — М.: Транспорт, 1972. — 25 с.

Масштаб исследований	Исходные материалы	Отчетные материалы (карты, составляемые дополнительно к картам съемок общего назначения)
	<p>Материалы съемки м-ба 1 : 50 000 для целей мелиорации</p> <p>Материалы технического проектирования</p>	<p>Результаты опытных и специальных исследований по: конкретным инженерным сооружениям; изучению водного и солевого баланса подземных вод; определению эффективности применения вертикального дренажа; опробованию месторождений строительных материалов. Составление прогноза изменения режима подземных вод и водносолевого баланса в результате мелиораций</p>

11. *Руководство* по определению состава и объемов инженерно-геологических изысканий для гидротехнического строительства (И-651—74). — М.: Энергия, 1974. — 110 с.
12. *Руководство* по проектированию оснований зданий и сооружений. 2-е изд. — М.: Стройиздат, 1978. — 373 с.
13. *Справочник* по земляному полотну эксплуатируемых железных дорог/Под ред. А. Ф. Подпалого, М. А. Чернышева и В. П. Титова. — М.: Транспорт, 1978. — 273 с.
14. *Строительные нормы и правила*. СНИП II-15—74. Основания зданий и сооружений. — М.: Стройиздат, 1975. — 104 с.
15. *Строительные нормы и правила*. СНИП II-39—76. Железные дороги колеи 1520 мм. Нормы проектирования. — 52 с.
16. *Хазанов М. И.* Искусственные грунты, их образование и свойства. — М.: Наука, 1975. — 135 с.

Глава девятая

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОРОД

1. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ПОРОД

Главная задача грунтоведения и инженерной геологии заключается в оценке геологической обстановки, сопровождающейся прогнозом инженерно-геологических процессов и явлений применительно к требованиям различных видов производственной деятельности человека. В случае отрицательного прогноза в комплексе инженерно-геологических работ входит выбор наиболее рациональных способов борьбы с неблагоприятными процессами и явлениями. Различают мероприятия двух типов: 1) инженерно-строительные (замена слабого грунта надежным, устройство свайных оснований, проектирование сооружений в виде плавающей конструкции, увеличение пространственной жесткости сооружения); 2) инженерно-геологические, базирующиеся на том, что в основе большинства неблагоприятных инженерно-геологических явлений лежат те или иные специфические свойства пород. Основными причинами, вызывающими необходимость мелиорации пород, встречающихся в поверхностной зоне земной коры, являются: 1) пустотность, трещиноватость и пористость скальных пород и массивов, что повышает их деформируемость, водопроницаемость, растворимость, выветриваемость, а также обуславливает их водоносность и водообильность; 2) недостаточная плотность, значительная обводненность при отсутствии структурного сцепления рыхлых несвязных горных пород, что вызывает значительные и неравномерные осадки, обуславливает фильтрационную неустойчивость и склонность переходить в пльвунное состояние и определяет существенные притоки воды к строительным котлованам и подземным сооружениям; 3) высокая пористость и неводостойкость структурных связей лёссовых пород, которые при сравнительно низкой естественной влажности являются основными причинами просадочных явлений и размываемости; 4) повышенное влагосодержание, малая плотность и специфика структурных связей глинистых пород, что обуславливает их малую прочность, низкую несущую способность и деформируемость.

Разработка теории и методов целенаправленного улучшения свойств пород и массивов в соответствии с запросами различных видов строительства и применительно к различным типам пород составляет существо технической мелиорации пород как определенной области современной инженерной геологии. Методы мелиорации пород используются как в качестве самостоятельных мер, так и в комплексе с инженерно-строительными мероприятиями.

Предметом технической мелиорации является изучение изменения состава, состояния и свойств пород в результате применения методов искусственного их улучшения в инженерно-геологических целях. Сюда относится также разработка методов рационального изменения физико-механических и фильтрационных свойств пород. Свойства искусственно полученных грунтов изучают не статически, а с учетом их изменения во времени под влиянием естественных и искусственных факторов.

Главной проблемой технической мелиорации пород является разработка научно обоснованных методов прогноза и регулирования изменений состава, состояния и свойств пород, происходящих в результате их искусственного преобразования в целях предотвращения существующих и потенциально нежелательных инженерно-геологических процессов.

Основными задачами технической мелиорации являются: 1) изучение и оценка горных пород как объектов искусственного воздействия в целях

определения условий и эффективности методов их уплотнения и упрочнения для улучшения физико-механических и фильтрационных свойств; 2) целенаправленный анализ процессов природного диагенеза, катагенеза, метаморфизма и гипергенеза в целях определения геохимически оптимальных условий искусственного воздействия и прогноза характера и направленности процессов, происходящих в искусственных грунтах под влиянием окружающей среды; 3) исследование механизма и кинетики формирования искусственных грунтов в различных литологических, гидродинамических и гидрохимических условиях; 4) изучение инженерно-геологических особенностей искусственных грунтов и прогнозов их изменения во времени с учетом изменения физико-химических параметров среды как в пределах массивов мелиорированных пород, так и в примыкающих к ним участках литосферы; 5) совместная с инженером-технологом и проектировщиком разработка приемов инженерно-геологической типизации массивов горных пород в целях оптимизации технологических схем различных видов искусственного воздействия; 6) разработка методов контроля качества закрепления для получения количественной характеристики физико-механических свойств мелиорированных пород и оценки их изменчивости в пространстве и во времени.

Все существующие методы технической мелиорации объединяются в два класса: 1) мелиорация пород на месте их естественного залегания; 2) создание грунтовых материалов. В основе такого подразделения лежит ряд принципиальных и технологических отличий, которые обуславливают особенности механизма искусственного преобразования пород и практические возможности соответствующих методов. Методы, входящие в класс 1, применяются для: а) усиления оснований сооружений; б) увеличения устойчивости склонов, откосов и подземных выработок; в) создания противофильтрационных завес; г) уменьшения водопритоков к горным выработкам. Методы, входящие в класс 2, применяются для: а) устройства оснований дорожных и аэродромных покрытий; б) создания земляных экранов и стенок (ограждений).

Учитывая основное назначение данного издания, состав справочного материала настоящей главы посвящен главным образом описанию методов мелиорации пород в условиях их естественного залегания в соответствии с содержанием главы СНиП III-9—74.

Работы по технической мелиорации пород осуществляются по специальным проектам, каждый из которых должен получить соответствующее инженерно-геологическое и экономическое обоснование. Проект должен быть обеспечен всеми исходными инженерно-геологическими данными, необходимыми для проектирования объемов закрепляемых пород, технологии мелиорации, расчетов оборудования, расхода материалов и пр. При этом учитывается специфика каждого способа мелиорации и его особые требования к освещению инженерно-геологических условий местности.

II. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ — ОБЪЕКТЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ

Применительно к задачам технической мелиорации можно ограничиться наиболее простым подразделением пород с привлечением общепризнанного способа их классифицирования по типу первичных структурных связей.

1. Породы с жесткими связями (твердые). В пределах этого класса часто выделяются две группы: скальные и полускальные.

2. Породы с отсутствием внутренних связей, или несвязные (раздельнозернистые). Сюда относятся рыхлые грубообломочные и песчаные.

3. Породы со сложными (смешанными) по своей природе связями. Они часто характеризуются как породы без жестких связей, мягкие или связные и подразделяются на две группы: лёссовые и глинистые.

Одним из решающих факторов оценки скальных и полускальных пород как объектов технической мелиорации является их трещиноватость и связанная с ней водопроницаемость. В зависимости от степени характера

трещиноватости (геометрия, морфология, генезис) массивов и их гидрогеологические особенностей для решения различных инженерных задач применяются такие способы, как цементация, глинизация, битумизация и замораживание. Кроме того, для достижения необходимой монолитности массивов полускальных пород применяются способы химического инъекционного закрепления (силикатизация, смолизация).

При оценке п е с ч а н ы х п о р о д в качестве объектов мелиорации наиболее существенное значение имеет их дисперсность, засоленность, влагосодержание, плотность, однородность сложения и тип аутигенных поверхностных пленок. Мелиорация таких пород осуществляется в целях придания им повышенной плотности, устойчивости, водонепроницаемости и прочности. Указанные изменения достигаются применением осушения, механического уплотнения (трамбование, вибрация, взрывы), силикатизации и смолизации.

Л ё с с о в ы е п о р о д ы являются сложным объектом и для прогноза эффективности тех или иных способов их мелиорации необходимо иметь ясное представление об их гранулометрическом и агрегатном составе, влажности, плотности и однородности сложения, а также о структуре и текстуре, водо- и газопроницаемости, емкости обмена, содержании карбонатов и гипса. Улучшение свойств лёссовых пород достигается в зависимости от поставленной задачи либо путем их механического уплотнения (трамбование, вибрация, взрывы), либо с помощью методов силикатизации. В некоторых случаях применяется термическое упрочнение.

Наибольшие трудности связаны с мелиорацией водонасыщенных г л и н и с т ы х п о р о д. Известные особенности этих пород и, в частности, низкая газо- и водопроницаемость, а также исключительно слабая водоотдача существенно осложняют использование большинства известных средств искусственного воздействия. При оценке глинистых пород особое значение приобретает характеристика их электрокинетических диффузионно-осмотических и адсорбционных свойств. Мелиорация таких пород может быть реализована на основе приложения градиента напора и электрического градиента в виде способов: вакуумирование (пылеватые разности), электроосушение и уплотнение; электрохимическое закрепление и электросиликатизация.

III. СПОСОБЫ МЕЛИОРАЦИИ ПОРОД

Все промышленно освоенные способы технической мелиорации пород на месте их естественного залегания объединяются в три группы: обезвоживание (осушение), механическое уплотнение, физико-химическая мелиорация.

Обезвоживание пород. Искусственное водопонижение и осушение пород применяются для решения следующих технических задач: 1) защиты поверхностных и подземных выработок от затопления подземными водами; 2) осушения местности, предупреждение заболачивания и подпора грунтовых вод; 3) уплотнения пород в основании зданий и сооружений; 4) предупреждения оползней, оплывания и других деформаций склонов и откосов выработок.

Для решения поставленных задач в зависимости от конкретных гидрогеологических условий используются способы: открытого водоотлива, дренажа, иглофильтровый, вакуумный и электроосмотический. Они применяются самостоятельно или в различных сочетаниях.

С п о с о б о т к р ы т о г о в о д о о т л и в а может быть применен в разнообразных инженерно-геологических условиях и при различной глубине. Под открытым водоотливом понимается откачка воды, проникающей в котлован, траншею или горную выработку с помощью открытых (к которым имеется непосредственный доступ) насосных установок и станций. Открытый водоотлив ведется, как правило, из специальных зумпфов и водосборников, к которым вода поступает по канавкам и потокам, кантирующим фильтрационный приток через откосы и дно котлована.

Этот способ не вызывает затруднений при разработке гравийно-галечных, скальных и полускальных пород. В малоустойчивых породах открытый водоотлив часто сопровождается процессами механической суффозии, явлениями оседа-

ния поверхности, деформацией откосов. В тех случаях, когда эти процессы и явления вредят строительству, применяются другие способы водопонижения.

Дренажи в зависимости от инженерно-геологических условий и строительной ситуации могут иметь место различные конструктивные особенности. Простейшим видом дренажей являются траншеи, которые в малоустойчивых породах частично заполнены фильтрующим материалом (камнем, щебнем, гравием). Более надежны в эксплуатации трубчатые дренажи, состоящие из трубчатых водотоков и фильтрующей обсыпки. Дренажи в виде подземных выработок (шtolен, штреков, галерей) из-за их значительной стоимости применяются в основном в период эксплуатации сооружений, для стабилизации оползневых массивов, при добыче полезных ископаемых подземным и открытым способами.

Иглофильтровый способ рекомендуется применять в неслоистых массивах, имеющих коэффициенты фильтрации от 1 до 50 м/сут с использованием установок типа ЛИУ, позволяющих достигать понижения уровня грунтовых вод одной ступенью на глубину до 4—5 м. Способ заключается в использовании для забора воды из породы часто расположенных скважин с трубчатыми водоприемниками малого диаметра — иглофильтров, соединенных общим всасывающим коллектором. Иглофильтры, так же как и дренажи, применяются в виде линейных и контурных систем, которые также могут быть совершенными (доходящими до водоупора) и несовершенными (не доходящими до водоупора).

Вакуумный способ следует применять в породах с коэффициентами фильтрации от 2 до 0,05 м/сут для усиления эффекта водопонижения при малой водопроницаемости, низкой водоотдаче и неоднородном сложении пород. В результате вакуумирования создается дополнительная разность напоров, достигается ускорение осушения и уменьшение высоты остаточного слоя воды; происходит уплотнение грунта под действием фильтрационного давления. Для понижения уровня грунтовых вод до 6—7 м используются установки вакуумного водопонижения типа УВВ и иглофильтров с обсыпкой. При необходимой глубине понижения уровня грунтовых вод до 10—12 м рекомендуется использование эжекторных иглофильтров с обсыпкой. При переслаивании водоносных и водоупорных слоев используются установки типа ЭВВУ, позволяющие достигать понижения уровня грунтовых вод до 20—22 м.

Электроосмотический способ водопонижения — электроосушение — основан на использовании явления электроосмоса, представляющего собой движение воды в порах грунта в поле постоянного электрического тока от анода к катоду. Этот способ следует применять в слабопроницаемых породах с коэффициентами фильтрации менее 0,05 м/сут. Электроосушение эффективно для незасоленных пород с удельным электрическим сопротивлением более 500 Ом/см при ширине котлована до 40 м. Способ реализуется в виде создания вокруг массива породы электроосмотической завесы, которая приводит заключенную в ней воду в капиллярно-натяженное состояние и позволяет вскрыть котлован насухо. С этой целью по периметру будущего котлована устанавливаются два ряда электродов, с внешней стороны иглофильтры (катоды), из которых производят откачку воды, а с внутренней — металлические трубы (аноды). Расстояние между электродами в ряду составляет 0,75—1,5 м; расстояние между рядами — 0,8 м. Глубина погружения иглофильтров должна быть не менее чем на 3 м ниже проектного понижения уровня грунтовых вод.

Механическое уплотнение пород применяется в промышленном и гражданском строительстве для усиления оснований зданий и сооружений; для предотвращения просадочных явлений; при возведении земляных сооружений (плотин, дамб, насыпей и т. п.); при создании противофильтрационных экранов и ограждающих стенок.

Виброуплотнение применяется для повышения устойчивости преимущественно песчаных пород. Под влиянием вибрации минеральные частицы песка испытывают колебательные движения, происходит их перемещение и достигается более плотная укладка.

Поверхностное виброуплотнение песков происходит с помощью вибрирующей плиты на глубину до 3 м. Глубинное виброуплотнение (до 20 и более метров)

производится при помощи глубинных вибраторов с применением искусственного увлажнения грунта (гидровиброуплотнение). Пески, предварительно уплотненные вибрированием, под штампом сжимаются в 8—10 раз меньше, чем неуплотненные.

Трамбование. Уплотнение породы трамбованием — последовательными ударами — сопровождается выдавливанием газов и воды, сближением твердых частиц. В результате этого уменьшаются пористость и влажность породы, увеличивается объемная масса, повышается сопротивление сжатию и сдвигу, возрастает несущая способность.

Поверхностное уплотнение трамбованием широко используется для устранения (частичного или полного) просадочных свойств лёссовых пород. Способ применяется в грунтах со степенью влажности менее 70% и производится при оптимальной влажности. Уплотнение осуществляется путем свободного сбрасывания трамбовки массой 3—7 т с высоты 4—8 м. Трамбованием создается уплотненный слой грунта толщиной 1,5—3,5 м в зависимости от массы трамбовки площади ее рабочей поверхности, высоты сбрасывания, числа ударов, вида грунта, его плотности и влажности. Уплотнение трамбованием наиболее эффективно на площадках с первым типом грунтовых условий просадочности.

Уплотнение энергией взрыва (сейсмическое уплотнение). В пробуренные скважины, расположенные по квадратной сетке, опускают цепочку патронов взрывчатого вещества. После взрыва скважины послойно заполняют грунтом и уплотняют трамбованием при оптимальной влажности. Одно из основных условий качественного уплотнения пород взрывами — проведение взрыва без образования выброса или выпора грунта. Сейсмоуплотнение применяется для уплотнения песчаных и лёссовых пород, в последнем случае часто в сочетании с замачиванием.

Механическое уплотнение массива пород сваями. Все виды свай, погруженные в породу без ее выемки, в какой-то мере оказывают уплотняющее действие на массив породы за счет уменьшения пористости ее вокруг свай на величину, равную суммарному объему тела забитых свай.

Набивные сваи устраивают путем приготовления отверстий в породе и заполнения их более плотным и устойчивым материалом, чем сама порода. В зависимости от состава заполнителя набивные сваи бывают бетонными, железобетонными, песчаными, цементно-песчаными и пр. При помощи набивных свай усиливают рыхлые малопрочные песчаные, торфяно-илистые, глинистые (неустойчивой консистенции) породы в активной зоне оснований сооружений.

Уплотнение просадочных грунтов предварительным замачиванием основывается на их способности самоуплотняться при увлажнении под действием собственного веса. Уплотнение просадочных грунтов от собственного веса происходит с некоторой глубины, на которой напряжения от собственного веса водонасыщенного грунта превышают величину начального просадочного давления. Поэтому верхние слои массива остаются неуплотненными.

Замачивание производится с поверхности дна котлована глубиной 0,5—1,0 м с постоянным поддерживаемым уровнем воды высотой не менее 0,3 м. В отдельных случаях — при значительной толщине просадочного слоя — через пробуренные скважины. Замачивание производится до достижения условной стабилизации просадки, принимаемой менее 1,5 мм в сутки в течение последних пяти дней замачивания.

Физико-химическая мелиорация пород. Способы физико-химической мелиорации (цементация, глинизация, битумизация, силикатизация, смолизация, термическое упрочнение и замораживание) применяются: для усиления оснований фундаментов под существующими зданиями; при вскрытии котлованов; при проходке горных выработок и тоннелей метро; для создания противофильтрационных завес и укрепления оснований гидротехнических сооружений; для увеличения несущей способности свай и опор.

Цементация и глинизация скальных пород представляют собой принудительное (под давлением до 2,0 МПа) внедрение в породу цементных или цементно-глинистых растворов, образующих в течение времени плотный

цементный или цементно-глинистый камень, заполняющий более или менее полно трещины и пустоты. Применяются два типа тампонажных растворов: а) быстрорасплаивающийся с большим водоотделением (цементные суспензии); б) стабильные растворы с небольшим водоотделением (цементно-глинистые, цементно-бентонитовые и т. п.).

Быстро распадающиеся суспензии наиболее эффективны в водонасыщенных породах. Исключением являются пористые полускарпальные породы, сухие слабцементированные песчаники и алевролиты. Подобные породы обезвоживают цементные растворы в процессе инъекции, что приводит к ухудшению качества цементации. Стабильные растворы целесообразнее применять в «сухих» породах, где опасное для этого типа растворов разжижение подземными водами не может иметь места.

Качество цементации во многом зависит от давления применяемого при инъекции. Оно должно быть достаточно высоким, чтобы препятствовать преждевременному выпадению частиц цемента в осадок и образованию пробок. Одновременно величины давления инъекции не должны превышать некоторых критических значений с тем, чтобы не вызывать размыва пород по напластованию и недопустимых разрывов пластов за пределами цементируемой области. Оптимальные значения давления инъекции обычно назначаются на основе опытных работ.

Выбор типа тампонажного раствора и эффективность цементации и глинизации скальных массивов зависят от характера трещиноватости (ширина раскрытия трещин, наличие и состав заполнителя и т. п.), скорости движения подземных вод и их химического состава.

Противофильтрационные завесы обычно устраивают из одного-двух (реже более) рядов цементационных скважин с расстоянием между рядами 1—3 м и расстоянием между скважинами в ряду от 1,5 до 5 м. Площадную противофильтрационную цементацию устраивают обычно в виде сетки скважин, располагаемых в шахматном порядке, из расчета одна скважина на 4—16 м².

Укрепительную цементацию выполняют в виде сетки скважин из расчета одна скважина на 9—36 м² и по месту, из условия подсечки определенных трещин или систем трещин.

Метод горячей битумизации основан на свойстве расплавленного битума резко снижать подвижность при остывании до температуры горных пород. Нагнетание горячего битума производится насосами через скважины с установленными в них специальными инжекторами, обеспечивающими подогрев битума в стволе скважины. При горячей битумизации используются битумы марок БН-II-У, БН-III и БН-III-У. Температура битума в котле поддерживается на уровне 180—190 °С. Основная область применения этого способа — гидроизоляция шахтных стволов на соляных месторождениях.

С и л и к а т и з а ц и я пород основана на применении технического силиката натрия (жидкого стекла), который при взаимодействии с коагулятором выделяет гель кремниевой кислоты, выполняющий роль заполнения цемента. Двухрастворный способ силикатизации применяется для закрепления песчаных пород с коэффициентом фильтрации от 2 до 80 м/сут и заключается в поочередном нагнетании на заданную глубину растворов силиката натрия и хлористого кальция. В результате этого песчаные породы приобретают прочность при одноосном сжатии 1,5—5 МПа.

Для закрепления песчаных пород с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 5 м/сут применяется однорастворный способ силикатизации. В этом случае в грунт закачивается один гелеобразующий раствор, приготовленный из смеси силиката натрия с коагулянт (ортофосфорная, кремнефтористоводородная кислоты или алюминат натрия). При смешении этих растворов образование геля кремниевой кислоты происходит в заданное время. Для устранения просадочных свойств лессовых пород с коэффициентом фильтрации не менее 0,2 м/сут и емкостью поглощения (в щелочной среде) не менее 10 мг/экв на 100 г сухого грунта применяется способ, основанный на инъекции только одного раствора силиката натрия. Способ газовой силикатизации, основанный на последовательной подаче в поровое пространство растворов жидкого стекла и углекислого газа (при избыточном давлении 0,4—0,5 МПа), применяется для закрепления песчаных и пылеватых пород с коэффициентом фильтрации 0,2—20 м/сут.

Смолизация — способ основан на использовании высокомолекулярных органических соединений типа карбамидных (мочевинноформальдегидных), нагнетаемых в песчаный грунт с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 50 м/сут в виде водных растворов с добавкой коагулянтов. Предел прочности на сжатие закрепленных образцов грунта составляет 0,5—5,0 МПа. В качестве коагулянтов применяются соляная или щавелевая кислоты. При содержании карбонатов от 0,1 до 3% необходима предварительная обработка грунта раствором кислоты 3—5%-ной концентрации.

Силикатизация и смолизация пород осуществляется путем нагнетания через систему инъекторов (забиваемых в грунт или опускаемых в скважины) соответствующих химических инъекционных растворов. Нагнетание химических растворов производится в однородные по водопроницаемости породы — заходками сверху вниз или снизу вверх, в неоднородных по водопроницаемости массивах слои с большей водопроницаемостью обрабатываются в первую очередь. Предельная величина давления нагнетания определяется пресеком на основании опытных работ. Вид, концентрация и рецептура химических растворов определяются в зависимости от инженерно-геологических условий и назначения закрепленного грунта.

Силикатизация и смолизация обычно применяются как способы постоянного закрепления грунтов оснований зданий и сооружений, создания фундаментов из закрепленного грунта и устройства водонепроницаемых завес.

Термическое упрочнение основано на нагнетании раскаленных газов, которые, проникая в поры, обжигают грунт и увеличивают его прочность. Высокотемпературные газы могут быть получены: а) непосредственно в скважине при сжигании в ней жидкого или газообразного топлива; б) вне скважины — путем нагрева сжатого воздуха в специальных прокалочных печах или путем сжигания топлива в различных агрегатах. Термическое упрочнение целесообразнее всего применять в маловлажных лёссовых породах, имеющих достаточную газопроницаемость. Способ применяется в целях упрочнения оснований существующих зданий и сооружений или создания фундаментов из закрепленного грунта. Сжигание топлива производится в специально пробуренных скважинах. Для получения массива упрочненного грунта заданной формы необходимо соблюдение следующих условий: надежная герметизация устья скважины; перемещение фронта горения топлива по длине скважины; поддержание в скважине указанной в проекте температуры. Максимальная температура в скважине должна быть в диапазоне 900—1100 °С.

Среднее удельное давление на поверхность термически закрепленных массивов следует принимать не более 1,0 МПа. Термическое закрепление в просадочных грунтах следует, как правило, производить на всю глубину просадочной толщи. Как исключение допускается устройство массивов не на всю глубину толщи.

Искусственное замораживание пород применяется в сложных гидрогеологических условиях как способ временного укрепления водонасыщенных пород путем создания водонепроницаемого ледогрунтового ограждения с замкнутым контуром при строительстве подземных сооружений и устройстве фундаментов глубокого заложения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Адамович А. Н., Колтунов Д. В.* Цементация оснований гидросооружений. — М.—Л. Энергия, 1964. — 514 с.
2. *Воронкевич С. Д., Евдокимова Л. А.* Газовая силикатизация песчаных пород. — М.: Изд-во МГУ, 1974. — 163 с.
3. *Камбефор А.* Инъекция грунтов (принципы и методы). — М.: Энергия, 1971. — 333 с.
4. *Литвинов И. М.* Глубинное укрепление и уплотнение просадочных грунтов. — Киев.: Будивельник, 1969. — 184 с.
5. *Ломиве Г. М., Нетушил А. В.* Электроосмотическое водопонижение. — М.: Госэнергоиздат, 1958. — 118 с.
6. *Рожаницын Б. А.* Силикатизация песчаных грунтов. — М.: Машстройиздат, 1949. — 136 с.
7. *Руководство по производству и приемке работ при устройстве оснований и фундаментов.* — М.: Стройиздат, 1977. — 240 с.
8. *Соколович В. Е., Губкин В. А., Овчаренко А. Г.* Новые способы закрепления лёссовых грунтов. — Днепропетровск: Промінь, 1975. — 126 с.
9. *Трупак Н. Г.* Специальные способы проведения горных выработок. — М.: Недра 1976. — 375 с.
10. *Шрейбер Б. П.* Битумизация в подземном строительстве. — М.: Недра, 1964. — 278 с.

Глава десятая

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОКРИОЛОГИЯ

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ ПОЧВ И ГОРНЫХ ПОРОД, ФОРМИРОВАНИЯ И РЕЖИМА МЕРЗЛЫХ СЛОЕВ И ТОЛЩ

Сезонное и многолетнее промерзание и оттаивание земной коры, формирование и режим слоев и толщ мерзлых почв и горных пород относятся к наиболее сложным и важным геотеплофизическим процессам. Их изучением занимается геокриология.

Геокриология определяется как наука о закономерностях промерзания, мерзлого состояния и оттаивания почв и горных пород (грунтов) и о связанных с этими следствиями теплообменных процессов (в системе литосфера — почва — атмосфера) криогенных физико-геологических явлениях в определенных физико-географических и геологических условиях.

Промерзание и оттаивание земной коры, формирование и режим (развитие) слоев и толщ мерзлых пород определяются, в геотеплофизическом смысле, крайними условиями на верхней и нижней поверхностях промерзающих, мерзлых и протаивающих слоев и толщ. Но сами крайние условия (в соответствии с физико-географической аксиомой Докучаева, Ячевского и Каменского) отражают влияние трех групп факторов: 1) литолого-петрографического, т. е. состава, строения и свойств слоев и толщ горных пород данного участка; 2) орографического — положения участка в мезорельефе и относительно морских бассейнов, т. е. высоты (абсолютной и относительной), угла и ориентировки наклона поверхности, связи с водоемом и водотоком; 3) зонально-поясного баланса тепла и влаги в деятельности слое и режима погоды (климата).

Что касается микроклимата, почв, растительного и снежного покровов и других местных условий на данном участке суши (элементов микроландшафта), то их особенности соответствуют определенным сочетаниям названных выше трех основных видов факторов.

Три главные группы факторов, определяющих развитие водо- и теплообменных процессов в земной коре и состояние ее верхнего яруса, можно выразить не только качественно, но и, что особенно важно, количественно. Тогда они представляются своеобразными параметрами, имеющими хотя и приближенные, но все же достаточно определенные числовые значения. Их можно использовать при вычислении теплового баланса почвенно-грунтового комплекса.

Так, например, литолого-петрографические особенности можно свести к величинам тепло- и теплопроводности яруса земной коры с годовыми теплооборотами (ЯГТ). Эти величины указывают на то, какие количества тепла переносятся теплопроводностью и привносятся в литосферу от поверхностных источников тепла и воды. Зная азимут и угол наклона поверхности участка, нетрудно определить различие в продолжительности облучения и угла падения солнечных лучей к деятельному слою, по сравнению с горизонтальной поверхностью данной полосы широт (или данного высотного пояса). Та и другая величины необходимы наряду с альбедо поверхности для вычисления суммы поглощенной радиации. Количественное выражение зонального и поясного условия обычно: оно заключается в указании широты и высоты местности. То же самое можно сказать о количественном выражении особенностей расположения данного участка суши относительно моря, озера и рек.

Сезоннопромерзающим слоем (СМС) называют поверхностный слой земной коры, промерзающий в холодный сезон года и всегда подстилаемый немерзлой почвой или горной породой. Толщина СМС (h_M) при прочих равных условиях меньше глубины h_T , до которой мерзлая почва и горные породы могли бы протаять, если бы СМС подстился всегда мерзлыми породами, или в переходных полосах (у южной и нижней границ многолетней криолитозоны) равна ей, т. е. $h_M \leq h_T$.

Сезоннопротаивающим слоем (СТС) называют слой почвы и горных пород, протаивающий в теплый сезон года, ограниченный снизу всегда мерзлой (многолетнемерзлой) подпочвой. При одинаковых поверхностных и почвенно-литологических условиях толщина СТС (h_T) меньше глубины, до которой может промерзнуть талая почва h_M , если бы СТС подстился постоянно тальными породами, или в переходных полосах (у южной и нижней границ зоны многолетней криолитозоны) равна ей, т. е. $h_T \leq h_M$.

Многолетней криолитозонной, или мерзлой зоной литосферы, называют внутриземную часть криосферы, состоящую из «беспредельно мерзлых слоев земной коры» (по А. Ф. Миддендорфу).

Толщами мерзлых горных пород (ТМП) называются толщи или разобщенные массивы («острова») горных пород, находящиеся в мерзлом состоянии в течение 5 лет и более. ТМП характеризуется водоупорными и газонепроницаемыми свойствами в отличие от СМС.

Мерзлые толщи определяют большое своеобразие всех физико- и инженерно-геологических процессов и явлений — большую заболоченность территории, быстрый сток поверхностных вод, высокие паводки, быстрое проявление эрозии и абразии, обрывистость подмываемых берегов и т. п.

Деятельным, или контактным, слоем (по А. И. Воейкову) называют слой почвы (в случае отсутствия растительности) или самую верхнюю часть почвенного разреза с растительным покровом, наиболее сильно нагреваемую солнечными лучами и приземным воздухом и излучающую, а также конвективно отдающую тепло в атмосферу.

Годовым теплооборотом почвы и подстилающих ее горных пород или верхней толщи водоемов с переменными в году температурами называют (по М. М. Крылову) приход тепла в этот ярус земной коры сверху или расход тепла из него вверх за годовой период.

Ярусом земной коры с годовыми теплооборотами (ЯГТ) или с переменными в году температурами называют почвенно-грунтовой комплекс, в который сверху поступает тепло и уходит из него вверх за годовой период.

Тепловым балансом деятельного (контактного) слоя или подстилающей поверхности называется равная нулю алгебраическая сумма основных поступлений и затрат тепловой энергии за данный отрезок времени:

$$R = LE + P + B,$$

где R — сумма потоков радиационного тепла на уровне подстилающей поверхности; LE — сумма произведений скрытой теплоты испарения или конденсации на количество испарившейся или сконденсировавшейся воды; P — сумма конвективных (турбулентных) потоков тепла между деятельным слоем и атмосферой; B — сумма потоков тепла между подстилающей поверхностью и слоями почвы и горных пород.

В метеорологии допускается и рационально используется равенство. Как известно:

$$LE + P + B = R,$$

$$R = (Q + q)(1 - \alpha) - I,$$

где Q — сумма потоков прямой радиации; q — сумма потоков рассеянной радиации; α — альbedo; I — эффективное излучение, разность сумм потоков собственного излучения деятельного слоя и противоизлучения атмосферы.

Для расчетов глубины сезонного промерзания и средней годовой температуры почвы и горных пород в слое с годовыми теплооборотах используется закономерное соответствие между температурой приземного воздуха и почвенно-грунтовых горизонтов. Исходя из уравнения теплового баланса деятельного слоя, связь средней годовой температуры воздуха и почвы можно выразить так:

$$T_{\text{п}} = T_{\text{в}} + \frac{R - LE - B}{\kappa},$$

где $T_{\text{п}}$ — температура поверхности почвы; $T_{\text{в}}$ — температура воздуха; R — радиационный баланс; LE — величина тепла испарения и конденсации; κ — коэффициент конвективного теплообмена.

Температура почвы при периодическом ее ходе (суточном, годовом) представляется гармонической функцией времени, т. е.

$$T_{\text{п}} = A_0 \sin(\omega\tau + \varphi),$$

где A_0 — амплитуда колебаний температуры на поверхности; $\omega = \frac{2\pi}{\tau}$ — угловая скорость (частота) колебаний; τ — время, для которого определяется температура; φ — начальная фаза колебаний.

При допущении постоянства коэффициента температуропроводности почвы и горных пород a по глубине, амплитуда колебаний температуры A на заданной глубине z будет равна

$$A_z = A_0 e^{-z \sqrt{\frac{\pi}{a\tau}}},$$

где τ — период температурной волны.

Эта зависимость получена путем решения уравнения теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = Q \frac{\partial^2 T}{\partial z^2},$$

где T — температура; остальные величины объяснены выше.

Разность между средними годовыми температурами почвы и воздуха

$$S_z = T_{\text{п}} - T_{\text{в}}$$

выражается следующей эмпирической зависимостью (по В. А. Кудрявцеву):

$$S_z = \frac{A_{\text{см}}}{2} \left(1 - \frac{1}{f}\right),$$

где $A_{\text{см}}$ — годовая метеорологическая амплитуда среднемесячных температур воздуха, а

$$f = e^{\frac{h}{aT} \sqrt{\frac{\pi}{aT}}},$$

где h — высота снежного покрова.

Значения $\left(1 - \frac{1}{f}\right)$ приведены в табл. 96.

Из двух выражений разности между средними годовыми температурами почвы и воздуха получается

$$T_{\text{п}} = T_{\text{в}} + \frac{A_{\text{см}}}{2} \left(1 - \frac{1}{f}\right).$$

После введения поправки на изменение средней годовой температуры воздуха по мере изменения высоты среднюю годовую температуру почвы приближенно

Значение величины $\left(1 - \frac{1}{f}\right)$ в зависимости от высоты h , плотности P
и коэффициента теплопроводности a снежного покрова

Плотность снежного покрова P г/см ³	Коэффициент температу- проводности a	Высота снежного покрова h , м									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,075	0,0010	0,094	0,181	0,259	0,329	0,398	0,451	0,503	0,551	0,597	0,632
0,110	0,0015	0,081	0,155	0,224	0,288	0,345	0,400	0,447	0,491	0,532	0,572
0,150	0,0020	0,071	0,136	0,197	0,253	0,306	0,355	0,400	0,442	0,482	0,518
0,190	0,0025	0,064	0,123	0,178	0,230	0,279	0,324	0,367	0,407	0,445	0,480
0,225	0,0030	0,058	0,113	0,164	0,213	0,259	0,302	0,343	0,381	0,416	0,450
0,250	0,0035	0,054	0,105	0,153	0,198	0,242	0,282	0,321	0,357	0,392	0,425
0,300	0,0040	0,051	0,098	0,143	0,186	0,227	0,267	0,303	0,338	0,371	0,403
0,340	0,0045	0,048	0,093	0,136	0,178	0,216	0,254	0,289	0,323	0,356	0,386
0,380	0,0050	0,045	0,088	0,130	0,169	0,206	0,242	0,277	0,309	0,341	0,371
0,415	0,0055	0,043	0,081	0,124	0,161	0,197	0,232	0,265	0,297	0,327	0,356

определяют по следующей формуле:

$$T_{\Pi} = T_{\text{в}} + H \Delta T_i + \frac{A_{\text{см}}}{i^2} \left(1 - \frac{1}{f}\right),$$

где $T_{\text{в}}$ — среднегодовая температура воздуха на уровне моря; H — высота местности; ΔT_i — адиабатическое изменение температуры воздуха с увеличением высоты $\left(\frac{1}{273} \text{ град/м}\right)$.

Географическое распространение сезонномерзлого слоя и толщ мерзлых горных пород. Верхняя граница многолетней криолитозоны обычно залегает под СТС. В высоких широтах она находится неглубоко.

Учитывая связь средней годовой температуры почвы $T_{\text{ср}}$ с метеорологической амплитудой средних месячных температур поверхности A , а также принимая во внимание то обстоятельство, что средние годовые температуры изменяются из года в год на $\pm 2^\circ$ (по В. А. Кудрявцеву), получим следующие выражения для условий появления СМС и обеспечения его устойчивости: образование СМС невозможно при $T_{\text{ср}} > \frac{A}{2} + 2$; существование устойчивого СМС возможно при $T_{\text{ср}} < \frac{A}{2} - 2$.

Толщина СМС и СТС при прочих равных условиях возрастает с увеличением водопроницаемости почвы и горных пород. В ряду видов почв и пород, относительно инженерно-геокриологического значения, конечными членами являются торфяные и крупнообломочные (гравийно-галечные, щебенистые и глыбовые). Глубина промерзания и протаивания увеличивается при переходе от участков с торфяной почвой к участкам с суглинистыми (пылевато-глинистыми), супесчаными, песчаными, песчано-гравийно-галечными, галечными и щебенистыми почвами и грунтами. Соответственно, как правило, уменьшается влажность (льдиность) промерзающих и протаивающих образований, а также степень увлажнения поверхности.

Если для участков с суглинистой и супесчаной почвой и материнской породой уравнение теплового баланса справедливо с необходимой геокриологам точностью при условии, что берутся регионально-зональные значения E , B и R (зависящего от особенностей деятельного слоя), то для участков с песчано-гравийно-галечными, щебенчато-глыбовыми образованиями и сильнотрещиноватым элювием скальных пород в это уравнение необходимо добавить величины, учитывающие аномально-большую инфильтрацию поверхностной воды в весенне-летний сезон. Тогда оно примет «оттенок протаивания при инфильтрации» и будет примерно таким:

$$T_{\Pi} = T_{\text{в}} + \frac{R - L(E - V) - B + VC_p \Delta T}{\kappa},$$

где V — избыточное, по сравнению с условиями инфильтрации в органогенно-глинистые и супесчаные почвы, количество воды, просочившейся в теплый сезон через почву и горные породы; C_p — теплоемкость воды при постоянном давлении; ΔT — разность температур воды и почвы или горной породы.

Влиянию водопроницаемости почвы и горных пород на их среднюю годовую температуру благоприятствует в весеннее время термически плотная стратификация гравитационной воды, которая вызывает конвективное перемещение ее в крупных порах и трещинах. Большая водопроницаемость слоя с годовыми теплооборотами исключает, как правило, пересушивание деятельного слоя и большие теплотери на испарение поверхностной и почвенной влаги. В силу указанных причин оазисы с немерзлой песчано-галечной подпочвой и азональными растительными покровами встречаются даже в тех областях, где средняя годовая температура воздуха ниже минус 10°C и толщина снежного покрова не более 50 см. Разница между средней годовой температурой торфяной (или торфяно-глинистой) и песчаной почв в пределах участка, однородного по другим признакам, обычно составляет 2—3 $^\circ\text{C}$.

II. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ (ОСНОВЫ РАСЧЕТА) ПРОЦЕССОВ ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННО ИЗМЕНЕННЫХ УСЛОВИЯХ ТЕПЛООБМЕНА С АТМОСФЕРОЙ

Тепловой режим пород определяется комплексом взаимосвязанных природных факторов: 1) внутренних — составом, строением и свойствами самой породы и 2) внешних — метеорологическими условиями, снежным покровом, растительностью, экспозицией склонов, условиями энерго-массообмена с глубинными зонами земли.

Периодические (суточные, сезонные, многолетние) колебания метеорологических условий вызывают соответствующие изменения температуры в верхних слоях пород. В зависимости от периода и амплитуды колебаний метеорологических элементов различают слои пород: 1) с суточными изменениями толщиной обычно 0,3—1,0 м; 2) с годовыми изменениями мощностью 10—30 м; 3) с многолетними колебаниями мощностью в несколько десятков и сотен метров. Считается, что колебания затухают на глубине, где их амплитуда становится менее $0,1^\circ$, т. е. не может быть обнаружена обычными термометрами.

Существенное, а в ряде случаев — определяющее влияние на тепловой режим пород оказывает хозяйственная деятельность человека при строительстве сооружений, вырубке лесов и распахивании земель, а также осуществлении мелиоративных и водохозяйственных мероприятий. Радиус теплового влияния различных хозяйственных устройств может колебаться от нескольких (отдельно стоящий дом) до десятков и сотен метров (поселки и города).

Сезонное промерзание и протаивание пород. Для расчета глубины сезонного промерзания — протаивания почв и пород предложено большое количество эмпирических, полуэмпирических и приближенных аналитических формул. Большинство их основано на предположении о кондуктивной передаче тепла в полуограниченном двухслойном пространстве с подвижной границей раздела слоев. Условия теплоотдачи с поверхности задаются периодической функцией в форме граничных условий I, II и III рода.

Формула В. С. Лукьянова является наиболее полной. Она позволяет рассчитывать глубину промерзания и протаивания почв и пород при различных условиях на поверхности, в том числе под дорожными и аэродромными покрытиями, а также учитывать теплообмен с подстилающими породами:

$$\tau = \left(L + \frac{c \Delta T}{2} \right) \left(\frac{\lambda \Delta T}{q^2} \ln \frac{\lambda \Delta T - qS}{\lambda \Delta T - q(z + S)} - \frac{z}{q} \right).$$

Здесь τ — длительность промерзания, ч; z — глубина промерзания, м; ΔT — разность между температурой воздуха над поверхностью и температурой замерзания поровой влаги, $^\circ\text{C}$; λ — коэффициент теплопроводности мерзлой породы Вт/(м $^\circ\text{C}$); c — объемная теплоемкость мерзлой породы, Дж/(кг $^\circ\text{C}$); L — скрытая теплота кристаллизации воды, Дж, q — тепловой поток, направленный из нижележащих слоев породы к фронту промерзания, Вт; S — приведенная толщина слоя тепловой изоляции поверхности, выраженная через фиктивную толщину слоя породы, см; $S = \frac{\lambda_{\text{из}}}{\lambda} S_{\text{из}}$; $\lambda_{\text{из}}$ — коэффициент теплопроводности слоя изоляции, Вт/(м $^\circ\text{C}$); $S_{\text{из}}$ — действительная толщина изоляционного покрытия, см.

Для облегчения расчетов можно пользоваться номограммой, изображенной на рис. 65. Вычислив $I = \frac{qS}{\lambda \Delta T}$; $I = \frac{\lambda \Delta T}{q^2} \cdot \frac{\tau}{L + \frac{c \Delta T}{2}}$, находят по номограмме H

и затем определяют искомую глубину промерзания: $z = HS$.

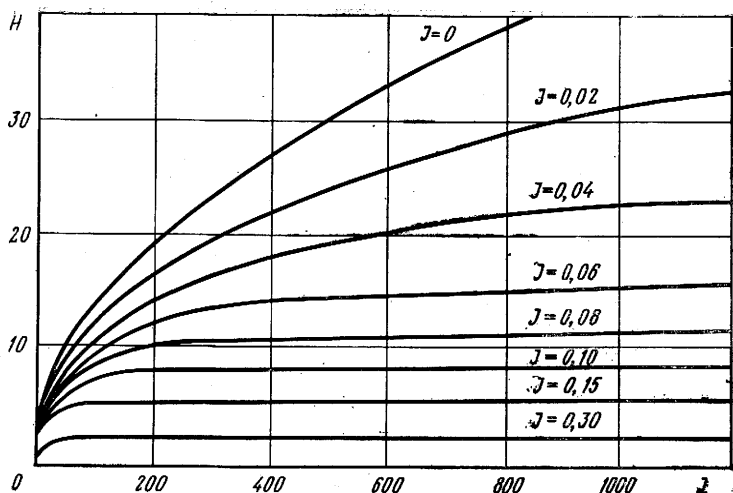


Рис. 65. Номограмма для расчета глубины сезонного промерзания (протаивания)

При недостатке исходных данных для расчета по результатам многолетних метеорологических и специальных сезонных наблюдений на данной площадке можно определить для нее наибольшую (расчетную) глубину промерзания — протаивания:

$$z_{\text{расч}} = z_{\text{д}} \sqrt{\frac{\sum T_{\text{max}}}{\sum T_{\text{д}}}},$$

где $z_{\text{д}}$ — глубина промерзания — протаивания, измеренная на осушенной площадке с оголенной поверхностью за данную зиму (лето); $\sum T_{\text{д}}$ — сумма отрицательных (положительных) среднемесячных температур за данную зиму (лето); $\sum T_{\text{max}}$ — то же, за наиболее суровую зиму (жаркое лето) по наблюдениям за ряд лет (не менее 10).

Одной из наиболее простых является следующая формула определения глубины промерзания — протаивания пород:

$$z = z_0 + \sqrt{\frac{2\lambda \Delta T \tau}{LW_a}},$$

где z_0 — глубина промерзания (протаивания) на начальный момент расчета; W_a — количество в породе термоактивной (замерзающей — оттаивающей в течение сезона) влаги.

Предельное протаивание оснований сооружений. Глубину наибольшего протаивания под центром сооружения, имеющего прямоугольное очертание в плане (длинная сторона $2l$, короткая $2b$), вычисляют (без учета конвективной составляющей теплообмена в грунте) по формулам:

1) при $\frac{l}{b} < 2$ по формуле трехмерной задачи:

$$\frac{z_{\text{пр}}}{b} = \sqrt{\sqrt{n^2 \operatorname{ctg}^2 \frac{\pi}{2} q_1 + \frac{1}{4} (1 + n^2)^2} - \frac{1}{2} (1 + n^2)},$$

где $n = \frac{l}{b}$ — отношение сторон здания в плане; $q_1 = \frac{\lambda_{\text{т}} T_0}{\lambda_{\text{м}} T_0 - \lambda_{\text{т}} T_{\text{п}}}$; $\lambda_{\text{м}}$ — коэффициент теплопроводности для мерзлых грунтов; $\lambda_{\text{т}}$ — то же для талых грун-

тов; $T_{\text{п}}$ — температура поверхности грунта под сооружением; T_0 — то же за пределами контура сооружения;

2) при $\frac{l}{b} \geq 2$ по формуле двумерной задачи

$$\frac{z_{\text{пр}}}{b} = \text{ctg} \frac{\pi}{2} q_1.$$

III. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПРОМЕРЗАЮЩИХ, МЕРЗЛЫХ И ПРОТАИВАЮЩИХ ПОРОДАХ И КРИОГЕННЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Криогенными физико-геологическими процессами называются лито-морфогенетические изменения, сопутствующие физическим и физико-механическим процессам в промерзающих, протаивающих и мерзлых породах, при изменениях температуры и переходах ее через точку плавления льда.

Криогенными физико-геологическими явлениями называются новообразования в толще горных пород, а также формы мезо- и микрорельефа, обусловленные формированием и таянием подземного или поверхностного льда. Эти процессы и явления входят в более длинный ряд термогенных геоморфологических процессов и явлений.

Общим процессом, определяющим криогенные особенности толщи горных пород и сопутствующие им специфическими образования, является их энерго-массообмен с внешней средой (атмосферой и нижележащими слоями) при температуре не выше 0° . Этот обмен обуславливает изменения температуры толщи горных пород. Его можно представить как гармонически колебательный процесс. Полная энергия его в пропорциональна эффективной теплоемкости C_3 , квадрату амплитуды A и квадрату частоты температурных колебаний ν , т. е. $\epsilon = C_3 (\pi \times A \cdot \nu)^2$.

Таким образом, наиболее энергоемкой и работоспособной частью яруса с годовыми колебаниями температуры являются СТС и СМС. Теплооборот их достигает $3/4$ всего количества тепла, поступающего в толщу горных пород за год.

Видоизменения проходящей через толщу пород энергии выражаются в форме сложной системы процессов. Основные превращения заключаются в проявлении класса специфических первичных физико-геологических процессов: 1) изменений температуры массивов пород; 2) фазовых переходов вода—лед.

Именно эти процессы определяют ряд элементарных криогенных процессов: 1) термоградиентную миграцию влаги; 2) физико-химические превращения скелета пород.

Различные ассоциации элементарных процессов составляют виды сложных криогенных процессов: 1) образование форм подземного льда; 2) криогенное пучение; 3) криогенное растрескивание; 4) термокарст; 5) солифлюкция; 6) криогенная сортировка материала; 7) наледообразование.

Разновидности сочетания криогенных и некриогенных физико-геологических процессов определяют все специфические свойства толщи мерзлых пород и сопутствующие ей многочисленные комплексные явления: 1) распространение самой толщи мерзлых пород; 2) сингенетическое и эпигенетическое строение этой толщи; 3) типы таликов; 4) выветривание пород; 5) термоэрозия и термоабразия; 6) развевание и перенос ветром морозных и протаивших пород и т. д.

Первичные физико-геологические процессы в промерзающих и протаивающих породах. Изменения температуры подпочвы взаимосвязаны: колебаниями региональных климатических и видоизменениями местных условий теплообмена. Колебания представляют систему наложенных периодов различной продолжительности. Им свойственны следующие важные закономерности:

1. Наибольшие амплитуды годовых температур. В континентальных районах Сибири на поверхности они местами превышают 50° . По мере увеличения числа

лет в периоде амплитуда колебания температуры сокращается. Историко-геологические колебания равняются чаще нескольким единицам градусов.

2. Глубина, до которой наблюдаются колебания температуры пород, возрастает с увеличением длительности их периода.

Изменение местных условий тепло-водообмена происходит главным образом при развитии рельефа, изменениях растительного и снежного покровов и др. Особенно большие преобразования подобного рода вызываются хозяйственной деятельностью человека.

Температура горных пород в основании ЯГТ преимущественно равняется среднегодовой температуре по всему разрезу этого яруса. С глубиной температура пород, в соответствии с геотермическим градиентом, как правило, повышается.

Фазовые переходы вода — лед в породах сразу меняют многие геофизические и геохимические параметры — прочностные, гидрогеологические, электрические, тепловые, сейсмические и др. Возникновение кристаллов льда в породе увеличивает количество твердых частиц по отношению к кратковременным нагрузкам. Лед, кроме того, цементирует частицы скелета, увеличивая тем самым прочностные характеристики промерзающих массивов. Поэтому их деформации способствуют со временем интенсивному разрушению частиц скелета породы до фракции пыли.

Промерзание рыхлых — песчаных и более грубообломочных литологических разновидностей обуславливает переход почти всей воды в лед при температурах, близких к 0°. В водонасыщенных рыхлых и трещиноватых скальных породах вследствие увеличения объема льда при кристаллизации воды на 9,07% возникает избыток воды β , превышающий удельный объем пор вмещающих пород. Избыток воды отжимается. При свободном промерзании слоя dz водонасыщенной породы объем избыточной воды U равняется:

$$U = \beta \Pi dz,$$

где Π — пористость пород.

Льдовыделение в связных — глинистых породах с понижением температуры до минус 2° и ниже (как и таяние льда при повышении температуры) происходит постепенно. Часть воды в таких породах всегда остается в виде незамерзших пленок вокруг частиц скелета. Пленки образуются молекулярно-ионными связями, составляющими в сумме значительные внутренние силы. Существенный объем связанной воды определяет более плавное изменение свойств глинистых (по сравнению с рыхлыми) пород при перепадах температур.

Элементарные криогенные процессы. Температурный градиентная миграция влаги. В промерзающих и оттаивающих, а также в мерзлых породах при колебаниях их температуры происходит непрерывное изменение общего количества и соотношения твердой и жидкой составляющих. Соответственно меняется характер удельной поверхности твердых частиц, а также степень их гидратации. Между массивами связных пород различающимися по интенсивности и направлению фазовыми переходами пленочной воды возникают градиенты потенциалов внутренних молекулярно-ионных связей. Толщина пленок в этих массивах изменяется. Восстановление напряжений, вызванных нарушением связей, идет за счет выравнивания толщины пленок в результате перемещения влаги.

Такое перемещение влаги в породе называют миграцией в отличие от движения воды в породе под воздействием гравитационного поля Земли, именуемого фильтрацией. При промерзании и протавании пород влага непрерывно мигрирует к массивам с более низкой температурой, в направлении температурного градиента. Промерзание связных пород при допуске воды идет с увеличением их влагосодержания. Поступающая вода расходуется преимущественно на рост кристаллов льда, определяющих формирование включений и залежей подземного льда, криогенную текстуру и строение мерзлой толщи пород.

Скорость миграции можно рассчитать по формуле Букингема: $V_z = K_m \frac{d\psi}{dz}$,

где K_m — коэффициент миграции; $\frac{d\psi}{dz}$ — градиент потенциала [внутренних

молекулярно-ионных сил, который Букингом назван градиентом капиллярного потенциала.

Преобразуя данное уравнение в более удобную форму, предложенную А. В. Лыковым, можно написать поток миграции в виде суммы двух потоков, вызываемых градиентами влажности ΔW и температуры ΔT :

$$I = -\gamma_c K (\Delta W + \delta \Delta T),$$

где K — коэффициент потенциалопроводности; δ — термоградиентный коэффициент; γ_c — объемная масса скелета породы.

Физико-химические превращения скелета пород. Промерзание и протаивание пород вызывает значительные изменения состава их скелета. Физическое выветривание в области с мерзлыми породами идет интенсивнее, чем в более южных районах. Причинами этого являются: а) механическое расклинивающее действие трещин водными пленками, особенно сильное при их замерзании; б) частые переходы температуры через точку плавления льда; в) значительное понижение температуры пород, при которой вода замерзает даже в весьма тонких пленках.

В Восточной Сибири, по данным И. Я. Баранова, гнейс в течение 36 лет (берма карьера) превратился в песок до глубины 4 м. Наибольшему разрушению подвергаются породы в условиях значительной заболоченности.

Интенсивность химических реакций обмена ионов в промерзающих глинистых породах почти не ослабевает при понижении их температуры до минус 2°. Постепенное сокращение суммарного объема пленок незамерзшей воды при этом, видимо, компенсируется увеличением концентрации ионов. Настоящая особенность проявляется также в высокой электропроводности подобных массивов по сравнению с промерзающими рыхлыми породами и чистым льдом.

Промерзание глинистых массивов выражается в перераспределении не только воды, но и скелета породы. Глинистые частички слипаются, коагулируют в более крупные пылеватые частицы. Происходит также формирование минеральных прослоек — агрегатов отдельностей. Они консолидируются, уплотняются, теряют влажность W . Последняя становится существенно меньше максимальной молекулярной влажности $W_{\text{мм}}$ ($W \ll W_{\text{мм}}$). В этом состоит внутриобъемная усадка. Однако объем всего промерзающего массива, как правило, не сокращается из-за льдовыделения между отдельностями. Кристаллизирующийся лед оказывает большое давление на скелет породы, способствуя его перегруппировке. Протаивание переуплотненных отдельностей глинистых пород, прочность которых достигает $8 \cdot 10^5$ Па, при доступе воды может сопровождаться набуханием, увеличением объема.

Сложные криогенные процессы. Сочетание элементарных криогенных процессов порождает развитие более сложных видов криогенных процессов и явлений (табл. 97).

По взаимопереходам видов энергии и взаимодействию физических и физико-химических полей их можно разделить на три типа, вызванные 1) теплопотерями (за счет внутренней энергии), которые происходят в промерзающих и охлаждающихся ТМП; 2) теплоприходами (за счет внешней энергии), которые происходят в протаивающих и нагревающихся ТМП, и 3) сезонным чередованием обеих составляющих, которые происходят в СТС и СМС.

Образование включений и залежей подземного льда. Подземным льдом (ПЛ) называют всякий лед, находящийся в земной коре, независимо от его происхождения и форм залегания. На приполярных низменностях он занимает иногда до 80% объема пород (четвертичных), в пылевато-глинистых отложениях и торфяниках нередко составляет крупные массивы, в горах его значительно меньше.

Залежи льда — слои, жилы, массивы пород мощностью 0,5 м и более, в которых лед составляет более половины объема. Чаще к ним относят скопления почти чистого льда.

Различают сингенетический ПЛ, возникший одновременно с промерзанием и седиментацией вмещающих отложений, и эпигенетический ПЛ, возникший в ранее образовавшейся и нередко уже промерзшей толще горных пород. ПЛ подразделяется на три основных генетических типа и на виды.

Конституционный тип льда формируется при промерзании увлажненных горных пород, из воды, которая находилась в них или поступила дополнительно из соседних водоносных слоев:

1. Лед-цемент образуется из воды, замерзающей в порах породы и на контакте частиц ее скелета, без нарушения характера их взаимного расположения; заметно изменяет лишь свойства породы, но не строение ее и обычно визуально плохо различим.

2. Сегрегационный лед выделяется внутри или на поверхности промерзающей глинистой породы или торфа в результате кристаллизационной дифференциации — раздвигания отдельностей вмещающих пород с подтягиванием пленочной воды к фронту промерзания и возникновения здесь ледяного штира. Лед плотный с мелкими (обычно не более 2×5 мм) равномерно распределенными пузырьками газа. Такой лед составляет широко распространенные тонкие прослойки: от долей до нескольких сантиметров. Они определяют вид криогенной текстуры пород.

3. Повторносегрегационный лед слагает горизонтальнослоистые залежи, пластовой, часто выпуклой формы. Нередко их центральная часть состоит из чистого льда. Четкая слоистость их обусловлена включением прослоев местных глинистых пород и расположением пузырьков воздуха. Размеры таких залежей на севере средней Сибири достигают 50 м по мощности и местами превышают 200 м по горизонтали. К западу, югу и востоку величина этих залежей убывает. Современные формы повторносегрегационных залежей льда залегают у основания СТС в пределах положительных элементов равнинного рельефа. Появление такого льда сопровождается пучением и другими криогенными деформациями. Некоторые исследователи несправедливо считают подобные залежи замерзшими инъекциями воды.

4. Инъекционный лед, возникший в дисперсной (до промерзания) породе при напорном внедрении и замерзании свободной воды в созданных ею полостях.

Пещерно-жильный тип льда образуется при замерзании пара или воды в готовых полостях:

1. Жильный лед заполняет готовые трещины.

2. Повторножильный лед образуется в торфяно-пылевато-глинистых породах при заполнении морозных трещин, периодически возникающих на одном и том же месте. Размеры сингенетических повторных жил достигают ширины 10 м и нескольких десятков метров по вертикали; эти жилы развиваются в форме полигональной решетки ниже СТС и взаимосвязаны с полигональным рельефом.

3. Пещерный лед заполняет полости (пещеры и ниши: карстовые, термокарстовые, суффозионные и смешанного происхождения), возникшие при выносе части вещества горных пород. Натечные и конденсационные (сублимационные) льды в пещерах встречаются за пределами областей многолетнемерзлых пород. Эти льды не всегда целиком заполняют существовавшие полости.

Погребенный тип льда — лед в толще пород, сохранившийся в результате погребения наземных льдов. По происхождению такие льды подразделяются на кристаллизационные (конжеляционные), образовавшиеся из воды, и метаморфические, образовавшиеся из снега. Льды такого генезиса развиты нешироко, крупные скопления их не встречаются, за исключением редких погребенных ледниковых массивов в горах. Последние обычно перекрыты вытаявшей мореной.

А. Конжеляционные льды: 1) наледи, промерзшие водоемы, донные льды (группа автохтонных льдов); 2) льдины речные, озерные и морские (группа аллохтонных льдов).

В. Метаморфические льды: 1) снежниковые, преобразованные в лед снежники при инфильтрации в них воды и последующей ее кристаллизации; 2) ледниковые, динамометаморфические.

Криогенное пучение — это поднятие поверхности почвы и породы, вызванное увеличением их объема при промерзании, вследствие раздвигания частиц и отдельностей скелета растущими кристаллами льда в результате питания мигрирующей водой. Обычно это — сегрегационный лед, или пльвун.

Сложные криогенные процессы и явления

Процессы		Явления	
гидротермические	криогенные	образования в толще (и на поверхности)	формы рельефа
Промерзание, приводящее к дегидратации — коагуляции и перестройке толщи пород	Фиксация находившейся в порах воды	Породы сцементированы в единые массивы	Нет
	Подтягивание воды к фронту промерзания (сегрегация)	Разрозненные прослойки (шлары) льда	Приподнятый участок
	Внедрения воды (инъекция)	Пластовые залежи льда	Бугры пучения (гидролакколиты)
	Излияние воды на поверхность	Наледь	Гидроэффузив
	Растрескивание массивов в разных местах	Трещины, элементарные жилки льда	Нет
	Систематическое образование трещин в одном и том же месте и заполнение их водой (замерзание), снегом, изморозью, грунтом	Повторножильные залежи льда и грунтовые жилы	Полигональноваликовый микрорельеф

Протаивание, приводящее к гидратации и нарушению строения толщи пород

Таяние льда-цемента	Восстановление проницаемости рыхлых пород и временная проницаемость связных пород	Нет
Таяние разрозненных прослоек	Остаточная криогенная текстура, избыточная вода	Западины (озера, бугристо-западинный и мезорельеф)
Вытаивание крупных залежей льда	Псевдоморфозы, полости, западины, избыточная вода	Полигональные контуры системы долин, временных водотоков и ручьев

Сезонное промерзание и протаивание, приводящее к разрушению и сортировке покровного слоя пород

Миграция воды	Прослойки льда, остаточная криогенная текстура	Нет
Дробление и физико-химические изменения пород	Покровные суглинки, каменные россыпи, скопления сортированного материала, инволюции	Горизонтальные поверхности со «структурными грунтами» и каменными россыпями, нагорные террасы
Перемещения частиц по склону	Накопление материала на склонах и у их подножий	Выположенные склоны, шлейфы
Течение разжиженных пород	Перемятость слоев	Солифлюкционные террасы, прерывистые гряды, цирки

Различают сезонное пучение, развивающееся в породах СМС и СТС, и многолетнее, обусловленное криогенными процессами, происходящими в породах залегающих глубже.

Практически пучение наблюдается всюду при промерзании пород, но бугры возникают лишь вследствие неравномерного пучения соседних площадок.

Пучение происходит под действием сил, работа которых пропорциональна общему уменьшению внутренней энергии, т. е. глубине и обводненности дисперсных образований. Наибольший эффект действия этих сил проявляется в торфе и в пылевато-глинистых отложениях, широко распространенных в северных и восточных районах СССР, главным образом за счет тепла, выделяющегося при замерзании воды.

Бугры пучения (БП) возникают в результате криогенного пучения. Различают многолетние БП, образовавшиеся: 1) вследствие повторносегрегационного льдовыделения; высота таких БП достигает 70 м (булгуняхи), ядра их отличаются повышенной льдистостью; 2) реже вследствие внедрения воды (гидролакколиты) и грунтовой массы.

Различают БП также по составу пород: торфяные, торфяно-минерально-глинистые и минеральные (глинистые).

Верхняя часть многолетних БП по мере пучения сносится, поэтому после протаивания льдистого ядра на месте таких бугров образуются западины и озера. Вокруг некоторых из этих озер сохраняются валы, сложенные материалом, перемещенным с вершины бывшего БП.

Криогенным растрескиванием называется расчленение трещинами массива мерзлых почв и пород в результате объемной суммарной усадки при понижении температуры. Расширение замерзающей при этом связанной воды с избытком компенсируется усадкой обезвоживаемого мелкозема главным образом вследствие коагуляции коллоидных частиц. Система трещин, как правило, имеет полигональный порядок. Нередко полигоны характеризуются прямыми углами.

В пределах СМС и СТС интенсивному растрескиванию горных пород способствует частая смена фазовых переходов вода—лед.

Жилые образования. В мерзлых пылевато-глинистых породах и торфяниках морозное растрескивание представляет собой условие возникновения тонких элементарных жилок льда и мощных повторножилых ледяных залежей, составляющих объемную полигональную решетку в мерзлых отложениях. Местами торфяно-глинистые породы между такими жилами сохраняются лишь в виде более узких вертикальных колонн. На поверхности грунта растущие жилы проявляются в виде полигональной сети, иногда обвалованных, трещин (полигонально-валиковый рельеф). Ширина полигонов обычно составляет от 5 до 20 м, высота валиков — 0,1—0,3 м.

Полости, образующиеся при вытаивании жил льда, в большинстве случаев заполняются материалом вышележащих отложений. Таким образом создаются псевдоморфозы (вторичные гуртовые жилы) по ледяным жилам.

Останцово-полигональные формы. Морозное растрескивание нередко определяет направление стока поверхностных вод по трещинам.

В северных районах специфическое проявление эрозии обусловлено также наличием в осадочных породах подземного льда. В таких условиях формируется своеобразный, нередко сглаженный останцово-полигональный (бугристо-западинный) микро- и мезорельеф.

Структурными почвами («грунтами») называют образования, возникшие в слое сезонного промерзания и протаивания вследствие криогенной сортировки обломочных пород и обладающие совокупностью характерных форм микрорельефа.

Различают пятна — медальоны, бугристость (кочковатость), каменные многоугольники, каменные кольца (венцы), каменные поля, или россыпи (моря), каменные потоки (курумы), каменные полосы (пашневидные склоны).

Наиболее типичные участки пятнистой тундры приурочены к относительно охлаждаемому, на севере — выступающим формам рельефа — вершинам холмов, бровкам террас и т. д. Поэтому пятнистая тундра служит известным индикатором инженерно-геокриологических условий местности.

Наледью М. И. Сумгин назвал изливание воды зимой вследствие уменьшения живого сечения русла и подрусового потока реки, от образовавшегося покрова льда и промерзания берегов, не помещающегося в этом сечении.

Вода под давлением напора вытекает на поверхность льда реки или на поверхность берегов приречной долины. Растекаясь по этим поверхностям, вода замерзает слой за слоем, образуя пласты слоистого льда. Наблюдаются также наледи только подземных вод, источники которых выходят на водоразделах и на склонах долин. В питании наледей большое значение нередко имеет снег.

Наиболее постоянные наледи, развивающиеся на протяжении всей зимы, питаются подземными водами глубинных горизонтов, выходящими по зонам разломов, тектоническим трещинам, контактам пород различного возраста и состава. Максимальной минерализации питающая вода достигает к весне. Подземные воды в большинстве случаев выходят в руслах рек и озерах. Если в восходящих субкавальных источниках температура воды превышает 1—2°, то ниже по течению зимой в ледяном покрове образуются полыньи.

Гидроэффузивами, или тарынами П. Ф. Швецов и В. П. Седов называют ледяные покровы, которые образовались путем последовательного замерзания наледей и, как правило, имеют горизонтальнослоистое строение из-за перемежаемости водного и снежного льда, обуславливающего соответствующее расположение включений пузырьков газа. При промерзании толстых изолированных слоев или линз наледей воды часть ее оказывается заключенной в ледяной оболочке. Под действием возрастающего гидростатического давления ледяная кровля выгибается и рвется, на поверхности гидроэффузивов формируются ледяные бугры пучения иногда с заключенными в них воздушными полостями.

Площади гидроэффузивов нередко превышают 100 км²; толщина их превосходит 5 м. По времени существования они бывают сезонными, летучими и многолетними. Крупные многолетние наледные поля называются тарынами; наиболее широко распространены в горах на северо-востоке Сибири.

Термокарстом называют вытаивание подземного льда, сопровождающееся деформацией слоев пород — возникновением осадки и провалы форм рельефа или образованием полостей в этих слоях. Просадки вызывают уплотнение пород.

Термокарстовые явления. Термокарстовый процесс четко проявляется в формировании отрицательных форм рельефа. Величина их определяется в значительной мере объемом вытаивающего подземного льда, на месте которого частично сохраняются полости, определяющие криогенно-остаточную текстуру пород (посткриогенную). Остаточные полости способствуют активизации движения подземных вод.

В результате проявления термокарста образуются большие западины — аласы, озера, местами составляющие до 70% площади территории. Наглядным признаком термокарстовых форм являются трещины, параллельные бровкам склонов западин, в некоторых случаях концентрические. Кроме того, показателен наклон деревьев в западину, затопление оснований стволов и гибель на корню деревьев, заболочиваемость участка и т. д.

Криогенными склоновыми процессами называются гравитационные смещения горных пород по склонам, связанные с систематическим промерзанием и протаиванием верхнего слоя пород, его нагреванием и охлаждением, увлажнением и осушением, вызывающими непрерывное изменение объема этого слоя. Смещению СТС способствует также его повышенное увлажнение и скольжение по ТМП.

Солифлюкция — сложное движение увлажненных пылевато-глинистых пород вниз по склону вследствие проявления криогенных процессов и силы тяжести.

Важным условием проявления солифлюкции являются уклоны поверхности. Это движение наблюдается на склонах крутизной 2° и более. Увеличение крутизны склона способствует движению, если при этом увлажнение пород не уменьшается. Скорость солифлюкционного перемещения весьма разнообразна.

Солифлюкционные образования. В результате солифлюкции на пологих склонах образуются потоки, заканчивающиеся языками, и сплывы протаивающего грунта. У основания склонов возникают шлейфы, часть толщи которых принад-

лежит к солифлюкционно перемещенному материалу. Поверхность таких шлейфов нередко характеризуется прерывистыми валами, созданными вследствие напора солифлюкционных потоков.

IV. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И СТРОЕНИЯ МЕРЗЛЫХ ПОРОД

Промерзавшими называются породы, в которых в данный момент происходит процесс кристаллизации содержащейся в них свободной воды.

Мерзлыми называются породы, в которых хотя бы часть свободной и капиллярной воды превращена в лед.

Протавящими (оттаивающими) называются породы, в которых в данный момент происходит процесс перехода содержащегося в них льда в свободную и капиллярную воду.

Кроме того, выделяют морозные, т. е. не содержащие ледяных включений при отрицательной температуре, а также талые и немерзлые — все породы при положительной температуре, соответственно бывшие или не бывшие до этого мерзлыми.

Сингенетический тип мерзлых толщ дисперсных пород — пылеватых песков, супесей, суглинков, глин и торфов — характеризуется большой льдистостью, равномерным распределением довольно однородных шлиров льда по глубине, сетчатой или слоистой криогенной текстурой. Важными признаками этого типа толщ являются также нахождение в них мощных повторножилых, повторносегрегационных (с нечеткими контурами) и погребенных залежей льда. Формирование таких толщ происходило при одновременном накоплении и промерзании осадков.

Эпигенетический тип характеризуется в целом небольшой льдистостью, резко убывающей с глубиной, разреживающимся по глубине распределением неоднородных шлиров льда и преобладанием массивных и слоистых криогенных текстур. Размеры шлиров льда, как правило, увеличиваются до глубины 15—20 м. Наиболее крупных размеров достигают повторносегрегационные залежи льда. Размеры повторножилых льдов значительно меньше. Погребенные залежи отсутствуют. Подобное криогенное строение имеют толщи, промерзшие после своего образования.

Таликом называется слой, линза, массив талых пород, залегающие в мерзлой толще. Содержание льда и незамерзшей воды в криогенных породах в значительной степени определяет их механические и другие свойства.

Промерзание пород начинается при нуле или близких к нему значениях отрицательной температуры с кристаллизацией содержащейся в них слабо минерализованной свободной и капиллярной воды.

В зависимости от интенсивности фазовых переходов поровой воды при различных значениях отрицательной температуры выделяют три температурных области промерзания пород.

1. Область значительных фазовых переходов

$$\left(\frac{\partial i_0}{\partial T} \geq 0,01 \frac{1}{\text{град}} \right),$$

обычно соблюдается условие $W_H < W_{MM}$.

2. Переходная область фазовых превращений $\left(0,001 \frac{1}{\text{град}} \leq \frac{\partial i_0}{\partial T} \leq 0,01 \frac{1}{\text{град}}; W_{ПС} < W_{П} < W_{ММ} \right)$.

3. Область практически замерзшего состояния:

$$\frac{\partial i_0}{\partial T} \leq 0,001 \frac{1}{\text{град}},$$

где $\frac{di_0}{dT}$ — изменение относительной льдистости в долях единицы при изменении температуры породы на 1°; W_H — содержание незамерзшей воды; W_{MM} — влажность, соответствующая максимальной молекулярной влагоемкости; $W_{ПС}$ — количество прочно связанной воды (близко к максимальной гигроскопической влажности).

В породах трещиноватых, крупнообломочных и песчаных обладающих малой удельной поверхностью, прочно связывающей лишь незначительное количество воды, почти вся вода находится в свободном состоянии. Промерзание и оттаивание таких пород при малом содержании в них водорастворимых соединений происходит в узком интервале температур (от 0 до $-0,2^\circ$), после чего процесс кристаллизации практически прекращается и порода считается полностью промерзшей.

Супесчаные, суглинистые, глинистые и торфяные породы отличаются высоко развитой удельной поверхностью и в ряде случаев обладают ультрапористостью. Такие породы способны удерживать в связанном состоянии большое количество воды, часть которой не замерзает при температуре ниже -50°C .

Зависимость содержания незамерзшей воды в мерзлых породах от температуры $W_H(T)$ в общем виде выражается как:

$$W_H = W_0 + A \left[\frac{1}{(1 + a \Delta T + b \Delta T^2)} - 1 \right],$$

где W_0 — начальное содержание связанной воды в породе; A , a , b — диаметры, характеризующие состав, строение и свойства породы, обменный комплекс, определяемые экспериментально:

$$\Delta T = T - T_0,$$

где T — температура начала промерзания породы.

При повышении содержания водорастворимых соединений температура промерзания — оттаивания породы понижается в соответствии с концентрацией и ионным составом раствора.

При увеличении плотности (уменьшении влажности) дисперсных пород происходит понижение температуры начала их промерзания, обусловливаемое отжатием менее связанной воды и соответствующим понижением температуры кристаллизации оставшейся, более прочно связанной воды.

Зависимость содержания незамерзшей воды $W_H(T)$ от уплотняющего давления P во влажных породах ($W > W_{MM}$) можно выразить равенством

$$W_H(P) = W + K(T)P,$$

где W — содержание незамерзшей воды при $P = 0$ и температуре T ; $K(T)$ — коэффициент, зависящий от температуры.

В породах, компрессионно уплотненных до влагосодержания $W < W_{MM}$, изменения давления в обычных для строительства на поверхности пределах не оказывают существенного влияния на содержание в них незамерзшей воды.

VI. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ПРОМЕРЗАЮЩИХ, МЕРЗЛЫХ И ОТТАИВАЮЩИХ ПОРОД

Определение величины пучения пород при промерзании. Поднятие поверхности в результате пучения зависит главным образом от минерального и гранулометрического состава породы, ее влажности, скорости промерзания и возможности свободного доступа воды к фронту промерзания из смежных непромерзающих слоев.

При оценке возможной величины пучения следует выяснить, в каких условиях будет происходить промерзание — в условиях открытой или замкнутой системы, т. е. при наличии или отсутствии подтока воды к фронту промерзания из смежных непромерзающих слоев породы.

Для замкнутой системы считают, что породы не подвержены пучению при следующих условиях влажности:

$$W \leq W_p \text{ (для глинистых пород);}$$

$$W \leq 92 \frac{(\Delta - \gamma_c) \Delta_0}{\Delta \gamma_c} \text{ (для крупносkeletalных пород),}$$

где W — отношение влажности породы к сухой навеске, %; W_p — влажность на границе раскатывания; Δ , Δ_0 — плотность минерального скелета и воды.

Если указанные неравенства не соблюдаются, то величину пучения их определяют по формулам:

а) при не полностью водонасыщенных породах

$$h_{II} = \left[\frac{\gamma_c}{\Delta_0} \left(1,09W - 0,09W_{II} + \frac{\Delta_0}{\Delta} \right) - 1 \right] z;$$

б) при полностью водонасыщенных породах

$$h_{II} = 0,09 \Delta \frac{W - W_{II}}{\Delta_0 + W\Delta} z.$$

При промерзании в условиях открытой системы величину пучения вычисляют по различным формулам в зависимости от глубины залегания подземных вод и влажности пород.

1. Участки с глубоко залегающими подземными водами.

Влажность

$$W < 0,6W_T,$$

где W_T — предел текучести. В этом случае высота пучения (h_{II}) будет иметь следующее выражение:

$$h_{II} = \frac{3,08J}{\sqrt{a_0} - \sqrt{a_1}} \sqrt{\tau},$$

где J — комплексный параметр, учитывающий начальную влажность породы, ее влагопроницаемость, которая приближенно принимает следующие значения: для глин — 0,12; для суглинков и пылеватых суглинков — 0,14; для пылеватых супесей — 0,31; для легких супесей — 0,19; для супесей — 0,17; для пылеватых песков — 0,16. Значения a_0 и a_1 получены путем решения следующих отношений:

$$a_0 = \frac{z^2}{2\tau_3},$$

где z — среднее многолетнее значение наибольшей глубины промерзания; τ_3 — продолжительность зимы в данном районе;

$$a_1 = \frac{z_1^2}{2\tau_1},$$

где z_1 — глубина проникания в породу изотермы — 3°C за время τ_1 ; τ_1 — время с начала промерзания породы.

Влажность $W > W_T$. Здесь h_{II} будет равно:

$$h_{II} = 1,26 (W_0 - W_{MM}) \sqrt{k_k \tau},$$

где W_0 — начальная влажность; W_{MM} — максимальная молекулярная влагоемкость; k_k — коэффициент капиллярной влагоемкости пород (см/сут), равный для глин — 0,17; для суглинков — 10,0; для супесей и пылеватых супесей — 6,6.

2. Участки с близко залегающими подземными водами. Высота пучения в этом случае определяется по формуле

$$h_{II} = \frac{2,2 (W_k - W_0)}{a_0} \left(2,3H_0 \lg \frac{H_0}{H_0 - z} - z \right),$$

где H_0 — глубина залегания подземных вод от поверхности; z — наибольшая глубина промерзания; W_k — капиллярная влагоемкость породы.

Крупносkeletalные породы в условиях открытой системы при промерзании пучатся незначительно, их пучение выражается в долях процента. Это объясняется легкостью отжатия воды от фронта промерзания.

Определение величины осадки породы при оттаивании. Осадка пород при оттаивании происходит главным образом в результате уменьшения размеров макропор, образовавшихся после вытаивания льда и уплотнения минеральных агрегатов.

Относительная осадка пород, оттаивающих под умеренной нагрузкой, выражается зависимостью

$$S = A + yp,$$

где S — величина осадки; A — коэффициент оттаивания; y — коэффициент уплотнения (сжимаемости); p — уплотняющая нагрузка.

Коэффициенты A и y могут значительно изменяться по глубине, причем это изменение, как правило, происходит скачкообразно. Поэтому для сильнольдистых пород числовые значения коэффициентов необходимо определять не реже чем через 0,5 м по глубине, а для умереннольдистых — через 1 м. Осадку, возникающую за счет ледяных прослоек значительной толщины, следует учитывать отдельно. Величины A и y определяют в лабораторных условиях на образцах с нарушенным сложением, которые испытывают в одометрах. Осадка оттаявшей породы под действием собственного веса определяется по формуле

$$S = \sum_1^n A_i h_i + \sum_1^n a_i F \gamma_i + \sum_1^n l_i,$$

где A_i и y_i — коэффициенты оттаивания и уплотнения отдельного слоя; h_i — толщина этого слоя за вычетом крупных прослоек льда в нем; $F \gamma_i$ — площадь эпюры давления от собственного веса породы в пределах слоя; $\sum l_i$ — сумма толщин крупных ледяных прослоек в пределах i -го слоя. Максимально возможную осадку пород при оттаивании можно определить по формуле

$$S_{\max} = \frac{(1 + 0,09i_0) W - W_p + \frac{V_0 - V_{II}}{\gamma_c}}{(1 + 0,09i_0) W - W_p + \frac{1 - V_{II}}{\gamma_c}},$$

где W — суммарная влажность породы в долях единицы; W_p — влажность на границе раскатывания в долях единицы; V_0, V_{II} — количество воздуха в породе в естественном состоянии и после уплотнения; для приближенных расчетов V_0 и V_{II} можно принять равными нулю; i_0 — относительная льдистость.

Фактическая осадка составляет часть максимальной и приближенно вычисляется по формуле

$$S = k S_{\max},$$

где k — эмпирический коэффициент ($k \leq 1$).

Определение показателей физических и механических свойств мерзлых пород. Мерзлые породы представляют собой поликомпонентные многофазные системы, отличающиеся от пород немерзлых своим составом (наличием льда) и строением (криогенной текстурой). Лед в мерзлых породах служит породообразующим минералом и цементом, связывающим минеральные частицы и увеличивающим прочность породы.

Особенности строения мерзлых пород, связанные с протекавшими в них криогенными процессами (замерзанием поровой влаги, миграцией воды к фронту промерзания и избыточным льдовыделением, изменением первичной текстуры под воздействием растущих кристаллов льда), характеризуются криогеной текстурой.

В зависимости от размеров, формы ледяных включений и их взаимного расположения в составляющих породе компонентами различают три основных типа криогенной текстуры: 1) *массивную* — породы, не содержащие обособленных ледяных включений; 2) *слоистую* — породы, в которых ледяные включения расположены в виде более или менее параллельных прослоек и линз; 3) *сетчатую*.

тую — с пересекающимися ледяными включениями, образующими более или менее непрерывную пространственную решетку (сетку).

Объемную массу мерзлых пород с учетом находящегося в них льда и незамерзшей воды определяют путем гидростатического взвешивания или с помощью объемомера. Объемную массу γ можно определить расчетом по данным фазового состава воды в породе:

$$\gamma = \frac{0,9\Delta(100 + W)}{90 + \Delta(W - 0,1W_H)},$$

где Δ — плотность минеральных частиц; W — общая (суммарная) влажность в % к сухой навеске; W_H — количество незамерзшей воды в % к сухой навеске.

Объемную массу скелета в полевых условиях приближенно можно подсчитать по формуле

$$\gamma_{ск} = \frac{100\gamma}{100 + (W_H + 1,09W_L)},$$

где γ — объемная масса мерзлой породы; W_H — количество незамерзшей воды в долях единицы к сухой навеске; W_L — льдистость.

Влажность и льдистость. Общей (суммарной) влажностью мерзлых пород называют отношение массы незамерзшей воды g_H и льда g_L к массе сухой породы g_{Π} в %

$$W = \frac{g_H + g_L}{g_{\Pi}} \cdot 100\%.$$

В породах массивной криогенной текстуры общую влажность можно определить по образцам, отобранным из отдельных точек массива. При определении общей влажности льдистых грунтов наилучшие результаты получают при способах средней пробы и бороздковом.

Влажностью минеральных прослоев W_{MH} называют влажность прослоев породы, не содержащих заметных включений льда и находящихся между ледяными жилами или прослойками льда; W_{MH} определяется по образцам, отобранным из отдельных точек прослоев.

Содержание незамерзшей воды W_H в мерзлых породах выражается в процентах к сухой навеске

$$W_H = \frac{g_H}{g_{\Pi}} \cdot 100\%.$$

Здесь количество незамерзшей воды при данной отрицательной температуре g_H вычисляется по разности $g_H = g_B - g_L$ между общим содержанием воды g_B и количеством льда g_L . Последнее количество определяется обычно в лабораторных условиях дилатометрическим или калориметрическим способом — по изменению объема породы при оттаивании или по количеству выделяющейся при этом скрытой теплоты. Для приближенных расчетов значение W_H берут по типовым графикам или таблицам. В песках содержание незамерзшей воды ничтожно и ее можно не учитывать.

Льдистостью W_L называется количество льда в породе (влажность, приходящаяся на долю льда), она выражается в долях единицы от массы сухой породы.

Льдонасыщенность i представляет собой отношение массы льда g_L к массе мерзлой породы и выражается в долях единицы:

$$i = \frac{g_L}{g_{\Pi} + g_B} = \frac{W - W_H}{1 + W}.$$

Относительная льдистость i_0 или коэффициент льдистости равен отношению массы льда g_L к массе воды g_B , содержащейся в породе:

$$i_0 = \frac{g_L}{g_B} = 1 - \frac{W_H}{W}.$$

Объемная льдистость i' показывает отношение объема льда к объему мерзлой породы:

$$i' = \frac{\gamma}{\Delta_B} \frac{W - W_H}{1 + W} \cong \gamma i,$$

где γ — объемная масса мерзлой породы; Δ_B — плотность воды.

Объемная льдистость за счет льда-цемента $i'_{ц}$ и за счет прослоек льда $i'_{п}$:

$$i'_{ц} = \frac{\Delta (W_{MH} - W_H)}{90 + \Delta (W - 0,1W_H)} \cdot 100\%,$$

$$i'_{п} = \frac{\Delta (W - W_{MH})}{90 + \Delta (W - 0,1W_H)} \cdot 100\%,$$

где Δ — плотность породы; W_{MH} — отношение влажности мерзлых минеральных прослоек к сухой навеске, в %.

Степень заполнения пор породы льдом и незамерзшей водой можно представить следующей формулой:

$$m = \frac{\gamma_{ск} (1,09W_{л} + W_H)}{\Pi}.$$

Значительный интерес представляет метод совмещенного определения (по Г. П. Мазурову), основных физических показателей мерзлых пород — объемной массы, льдистости и общей влажности. Преимущества метода состоят в высокой достоверности, согласованности получаемых характеристик и небольшой трудоемкости.

Фильтрационные свойства. Коэффициент фильтрации песчаных и водонасыщенных пород при промерзании резко уменьшается и для мерзлых песков практически может быть равен нулю. Глинистые породы, содержащие известное количество незамерзшей воды, сохраняют в некоторой степени водопроницаемость. Так, при температуре -1°C коэффициент электроосмотической водопроницаемости тяжелого мерзлого суглинка при влажности 24% равен $\sim 14 \cdot 10^{-10}$ см/с. Однако, чтобы вызвать движение воды в такой породе, необходимо приложить большой начальный градиент напора. При частичном заполнении пор водой пески в мерзлом состоянии обладают некоторой водопроницаемостью.

При оттаивании мерзлые породы некоторое время частично сохраняют криогенную текстуру — в местах вытаявания ледяных включений остаются макропоры. По этим макропорам может происходить фильтрация воды. Коэффициент фильтрации в породах с остатками криогенной текстуры определяется количеством макропор, их размерами и расположением, макропористостью, а также водопроницаемостью агрегатов минеральных частиц, заключенных между микропорами (микропористость).

Пылеватые оттаявшие суглинки, обладающие в ненарушенном состоянии коэффициентом фильтрации порядка 10^{-7} см/с, после нескольких циклов сезонного промерзания — оттаивания обнаруживают в условиях ненарушенного залегания повышенный коэффициент фильтрации, близкий к $3 \cdot 10^{-4}$ см/с. Увеличение коэффициента фильтрации за счет криогенной макропористости возможно и при оттаивании многолетнемерзлых пород.

Анизотропность криогенной текстуры может обусловить изменение коэффициента фильтрации оттаявших пород в 3—4 раза в зависимости от направления потока фильтрации относительно преимущественной ориентации макропор.

Электропроводность мерзлых пород определяется их составом, в первую очередь количеством и степенью минерализации незамерзшей воды и льда, а также криогенной текстурой. Большое разнообразие сочетаний факторов, действующих в природных условиях, предопределяет невысокую сходимость результатов испытаний образцов с ненарушенным сложением.

При промерзании породы ее электропроводность вначале очень быстро, а затем значительно медленнее уменьшается. Это соответствует постепенному замерзанию поровой влаги, в различной степени связанной.

Диэлектрическая проницаемость мерзлых пород в основном зависит от количества содержащейся в них незамерзшей воды и от частоты колебаний электрического поля f . Диэлектрическая постоянная мерзлых пород изменяется в пределах $2 < E < 80$. Ее значения определяются величиной диэлектрической проницаемости воды $E_{\text{в}} = 80 \text{CGSE}$ и льда $E_{\text{л}} = 2 \text{CGSE}$.

Теплоемкость мерзлых пород подразделяется на эффективную и аддитивную.

Эффективная $C_{\text{эф}}$ равна количеству тепла, необходимого для изменения температуры мерзлой породы на 1° , включая теплоту фазовых переходов воды:

$$C_{\text{эф}} = \frac{C_{\text{мгм}} + C_{\text{лгл}} + C_{\text{нгн}} + 80 \frac{\Delta g_{\text{л}}}{\Delta T}}{g_{\text{м}} + C_{\text{л}} + g_{\text{н}}}$$

Аддитивная $C_{\text{ад}}$ не учитывает теплоту фазовых переходов воды:

$$C_{\text{ад}} = \frac{C_{\text{мгм}} + C_{\text{лгл}} + C_{\text{нгн}}}{g_{\text{м}} + g_{\text{л}} + g_{\text{н}}},$$

здесь м, н, л — индексы, относящиеся соответственно к минеральной составляющей породы, незамерзшей воды и льда; C — теплоемкость Дж/К; g — масса, г;

$\frac{\Delta g_{\text{л}}}{\Delta T}$ — изменение количества льда в граммах при изменении температуры на 1°C (принимается по экспериментальным данным).

Понятие об эффективной теплоемкости учитывается при некоторых приближенных теплофизических расчетах. Разность между $C_{\text{эф}}$ и $C_{\text{ад}}$ может достигать значительных величин.

Коэффициент теплопроводности мерзлых пород зависит от состава и строения породы и изменяется с ее температурой.

В лабораторных условиях значение λ_{T} определяют по методу регулярного или стационарного режима на монолитах с ненарушенным сложением. Размеры монолита должны быть достаточно велики, чтобы особенности криогенной текстуры не отражались на результатах. При полевых исследованиях для определения λ_{T} применяют шаровые зонды, цилиндрические иглы, пластины, служащие мгновенными или изотермическими источниками тепла и позволяющие охарактеризовать теплофизические свойства отдельных напластований.

Осредненные значения теплофизических характеристик толщ мерзлых пород с учетом всех видов теплообмена в породе могут быть получены путем расчета, проведенного на основе метода температурной волны. Для расчета необходимо знать влажность и объемную массу породы и дважды в течение лета измерить глубину протаивания и температуру на трех глубинах, включая глубину, на которой сезонные колебания не превышают $0,1-0,2^\circ \text{C}$.

Приближенное значение λ_{T} для песчаных и глинистых пород и его изменения в зависимости от температуры T также можно рассчитать на основании значений объемной массы породы γ , ее влажности W и температуры T по эмпирической формуле

$$\lambda_{\text{T}} = \lambda_{-10} - \frac{W_{\text{н}}}{W} (\lambda_{-10} - \lambda_0).$$

Значения коэффициентов теплопроводности при $T = -10^\circ$ (λ_{-10}) и $T = 0^\circ$ (λ_0) берут по графику, изображенному на рис. 66.

Прочность и деформируемость мерзлых пород зависят главным образом от гранулометрического состава, текстуры и влажности породы, ее температуры, а также времени действия нагрузки. Мерзлые породы обладают свойствами ползучести и релаксации напряжений. Эти свойства выражаются в том, что при постоянной деформации сопротивление пород непрерывно уменьшается во времени.

Вследствие свойств ползучести и релаксации прочность мерзлых пород является в значительной степени понятием условным, так как она зависит от про-

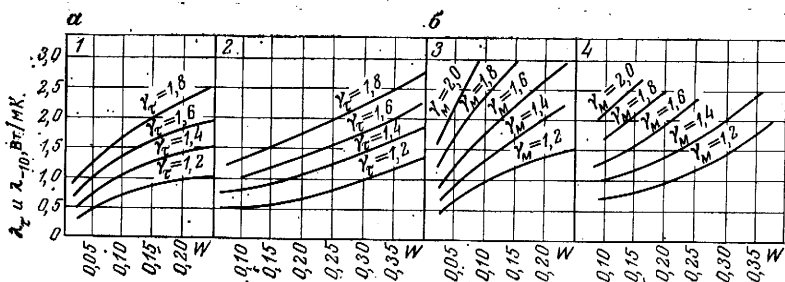


Рис. 66. Коэффициент теплопроводности: а — для талых пород; б — для мерзлых пород (1 и 3 — в песчаных; 2 и 4 — в глинистых отложениях)

должения действия нагрузки. При кратковременной нагрузке порода может выдержать значительно большие напряжения, чем при длительной.

Сопротивление пород одноосному сжатию и растяжению приближенно описывается зависимостью

$$\tau = \sigma_{дл} + (\sigma_{мгн} - \sigma_{дл}) e^{-\frac{t}{a}},$$

где τ — время от момента приложения нагрузки до момента разрушения породы под этой нагрузкой; $\sigma_{мгн}$ — минимальное напряжение, вызывающее мгновенное разрушение; $\sigma_{дл}$ — максимальное напряжение, при котором порода не разрушается неопределенно долго; a — время релаксации, характеризующее вязкие свойства породы. Значения $\sigma_{мгн}$, $\sigma_{дл}$, a определяются экспериментально.

Сопротивление породы чистому сдвигу приближенно равно

$$\frac{b}{p} = \ln \frac{\tau}{B},$$

где τ — время от начала приложения сдвигающего усилия до момента разрушения породы; b , B — параметры, определяемые опытным путем. Сначала измеряют время разрушения породы при действии двух нагрузок p_1 , p_2 , затем находят значения b и B из системы уравнений

$$\frac{b}{p_1} = \ln \frac{\tau_1}{B}; \quad \frac{b}{p_2} = \ln \frac{\tau_2}{B},$$

подставляя полученные величины в предыдущее уравнение и находят окончательно длительное сопротивление породы сдвигу $\tau_{дл}$, принимая условно τ равное 50 годам.

В общем случае сопротивление мерзлых пород сдвигу определяется законом Кулона:

$$\tau = c + p \operatorname{tg} \varphi,$$

где c — сцепление; p — нагрузка, приложенная нормально к плоскости сдвига; φ — угол внутреннего трения породы.

Величины c и φ для данной породы постоянны только при неизменной температуре и определенном времени действия нагрузки. Часто принимают $\varphi = 0$. Это допущение компенсируется введением условного эквивалентного сцепления

$$\tau = c_{эkv},$$

где $c_{эkv}$ — может быть определено экспериментально способом шариковой пробы. Измеряя глубину h погружения шарика диаметром D в породу под

нагрузкой p , вычисляют $c_{эКВ}$, соответствующее различным моментам времени, по формуле

$$c_{эКВ} = 0,18 \frac{p}{\pi D h}.$$

Длительное эквивалентное сцепление определяют как $c_{эКВ. дл} = 0,75 c_{эКВ. в}$, где $c_{эКВ. в}$ — сцепление, соответствующее погружению шарика через 8 ч после приложения нагрузки.

Прочность мерзлых пород в значительной степени зависит от их гранулометрического состава. При прочих равных условиях с увеличением дисперсности мгновенная прочность мерзлых пород понижается. У глин она в несколько раз меньше, чем у песков, что объясняется большим количеством незамерзшей воды в глинах по сравнению с песком.

Наибольшее влияние на прочность мерзлых пород оказывает температура, с понижением которой прочность возрастает. Особенно сильно это влияние проявляется в диапазоне интенсивных фазовых переходов. Поэтому при испытаниях мерзлых пород необходимо точно выдерживать заданный температурный режим.

VI. ПОЛЕВЫЕ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И СЪЕМКА

Полевые геокриологические наблюдения и геокриологическая съемка производятся для выявления местных, региональных и зональных закономерностей распространения, состава, строения, свойств (в том числе льдистости, влажности, залежей подземного льда и температуры) толщ мерзлых пород, слоев сезонного промерзания и протаивания, их генезиса и происхождения, а также геокриологических процессов и явлений: пучения, растрескивания, термокарста, солифлюкции, наледей и т. д.

Одним из основных видов полевых геокриологических работ является геокриологическая съемка (табл. 98). Она производится комплексом методов и выполняется в зависимости от цели в различных масштабах — от 1 : 200 000 до 1 : 25 000 (1 : 10 000). Важнейшие виды работ (и выбор ключевых участков) необходимо сосредоточить на площадках, характеризующихся главным образом представительными литолого-петрографическими разрезами и их положением в рельефе. При этом следует учитывать зонально-поясные условия тепло- и водообмена ТМП и таликов с атмосферой, водоемами и подстилающими горизонтами. В приморских районах наибольшие сплошность и мощность ТМП и их минимальная температура в ЯГТ свойственны вершинам возвышенностей и наветренным (зимой) склонам. Наименьшие показатели распространения ТМП и максимальная температура в ЯГТ находятся в днищах долин рек и ложбин временных водотоков, а также на подветренных (зимой) склонах. В континентальных районах геокриологические показатели относительно форм рельефа прямо противоположны. Асимметрия их на склонах различной ориентировки в континентальных районах определяется положением относительно солнца.

Литолого-петрографические факторы в сочетании с рассмотренными особенностями проявляются весьма определенно. Наибольшее распространение ТМП, их повышенная льдистость и низкие температуры в ЯГТ присущи торфяникам. Все менее глубокое промерзание, пониженная льдистость и формирование более высокой температуры, при других равных факторах (положения в рельефе и зональные условия) наблюдается в водоупорных глинистых отложениях и в меньшей степени в пылеватых песках, а затем фильтрующих песках и более грубообломочных образованиях, в том числе и в трещиноватых породах коренной основы.

Следует изучать не только мерзлые и талые породы, но и промерзающие и особенно протаивающие их разновидности, поскольку при проявлении только этих криогенных процессов идут интенсивные деформации массивов горных пород.

В зависимости от конкретных целей исследований и масштаба съемки в состав последней входят также специальные стационарные наблюдения за режимом некоторых криогенных процессов (в СТС, СМС и слое с годовыми теплооборотами;

Содержание полевых геокриологических исследований

Объект определения	Показатели
Распространение толщ мерзлых пород	Прерывность мерзлых пород по площади и глубине Глубина залегания нижней и верхней поверхностей мерзлой толщи, ее мощность Талики, их размеры и тип
Сезонномерзлый и сезонноталый слой	Толщина слоев Изменение толщины в течение года и ряда лет Взаимосвязь с толщами мерзлых пород
Криогенные текстуры и залежи подземного льда	Льдистость и влажность пород Тип и элементы текстуры (монолитная, сетчатая и слоистая) Залежи подземного льда, их морфометрия, частота встречаемости и строение
Температура	Температурная характеристика, особенно в ярусе с годовыми теплооборотами Распространение толщ мерзлых пород в связи с их температурой
Криогенные результаты	Категория процессов, скорость и время их образования Явления — формы рельефа и деформации слоев, их размеры и строение
Геологические и географические условия промерзания и протаивания пород	Состав, строение и свойства пород Орогидрография территории Тепловой баланс деятельного слоя, режим погод и др.
Признаки истории формирования современных геокриологических обстановок	Реликтовые особенности современных толщ мерзлых пород, их сезонноталых и сезоннопромерзающих слоев, а также сопутствующих им явлений Показатели физико-географических условий промерзания и протаивания горных пород в прошлые эпохи

криогенной деформацией земной поверхности; формированием снежного и ледяного покровов и др.), а также некоторые опытные полевые работы по определению влияния ряда факторов — снежного и растительного покровов воздействия насыпей и т. п.

На основе собранного материала составляют следующие карты: 1) распространения сезонных и многолетнемерзлых пород с указанием мощности ТМП, условий их залегания, прерывности, состава, температуры пород, залежей подземного льда, типов криогенных текстур; 2) современных физико-геологических (в том числе и криогенных) явлений и распространения подземных вод и 3) инженерно-геокриологического районирования с прогнозом техногенных геокриологических явлений при освоении территории.

Для получения инженерно-геокриологических сведений о местности и горных породах применяют известные методы, которые в районах с мерзлыми породами используются с учетом геокриологических обстановок.

Геоморфологические методы, помимо изучения обычных форм макро-, мезо- и микрорельефа, позволяют установить также формы, возникшие только в процессе промерзания и протаивания (бугры пучения, полигональные формы рельефа, термокарст, солифлюкция, пятна-медальоны и др.

Геоботанические методы помогают установить целый ряд криогенных явлений, формирующихся в породах: льдонасыщенность, наличие таликов, типы СТС, СМС и др.

Геологоразведочные методы наиболее целесообразно применять в период с отрицательными температурами воздуха, т. е. до начала формирования СТС. При этих условиях обеспечивается достаточно продолжительная возможность изучать породы в их ненарушенном состоянии и без применения дорогостоящих крепежных и гидроизоляционных работ. Проходить горные выработки в мерзлых породах наиболее целесообразно шпуро-взрывным способом, позволяющим получать для лабораторных исследований монолиты любых размеров.

При проходке шурфов и скважин в летнее время необходимо предотвращать интенсивное протаивание СТС в месте проходки выработки путем отвода поверхностных и надмерзлотных вод, крепления устья шурфа и обсадки трубами устья скважины на глубину, превышающую СТС.

Во избежание образования термокарстовых очагов после окончания наблюдений шурфы необходимо тщательно засыпать и проводить послыйную трамбовку и термоизоляцию с поверхности, сходную с природной.

Бурение скважин для целей геокриологической съемки, как правило, производят на глубину 5—25 м, обычно соответствующую подошве слоя с годовыми теплооборотами. Скважины диаметром 75—100 мм целесообразно проходить вращательным бурением «всухую». При механическом бурении скважин в мерзлых породах необходимо соблюдать следующие условия: 1) температуру промывочной жидкости поддерживать ниже температуры проходимых мерзлых пород; 2) при авариях и вынужденных остановках не допускать замерзания промывочной жидкости; 3) защищать устье скважины от размыва промывочной жидкостью.

При бурении в мерзлых породах хорошие результаты дает продувка сжатым и охлажденным воздухом. Термическое состояние пород почти не нарушается.

Аэрометоды позволяют выделить на исследуемой территории характерные ландшафты и ключевые участки с использованием физико-географической аксиомы. Хорошо поддаются дешифрированию многие важные геокриологические явления (полигональные формы рельефа, термокарст, бугры пучения, наледные поля, снежные, пятна-медальоны, каменные кольца и многоугольники, солифлюкционные образования и др.).

Геофизические методы изучения мерзлых пород основаны на резких различиях их физических свойств.

Мерзлые дисперсные породы, содержащие подземный лед и незамерзшую воду, обладают повышенным удельным электросопротивлением, резко отличными диэлектрическими постоянными, иной скоростью прохождения продольных волн и др.

Геофизические методы наблюдения мерзлых толщ позволяют устанавливать их верхнюю и нижнюю поверхности, мощность, прерывистость, наличие таликов, залежи подземных льдов и другие криогенные особенности.

При геокриологических работах из геофизических методов более широко используют методы термометрии и электротермометрии: вертикальное электророндирование (ВЭЗ), электропрофилирование (ЭП) и электротермокартаж. Электротермометрические методы особенно успешно применяются при разведке и картировании залежей подземных льдов таликов и др.

Гидрогеологические наблюдения выполняют для установления характера связи и взаимодействия между ТМП и подземными водами, для выявления условий тепло- и водообмена.

При проведении гидрогеологических наблюдений проводятся наблюдения за режимом СТС, СМС и снежного покрова, определяются мощность мерзлых толщ и их прерывистость в разрезе и по площади, температура пород и подземных вод, виды таликов и их генезис, характер полынней, наледей, бугров, пучения, свойства подземных льдов, интенсивность термокарста и пр.

Температурные наблюдения занимают важное место во всех геокриологических исследованиях. Изучение температурного поля мерзлых пород и его динамики совершенно необходимо при решении вопросов происхождения, формирования и дальнейшего развития толщ этих пород. Кроме того, от температуры мерзлых пород в большой степени зависят их прочностные и другие свойства, особенно в интервалах температур, близких к нулю минус 0,2—1°.

Изучение мерзлых пород, их температуры и сопутствующих им криогенных явлений связано с фактором времени, а поэтому все исследование должно опираться на материалы, полученные в результате длительных стационарных наблюдений, проведенных в натуре. Полученные материалы позволят с наибольшей вероятностью судить о развитии мерзлых толщ и изменениях свойств пород во времени. Они могут служить надежной эмпирической основой при составлении инженерно-геокриологических прогнозов для освоения новых площадей.

Для температурных наблюдений по возможности используют все сухие скважины, пройденные при геокриологической съемке, но при обязательном условии, чтобы каждая из скважин успела «выстояться», т. е. принять истинную температуру пород, нарушенную при бурении. Сроки «выстойки» скважин зависят от многих причин и составляют от нескольких суток до нескольких лет.

В зависимости от задач исследований задают специальные температурные скважины определенной глубины на характерных участках (по физико-географической аксиоме), а также вблизи существующих сооружений и зданий, дорог, насыпей, плотин и т. д. Целями исследований определяются и сроки наблюдений.

Наибольшую ценность для температурных наблюдений представляют скважины, не вскрывшие водоносных горизонтов и пройденные без промывки.

При длительных стационарных наблюдениях скважины специально и надежно оборудуют: обсаживают трубами на глубину не менее двойной-тройной мощности СТС; выступающую над землей часть трубы тщательно изолируют и закрывают деревянной пробкой, затрубное пространство плотно забивают глиной. Температуру в скважинах измеряют зеленивленными термометрами с ценой деления 0,2°, термопарами, электротермометрами сопротивления и полупроводниковыми термисторами.

Выдержка термометров в скважинах считается достаточной в том случае, если разность между последовательными отсчетами близка к нулю. Время, прошедшее после опускания термометра в скважину и до начала измерения температуры, должно в 5 раз превышать время тепловой инерции термометра. Скорость подъема термометра назначают исходя из его тепловой инерции.

Представленные пробы, как и при опробовании любых полезных ископаемых, отбирают различными способами: точечным, монокитным, бороздковым, задириковым и валовым. Помимо числовых и качественных показателей физических и механических свойств дисперсных пород, которые определяются при обычных инженерно-геологических исследованиях, для мерзлых пород необходимо определять суммарную влажность, льдистость и объемную массу монолита в целом. Остальные характеристики, зная температуру пород, можно получить путем расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *II международная конференция по мерзлотоведению.* Якутск, 1973, вып. 1. — 103 с., вып. 3—102 с., вып. 6. — 110 с., вып. 8. — 296 с.
2. *Иванов Н. С.* Теплообмен в криолитозоне. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. 198 с.
3. *Инструкция по изучению инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых при их разведке/Г. Г. Скворцов, Н. Г. Бобов, А. К. Кориковская.* — М.: Недра, 1975. — 51 с.
4. *Лукьянов В. С., Головкин М. Д.* Расчет глубины промерзания грунтов. — М.: Трансжелдориздат, 1957. — 164 с.
5. *Мазуров Г. П.* Физико-механические свойства мерзлых грунтов. — Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1975. — 216 с.
6. *Методика комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштабов 1:200 000 и 1:500 000.* Изд-во МГУ, 1970. — 354 с.
7. *Методические рекомендации по прогнозированию изменений инженерно-геокриологических условий эксплуатации месторождений полезных ископаемых на Крайнем Севере при их разведке/Н. Г. Бобов, Р. Г. Петрова, П. Ф. Швецов, Ротапринт, ВСЕГИНГЕО, 1976.* — 74 с.
8. *Методические рекомендации по инженерно-геокриологической съемке (север Западной Сибири)/М. И. Горальчук, Л. Н. Крицук, Е. С. Мельников, Н. Г. Москаленко, В. Л. Невечеря, В. Б. Пугач, Л. Н. Тагунова, В. И. Тимофеев.* — М.: ВСЕГИНГЕО 1977. — 104 с.
9. *Методическое руководство по инженерно-геокриологическим и гидрогеологическим работам при разведке рудных месторождений на Крайнем Севере/П. Ф. Швецов, Н. Г. Бобов, Л. Н. Крицук, А. В. Павлов, Р. Г. Петрова, С. Г. Цветкова, А. А. Шарбатян.* — М.: Недра, 1972. — 207 с.
10. *Общие мерзлотоведение.* Под ред. П. И. Мельникова, Н. И. Толстихина. — Новосибирск: Наука, Сибирское отд. 1974. — 291 с.
11. *Общие мерзлотоведение (геокриология)/В. А. Кудрявцев, Б. Н. Достовалов, В. Г. Меламед.* — Изд-во МГУ. 1978. — 463 с.
12. *Основы геокриологии мерзлотоведения.* Под ред. П. Ф. Швецова, Б. Н. Достовалова (ч. 1), Н. И. Салтыкова (ч. 2). — М.: Изд-во АН СССР, 1959. — 366 с., 459 с.
13. *Основы мерзлотно-геологического прогноза при инженерно-геологических исследованиях/В. А. Кудрявцев, Л. С. Гарагуля, К. А. Кондратьева, В. Г. Меламед.* — Изд-во МГУ. 1974. — 431 с.
14. *Основы методики инженерно-геокриологических прогнозов при разведке месторождений твердых полезных ископаемых/П. Ф. Швецов, Н. Г. Бобов, Г. В. Порхаев, В. К. Щелоков.* — М.: Недра, 1973. — 155 с.
15. *Павлов А. В.* Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР. — Якутск: Якутское книжное изд-во, 1975. — 302 с.
16. *Полевые геокриологические (мерзлотные) исследования.* М.: Изд-во АН СССР, 1961. — 423 с.
17. *Порхаев Г. В.* Тепловое взаимодействие зданий и сооружений с вечномерзлыми грунтами. — М.: Наука, 1970. — 208 с.
18. *Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах.* — Л.: Стройиздат, Ленинградское отд. 1977. — 522 с.
19. *М. И. Сумгин, С. П. Качурин, Н. И. Толстухин.* Общее мерзлотоведение — М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1940. — 340 с.
20. *Цытович Н. А.* Механика мерзлых грунтов. — М.: Высшая школа, 1973. — 446 с.

Глава одиннадцатая

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

I. УСТАНОВКИ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ПОРОД

Автоматизированная установка НИИОСП с упорами в стенки шурфа (применяется для испытаний песчано-глинистых пород в шурфах глубиной до 1,8—2,0 м).

Максимальное вертикальное давление, создаваемое с помощью вертикального гидродомкрата, равно 0,35 МПа. Сдвиг поворотного кольца штампа осуществляется гидродомкратами. Общая масса установки 800 кг.

Автоматизированная установка НИИОСП с упорами из винтовых анкерных свай (рис. 67). Позволяет проводить испытания как в шурфах, так и на поверхности земли.

Винтовые анкерные сваи представляют собой толстостенные трубы диаметром 74 или 114 мм, длиной 4,2 м. Вертикальное давление, 0,35 МПа, масса установки 900 кг.

Комбинированные штампы НИИОСП позволяют наряду со сжатием определить сопротивление грунта сдвигу.

Комбинированный штамп площадью 5000 см² (внешний диаметр 799 мм) состоит из корпуса, поворотного кольца и сдвигающего устройства. Размеры поворотного кольца следующие: внутренний диаметр — 460 мм, внешний диаметр — 650 мм, толщина — 20 мм. Нижняя поверхность поворотного кольца — рифленая или гладкая с выступающими лопатками в количестве от 4 до 2. Глубина погружения лопаток в грунт 25 мм.

Комбинированные универсальные штампы со сплошной рифленой поверхностью имеют различную площадь: 1250, 2500 и 5000 см². По всей нижней поверхности штампа расположены «зубы» длиной от 5 до 5 мм с углом заострения 30°.

Штампы рассчитаны на вертикальные нагрузки 0,48 и 0,2 МПа.

Установка Уральского политехнического института (УПИ) для испытания пород пробными нагрузками. Основные узлы установки представлены на рис. 68. Давление на прямоугольный или круглый штамп площадью 5 тыс. см² создается домкратом. Время загрузки и смену нагрузок можно автоматизировать по определенной программе.

Установка Харьковского инженерно-строительного института (ХИСИ) с упорами из винтовых анкерных свай предназначена для испытаний пород пробными нагрузками с поверхности земли и в шурфах глубиной до 5 м.

Давление в системе создается ручным насосом и через стабилизатор давлений передается на плунжер домкрата. Осадка штампа определяется прогибомерами, прикрепленными к углам реперной обноски.

Стабилизатор рассчитан на поддержание постоянного давления в течение 12 ч. Автоматизированные установки Института строительства и архитектуры АН БССР разработаны в двух вариантах.

Установка для испытания пород с применением плоского штампа состоит из квадратного штампа площадью 5000 см² (70,7×70,7 мм) и толщиной 13 мм (с ребрами жесткости), домкрата грузоподъемностью в 50 или 100 т; автоматического устройства и упоров в стенки шурфа, которые можно

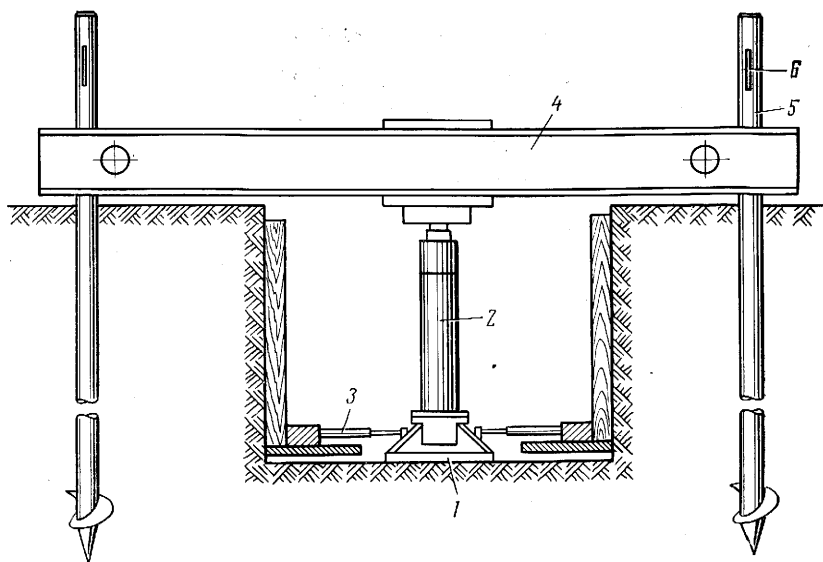


Рис. 67. Автоматизированная установка НИОСП:

1 — комбинированный поворотный штамп; 2 — вертикальный гидродомкрат; 3 — горизонтальный гидродомкрат; 4 — продольная упорная балка; 5 — винтовые анкерные сваи; 6 — отверстие для лома

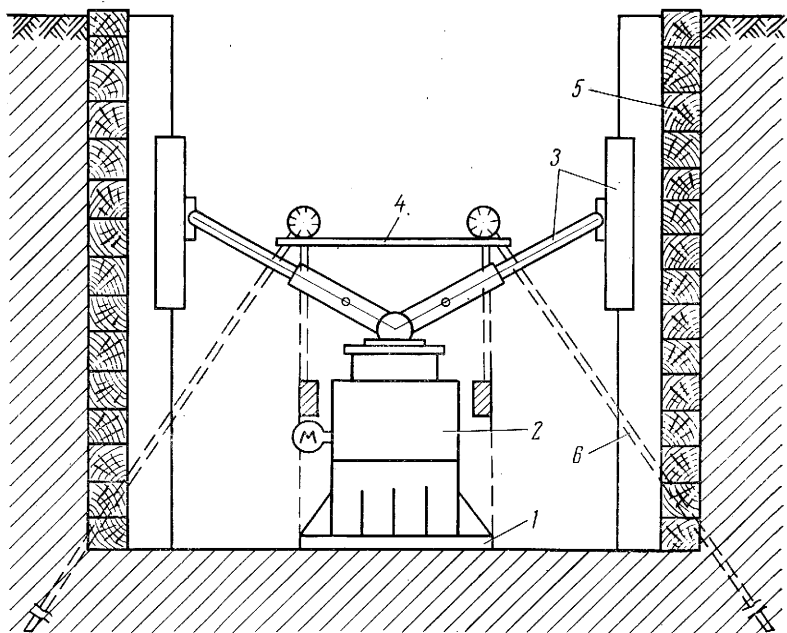


Рис. 68. Установка УПИ:

1 — штамп; 2 — гидродомкрат; 3 — подкостная система; 4 — индикаторная установка; 5 — сруб из брусьев; 6 — анкерные сваи индикаторной установки

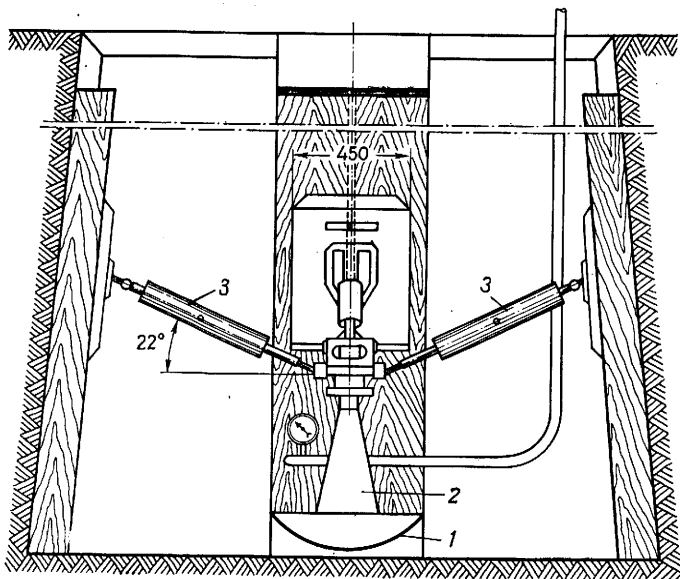


Рис. 69. Установка со сферическим штампом:

1 — опорная часть, сферический штамп; 2 — гидродомкрат; 3 — упоры в стенки шурфа

заменить упорами из винтовых анкерных свай. Осадку штампа определяют прогибомерами или нивелировкой. Точность измерения осадки 0,1 мм.

Установка для испытания пород с применением сферического штампа (рис. 69) аналогична вышеописанной. Штамп сферический, диаметром 50 см. Домкрат гидравлический, грузоподъемностью 5 т.

В связи с тем, что нагрузка на сферический штамп в 7—9 раз меньше, чем на плоский, опорная часть установки менее массивна. Сферический штамп применяется для испытаний глинистых пород и торфяников.

Автоматическое устройство, применяемое в установках, состоит из гидравлического насоса, механического редуктора, электромотора и блока управления и сигнализации. Гидравлический насос создает давление 2—3·10⁶ МПа. Механический редуктор с передаточным числом 98 на выходе дает 30 об/мин. Электромотор реверсивный, серийный, типа МУ-320 мощностью 100 Вт с числом оборотов 3000 об/мин; питание от аккумулятора напряжением 12—24 В.

Установки для испытания пород в скважинах. Автоматизированная установка института строительства и архитектуры АН БССР применяется для испытаний грунта пробными нагрузками в скважинах глубиной более 1 м. Штамп может быть как круглым, плоским площадью 600 см², так и сферическим диаметром 20 см. Упорная стойка монтируется из металлических труб длиной по 1 м и диаметром 10 см.

Штамп конструкции Гипростройдормаша (Ростовна-Дону) для испытаний водоносных и маловлажных грунтов снабжен приспособлением для зачистки забоя непосредственно перед испытанием. Самозачиститель состоит из ножей, которые могут закрываться и открываться, поворачиваясь вокруг оси с помощью штанг с ключом. Площадь штампа составляет 600 см².

Прессиометры и крыльчатые зонды. Техническая характеристика прессиометров приведена в табл. 99.

Прессиометр ИГП-21 конструкции СКБ ВСЕГИНГЕО Министерства геологии СССР. Прибор применяется для определения модуля

Техническая характеристика некоторых конструкций пресснометров
(по С. Л. Корневой и Г. К. Бондарьку)

Тип и конструкция пресснометра	Максимальное давление на породе, МПа	Точность измерения давления от верхнего предела измерений, %	Точность измерения деформаций, мм	Максимальная глубина проведения испытания, м	Диаметр скважины, мм	Опробуемый интервал глубины скважины, мм	Масса прибора, кг	Область применения прибора
Трехкамерные								
Пресснометры Л. Менара	2,0—50,0	1—4	0,0001	50	32—115	450—600	До 100	Рыхлые и скальные породы в зависимости от конструкции
Пресснометр ГПИ Фундаментпроекта ПС-1	0,8	±4	±1	15	110	500	До 100	Песчано-глинистые породы
Пресснометр Уральского политехнического института П-89	0,5	±4		5	90—110	400	20	То же
Однокамерные								
Пресснометр ИГПИ-21 конструкции СКБ ВСЕГИНГЕО	2,4	±4	±3	25	108—112	500	85	Песчано-глинистые и обломочные (до 30% крупных включений) породы)

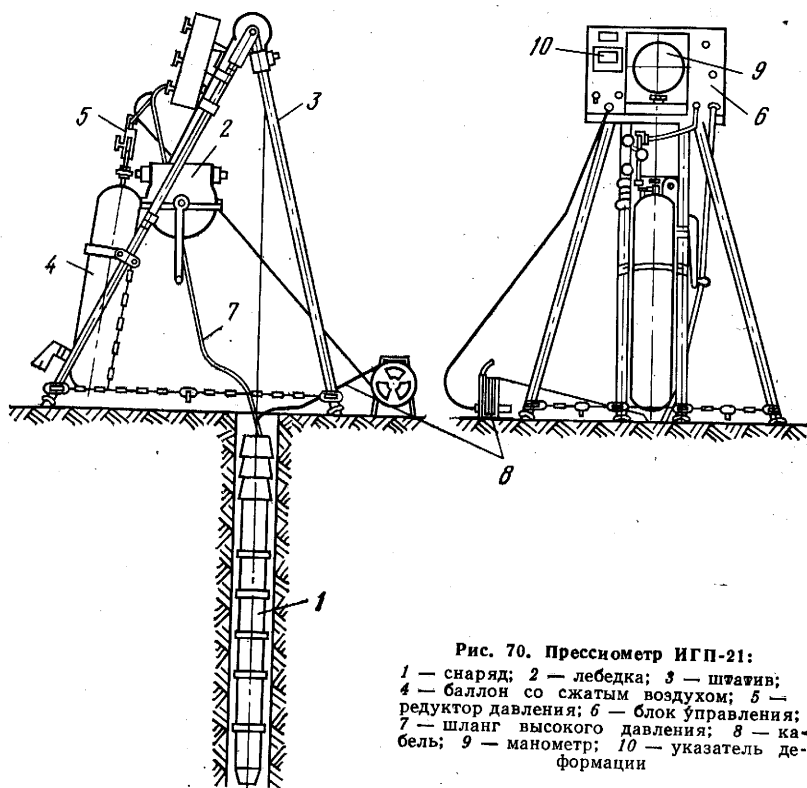


Рис. 70. Прессиометр ИГП-21:

1 — снаряд; 2 — лебедка; 3 — штабиль;
 4 — баллон со сжатым воздухом; 5 —
 редуктор давления; 6 — блок управления;
 7 — шланг высокого давления; 8 — ка-
 бель; 9 — манометр; 10 — указатель де-
 формации

деформации и параметров прочности песчано-глинистых и глинисто-щебенистых пород (при содержании включений до 30%). Схема прибора представлена на рис. 70.

Техническая характеристика

Диаметр скважины, мм	108—112
Максимальная глубина испытаний, м	25
Максимальное давление на породу, МПа	0,2
Измеряемая деформация породы в стенках скважины по диаметру, мм	
при давлении до 0,6 МПа	100—220
до 1,5 МПа	100—180
до 2,4 МПа	100—140
Основная погрешность показаний прибора, %	±4
Размах температуры, при которой возможно применение прибора, °С	-10+40
Масса прибора, кг	85

Прибор выпускается серийно заводом Геологоразведочной аппаратуры и средств автоматизации Министерства геологии СССР.

Прессиометр НИИОСП, разработанный Ю. В. Перковым и Е. С. Пригожиным, предназначен для испытаний (определение упругих свойств) скальных пород. Деформации стенок камеры измеряются с помощью шупов, соединенных с тензометрическим блоком.

Прессиометр Уральского политехнического института (УПИ) П-89 отличается от рассмотренных тем, что давление в нем создают с помощью ручного насоса. Техническая характеристика прессиометра приведена в табл. 99.

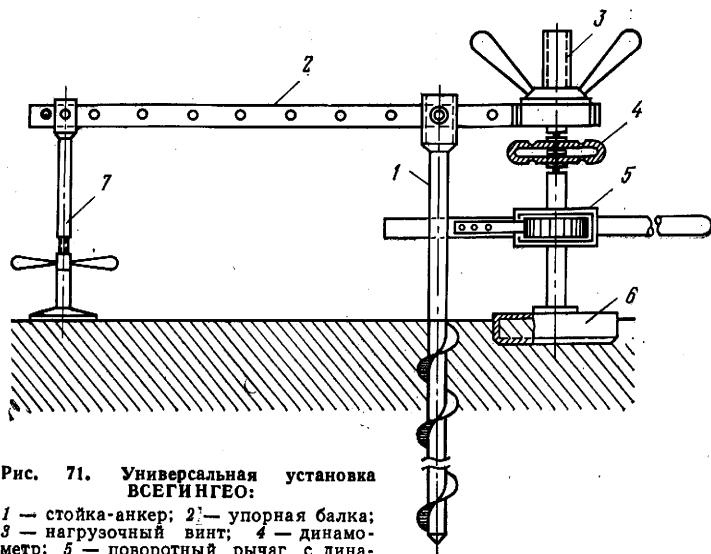


Рис. 71. Универсальная установка ВСЕГИНГЕО:

1 — стойка-анкер; 2 — упорная балка; 3 — нагрузочный винт; 4 — динамометр; 5 — поворотный рычаг с динамометром; 6 — поворотное кольцо, крыльчатка или режущее кольцо; 7 — ауриггер

Прессиометр Фундаментпроекта ПС-1 применяют для определения сопротивления сдвигу и модуля деформации песчано-глинистых пород в буровых скважинах. При производстве испытаний всю систему заполняют водой. Давление в приборе создается с помощью баллона со сжатой углекислотой. Технические данные о приборе содержит табл. 99.

Крыльчатые зонды и искиметры. Лопастная установка УИГС ЦНИИС для испытания глинистых пород.

Техническая характеристика

Максимальная глубина испытаний, м	25
Максимальная величина удельного сопротивления сдвигу, МПа	0,15
Точность измерений:	
угла поворота, градус	0,1
крутящего момента, Н·м	0,3—1,6
удельного сопротивления грунта сдвигу, МПа	$5 \cdot 10^{-4}$ — $30 \cdot 10^{-4}$
Диаметр штанг, мм	33,5—34
Пружины динамометра рассчитаны на измерение усилий, Н	100; 200; 400; 600

Универсальная установка ВСЕГИНГЕО (рис. 71). Установка предназначена для определения параметров прочности песчано-глинистых и глинисто-щебенистых пород на поверхности и в шурфах методами кругового среза пород по круглоцилиндрической поверхности, а также для вырезания из массива крупных образцов цилиндрической формы в кольцо-обойму.

Техническая характеристика

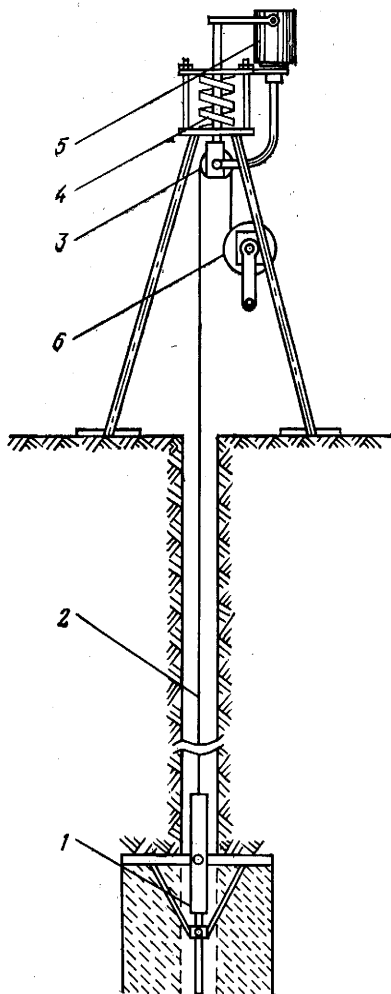
Предельное осевое усилие, кН	9,8
Предельный момент, МПа	800
Высота в рабочем положении, см	60
Длина рычага, см	85
Длина упорной балки, см	80
Диаметры (числитель) и высота (знаменатель) поворотных колец, см	$\frac{7}{3,5}$ $\frac{14}{5}$ $\frac{20}{5}$
То же крыльчатых наконечников, см	$\frac{7}{35}$ $\frac{14}{7}$ $\frac{20}{10}$
Масса установки, кг	25

Рис. 72. Скважинный искиметр ВСЕГИНГЕО:
 1 — нож; 2 — трос; 3 — ролик динамометра
 с гибким валиком; 4 — динамометр; 5 — само-
 писец; 6 — лебедка

Скважинный искиметр ВСЕГИНГЕО (рис. 72). Прибор предназначен для испытания песчано-глинистых пород в скважинах на глубину до 30 м. В процессе испытаний получают график «усилие резания—глубина» в прямоугольных координатах.

Техническая характеристика

Минимальный диаметр скважины, мм	68
Максимальное удельное сопротивление резанию, МПа	5,0
Площадь резания ножа, см ²	5,22
Масштабы записи самописца:	
усилия резания	1 мм—9,8 Н
глубины	1 : 20
Габариты прибора, м	0,5×0,6×2,1
Глубина опробования, м	30
Масса прибора, кг	60
Скорость опробования пород в скважине, м/мин	1,0—2,5



Установки для обрушения, выпирания и сдвига целиков. Полевая сдвиговая установка УПИ.

Основными узлами конструкции (рис. 73) являются: кольцо, диаметром 0,5 см и высотой 0,25 м, охватывающее целик породы, штамп, вертикальный и горизонтальный винтовые домкраты и упорные плиты. При вертикальных давлениях в интервале от 0,05 до 0,1 МПа сдвигающее усилие достигает 7840—15 680 Н.

Установка Всесоюзного научно-исследовательского Маркшейдерского института (ВНИМИ) для испытания пород на сдвиг в полевых условиях. Особенностью схемы испытаний, изображенной на рис. 74, является то, что нормальные и касательные напряжения создаются одним усилием, направленным под углом к плоскости скольжения. Испытания ведут, сдвигая породу по плоскости ослабления или под углом к плоскости ослабления.

Размеры призмы 0,5×0,5×0,7 м, но может быть и больше. Площадь среза в зависимости от способа испытаний равна 2300, 2850, 4000 и 10 000 см².

Сдвигающее усилие создается гидродомкратом или гидравлической подушкой. Масса домкрата 35 кг, рабочий ход поршня 120 мм, грузоподъемность — около 70 т.

Стендовая установка ДИИТ—ВСЕГИНГЕО* для определения прочностных параметров пород на образцах большого размера.

* Конструкция ДИИТ в модернизации ВСЕГИНГЕО.

Техническая характеристика

Высота образца, см	До 13
Диаметр образца, см	21
Площадь образца в плоскости сдвига, см ²	330
Вертикальная нагрузка, МПа	До 2,5
Сдвигающее усилие, МПа	До 2,5
Деформация сдвига, см	До 7
Габариты прибора, см:	
длина	80
высота	45
ширина	22
Общая масса прибора, кг	600

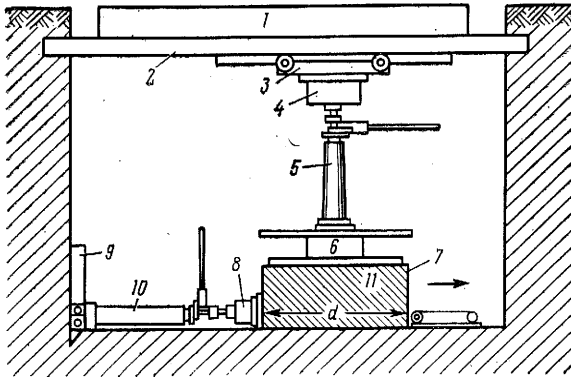


Рис. 73. Схема установки УПИ для испытания грунтов методом сдвига в горизонтальной плоскости:

1 — груз; 2 — горизонтальная упорная плита; 3 — тележка; 4, 8 — динамометры; 5, 10 — винтовые домкраты; 6 — штамп; 7 — кольцо; 9 — вертикальная упорная плита; 11 — целик грунта

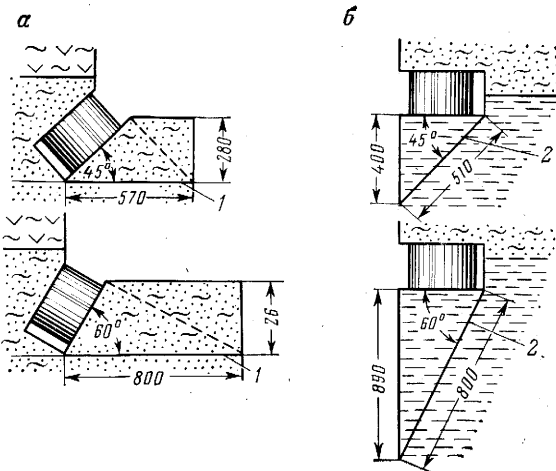


Рис. 74. Схема полевых испытаний на сдвиг по методу ВНИИ:

а — по контакту пород; б — вкост слоистости и в отвалах. 1 — контакт; 2 — плоскость среза

Установки динамического и статического зондирования, пенетрационно-каротажные станции. Технические параметры установок динамического зондирования помещены в табл. 100.

Установка Гидропроект УБП-15М смонтирована на прицепе. Она состоит из складной мачты, механизма для ее подъема, бензинового двигателя Л-6 и лебедки для подъема молота с приводом. Установка выпускается экспериментальным ремонтно-механическим заводом Гидропроект.

Динамический пенетрометр Центрального научно-исследовательского института транспортного строительства (ЦНИИСа) предназначен для пенетрации с забоя проходимых скважин. Конструкция предусматривает также возможность зондирования водонасыщенных песков без ослабления удара молота за счет герметизации ударного узла. Для облегчения снаряда буровые штанги заменены легкими дюралевыми трубами.

В установке для исследования грунтов водоемов ЦНИИСа предусмотрено размещение ударного устройства недалеко от дна. Конический наконечник приспособлен для подъема на поверхность образцов грунта.

Установки статического зондирования. Основные технические параметры установок приведены в табл. 101.

Зондировочная установка БашНИИСтроя С-832 смонтирована на автомашине ГАЗ-63. Зонд-наконечник снабжен тензометрическими датчиками. Задавливание и извлечение зонда, завинчивание анкерных свай, а также перевод установки из транспортного положения в рабочее — и обратно производится с помощью гидравлических механизмов с пульта управления. Выпускается опытными партиями Московским заводом строительных машин.

Установка конструкции ЦНИИСа, разборная, масса отдельных узлов не превышает 50 кг. Общее сопротивление пенетрации и статическое сопротивление породы вдавливанию конуса измеряют отдельно. Выпускаются опытные образцы экспериментальными мастерскими ЦНИИСа.

Установка Фундамент проекта С-979. Зондирование производится путем одновременного вдавливания в породу конуса на штанге и наружной трубы. Диаметр штанг 18 мм, диаметры трубы (внутренний — 20 мм, внешний — 36 мм), скорость вдавливания зонда 0,5 м/мин.

Пенетрационно-каротажные станции предназначены для изучения разреза песчано-глинистых пород методами пенетрации и ядерных каротажей. Они позволяют изучать в процессе испытаний пород непрерывные диаграммы изменения с глубиной естественной радиоактивности, объемной массы, естественной влажности (гамма-, гамма-гамма, нейтрон-нейтронный каротаж), статического сопротивления пенетрации трения по боковой поверхности. Установки выпускаются серийно.

Техническая характеристика СПК

База установок	ЗИЛ-131 и ГАЗ-66
Глубина зондирования, м	25
Максимальное осевое усилие, кН	1078
Диаметр зонда, мм	62
Диаметр штанг, мм	50
Длина звена штанг, м	6,5
Производительность, м/смену	50

Станция СПК-Т, в отличие от СПК, размещена на одной автомашине и оснащена одним комбинированным зондом (вместо двух на СПК). Глубина завинчивания анкеров увеличена до 4 м.

Техническая характеристика СПК-Т

База установок	ЗИЛ-131
Глубина зондирования, м	30
Максимальное осевое усилие, кН	186,2
Диаметр зонда, мм	80
Диаметр штанг, мм	63
Длина звена штанг, м	6,0
Производительность, м/смену	До 70

**Технические параметры отечественных установок
динамического зондирования**

Тип и конструкция	Параметры зонда				Масса молота, кг	Высота падения, см	Предельная глубина пенетрации, м	Привод	Примечание
	Диаметр конуса, мм	Угол раскрытия	Диаметр штанг, мм	Длина звена штанг, м					
УБП-15	74	60	42	1,4	60	80	15	Двигатель Л-6	Предназначен для пенетрации с забоя скважин
Ручной динамический зонд ЦНИИС	35,6	60	22	1,0	10	50	Данные отсутствуют	—	
УБП-15М Ручной динамический зонд ВСЕГИНГЕО	35,6	60	22	1,0	20	50	До 10		
Ручной зонд ЦНИИС для исследования дна водоемов	35,6	30	27	—	10	100	2 от дна		
Навесной автоматический пенетрометр НАП-10	74	60	42		60	80—120	До 10		

Основные параметры отечественных установок
статического зондирования

Параметры	Единицы измерения	С-979	УСЗК-3	Установка ЦНИИСа	УЗУ-1	С-832
Тип		Перевозимая	Перевозимая	Стационарная	Самоходная на базе автомобиля ГАЗ-69	Самоходная на базе автомобиля ГАЗ-63
Предельная глубина зондирования	м	15	15	20	До 10	15
Максимальное усилие вдавливания зонда	кН	98	98	98	31,2	98
Скорость вдавливания зонда	м/мин	0,25—0,50	0,5	—	1,0	0,01—3,0
Максимальная скорость извлечения зонда	»	2,0	—	—	—	3
Диаметр основания конуса наконечника	мм	35,6	35,6	35,6	35,6	35,6
Привод установки	—	Бензиновый двигатель	Бензиновый двигатель Д-300	Бензиновый двигатель 2СД	От двигателя автомобиля	От двигателя автомобиля
Метод завинчивания анкерных свай		Вручную	Вручную	Механический	Механический	Механический
Общая масса установки	кг	760	—	400	1900	2600 (без автомобиля)

Краткая характеристика полевых приборов для измерения порового давления

Название и конструкция прибора	Материал фильтра	Тип датчика	Точность измерения порового давления, МПа	Расход воды, см ³ давление, МПа	Примечание
Прибор с дистанционным манометром Днепропетровского ин-та инженеров транспорта (ДИИТ)	Пористый камень	Дистанционный манометр с сильфоном	0,01	—	Замеряется только положительное поровое давление
Прибор конструкции ДИИТ с индуктивным датчиком	Пористый камень	Индуктивный дифференциальный	—	—	Замеряется положительное и отрицательное поровое давление
Прибор со струнным датчиком конструкции Гидропроекта	Кварцевый песок, склеенный бакелитовым лаком на латунной сетке	Струнный тензометр	10 ⁻⁴	$\frac{0,04}{0,3}$	То же
Приборы конструкции ВНИИГ им. Веденеева, типа ПТН-1, ПТН-2, ПТН-3	Стекловолокно, стекловата на латунной сетке	Струнный тензометр ДГС-118	0,002	$\frac{0,01}{0,1}$	
Прибор с масляным дистанционным манометрическим датчиком Шведского геотехнического института	Карборундовый камень	Диафрагменный датчик, соединенный с масляным манометром	0,002	—	Замеряется положительное и отрицательное поровое давление

Подводная пенетрационно-каротажная станция ПСПК предназначена для исследования донных отложений акваторий при глубине водоема до 30 м. Оснащена теми же методами испытания, что и наземные станции, кроме ННК. Управление станцией — дистанционное.

Полевые приборы для определения порового давления выпускаются малыми сериями — заводами и механическими мастерскими ведомственного подчинения (табл. 102).

Приборы для определения деформационных и прочностных свойств пород, применяемые в условиях полевых нестационарных лабораторий. Настольный прибор трехосного сжатия конструкции ЛИИЖТа* приведен на рис. 75.

Прибор относится к типу полуавтоматических стабилометров с заданной скоростью деформации.

Техническая характеристика

Диаметр штампа, см	4
Диаметр и высота образца, см	4; 8
Максимальная вертикальная нагрузка, кН	2
Предельное боковое давление, МПа	0,6
Диапазон скоростей деформирования образца, мм/мин	0,003—4
Габариты, см	30×30×60
Масса, кг	150
Питание — от электросети, В	220

* Конструкция Н. Н. Сидорова.

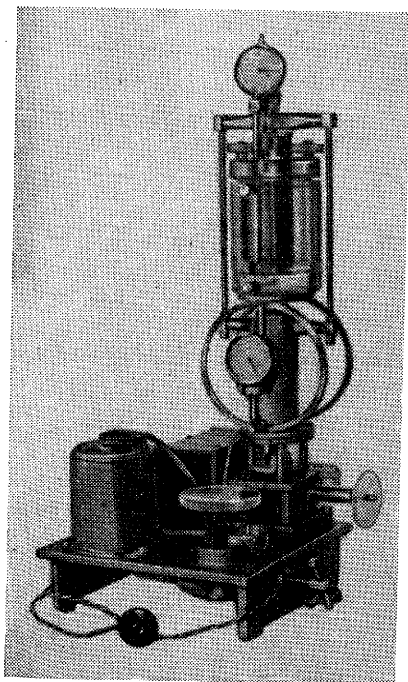


Рис. 75. Настольный прибор трехосного сжатия конструкции ЛИИЖТа

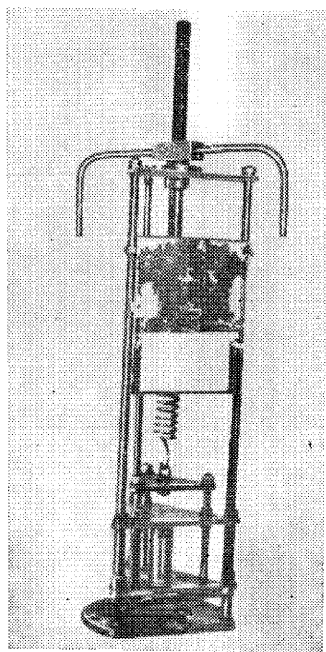


Рис. 76. Прибор одноосного сжатия ВСЕГИНГЕО ОСВ-1 для определения прочности глинистых пород

Прибор одноосного сжатия ВСЕГИНГЕО ОСВ-1 для определения прочности глинистых пород (рис. 76). Результаты испытаний получают в виде графика в координатах нагрузка—деформация.

Техническая характеристика

Минимальное усилие сжатия, Н	5000
Предельная величина деформации, мм	25
Габариты, см	75 × 25 × 25
Масса, кг	15

Прибор одноосного сжатия ИГП-10 конструкции СКБ ВСЕГИНГЕО Министерства геологии СССР.

Общий вид прибора приведен на рис. 77. Прибор предназначен для испытания образцов пород высотой до 120 мм с параллельными торцами, вписывающихся в круг диаметром 75 мм. Прибор автоматический с управляемой деформацией. Результаты испытаний получают в виде графика нагрузка—деформация в прямоугольной системе координат.

Техническая характеристика

Максимальное усилие сжатия, кН	18
Максимальная величина деформации хода столика прибора, мм	40
Скорость деформирования образцов, мм/мин	0,26; 0,80; 2,50
Основная погрешность измерения:	
сопротивление сжатию, %	±5
деформации (%) от максимального хода столика	±1
Питание прибора от сети 220 В или аккумулятора 12 В (при ручном приводе)	
Масса прибора, кг	34

Выпускается серийно заводом Геологической аппаратуры и средств автоматизации Министерства геологии СССР.

Прибор конструкции ВСЕГИНГЕО* для испытания пород методом сжатия—растяжения ОСР-1. Прибор предназначен для определения параметров прочности глинистых пород в условиях сжатия — растяжения. Общий вид прибора приведен на рис. 78.

Техническая характеристика

Высота образца, см	8—9
Диаметр образца, см	4
Гидростатическое давление, МПа	До 10
Точность измерения нагрузки, МПа	0,001
Точность измерения линейной деформации, мм	0,01
Точность измерения объемной деформации, см ³	0,001
Создание нагрузки на образец	Гидростатически
Габариты прибора, см	35 × 25 × 22
Масса прибора, кг	До 3

Сдвиговой прибор Гидропроекта ВСВ-1 применяется для определения сопротивления сдвигу песчаных и глинистых грунтов.

Техническая характеристика

Предельная вертикальная нагрузка, МПа	1,0
Площадь поперечного сечения плоскости срезывателя, см ²	40
Габариты прибора, см	40 × 20 × 30
Масса прибора с динамометрами, кг	18

Прибор для определения сцепления грунтов в полевых условиях. Принцип работы прибора (рис. 79) основан на разрыве образца под действием собственной силы тяжести. Испытанию подвергается образец грибовидной формы, вырезанный по шаблону из монолита размером 230 × 230 × 350 мм.

Реэцом при вращении на подвешенном за «шляпку» образце постепенно вырезается шейка до тех пор, пока нижняя часть образца не падает. Прибор используется для определения сцепления в грунтах твердой и полутвердой консистенции.

* Конструкция З. Г. Тер-Мартirosяна и Е. А. Воробьева.

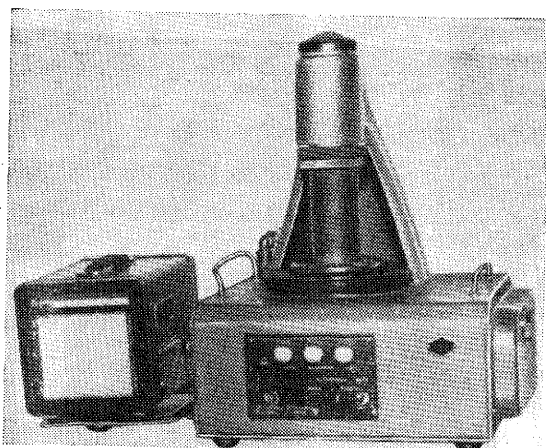


Рис. 77. Прибор одноосного сжатия ИГП-10

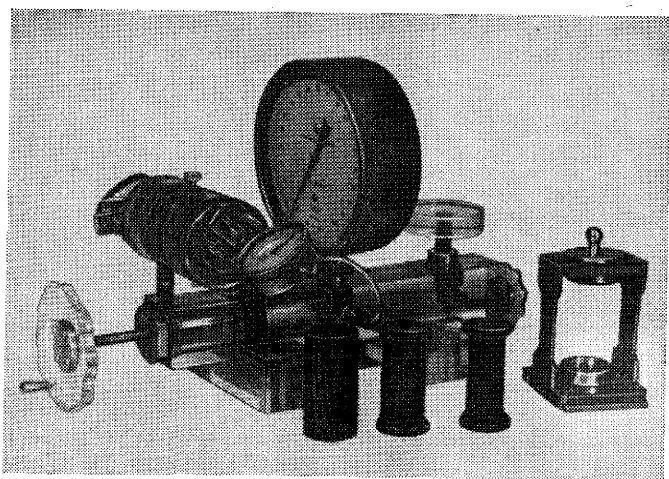


Рис. 78. Прибор конструкции ВСЕГИНГЕО для испытания пород методом сжатия-растяжения ОСР-1

Микропенетрометр ВСЕГИНГЕО МВ-2 применяется для опробования песчаных и глинистых грунтов в полевых и лабораторных условиях. Принцип действия прибора заключается в измерении глубины погружения подпружинного конуса.

Техническая характеристика

Высота конуса, мм	25
Угол при вершине конуса, градус	30
Начальное натяжение пружины, Н	5,5
Конечное натяжение пружины, Н	25,5
Длина прибора, мм	300
Масса, кг	0,3

Прибор выпускается серийно.

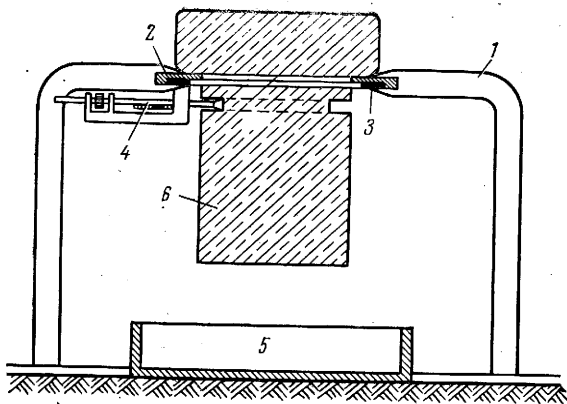


Рис. 79. Прибор для определения сцепления грунтов в полевых условиях:
 1 — станина; 2 — опорное кольцо; 3 — вращающееся кольцо; 4 — подрезной нож;
 5 — поддон; 6 — образец

Полевые инженерно-геологические лаборатории. Полевая лаборатория ЛИГП-1 предназначена для массового определения основных физических свойств и гранулометрического состава песчано-глинистых грунтов ненарушенной и нарушенной структуры при гидрогеологических и инженерно-геологических работах.

Набор приборов и оборудования полевой инженерно-геологической лаборатории обеспечивают определение следующих показателей свойств грунтов: 1) влажности; 2) объемной массы песчаных и глинистых грунтов ненарушенной структуры; 3) объемной массы песчаных грунтов в наиболее рыхлом и плотном сложении; 4) пределов пластичности глинистых грунтов; 5) набухания глинистых грунтов; 6) размокания глинистых грунтов; 7) коэффициента фильтрации песчаных грунтов; 8) угла естественного откоса песчаных грунтов в сухом состоянии и под водой; 9) гранулометрического состава песчаных грунтов; 10) гранулометрического состава глинистых грунтов; 11) плотности.

Полный комплект оборудования лаборатории ЛИГП-1 размещается в шести футлярах. Футляр № 1 основной — с приборами и оборудованием, необходимыми для определения физических свойств песчаных и глинистых грунтов и гранулометрического состава песчаных грунтов. Футляр № 1А (запасной) — с бюксами для определения влажности. Футляр № 2 (основной) — с приборами и оборудованием для определения гранулометрического состава глинистых грунтов ареометрическим методом. Футляр № 2А (запасной) — с цилиндрами для определения гранулометрического состава глинистых грунтов ареометрическим методом. Футляр № 3 — с приборами и оборудованием для отбора образцов грунтов с ненарушенной и нарушенной структурой и полевого опробования грунтов в обнажениях, шурфах, расчистках и т. п. Футляр № 4 (тарный, запасной) — с подсобным оборудованием, снаряжением и запасными принадлежностями и материалами.

Всего в состав ЛИГП входит 21 основной прибор и 45 наименований запасных частей, вспомогательного оборудования и материалов. Данные о комплекте оборудования лаборатории приведены в табл. 103.

Общая масса комплекта лаборатории 152,8 кг. Лаборатории выпускаются серийно.

Полевая лаборатория системы И. М. Литвинова ТИП-9 предназначена для исследования физико-механических свойств песчано-глинистых пород.

Приборы размещены в двух футлярах: футляре с основным комплектом и футляре с компрессионной частью. Кроме того, в состав лаборатории входит портативный сушильный шкаф.

Габариты и масса лаборатории ЛИГП-1

Футляр	Габариты: длина, ширина, высота, мм	Масса, кг
№ 1 (основной)	597×520×300	35,0
№ 1А (запасной)	560×272×241	10,0
№ 2 (основной)	525×355×406	20,8
№ 2А (запасной)	525×345×432	20,6
№ 3	772×372×215	23,4
№ 4 (гарный)	1016×458×340	43,0

Лаборатория позволяет определять: естественную влажность, объемную массу, пластичность, гранулометрический состав песчаных грунтов, угол естественного откоса песков (в сухом состоянии и под водой), компрессионные свойства грунтов, максимальную молекулярную влагоемкость грунтов, структурную связность пластичности по данным испытаний на расплющивание. Лаборатория ТИП-9 дополнена полевым прибором системы Н. А. Цитовича для проведения сдвиговых испытаний грунтов.

II. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ БУРОВЫХ И ГОРНОПРОХОДСКИХ РАБОТ

Буровые станки и установки. По глубине инженерно-геологические скважины условно подразделяются: а) от 1 до 10 м; б) от 10 до 30 м; в) от 30 до 100 м; г) свыше 100 м.

По условиям транспортирования бурового оборудования выделяются легкие, средние, тяжелые и особые условия. В легких условиях возможен подъезд автотранспортом любой проходимости; в средних — подъезд автотранспортом высокой проходимости при устройстве временных подъездных дорог или транспортом на гусеничном ходу; в тяжелых — подъезд обычными видами транспорта практически исключен, возможно передвижение пешеходов; в особо тяжелых условиях необходимо использовать специальные виды транспорта (плавучие средства и т. д.), пешеходам район работ недоступен.

При выборе марки станка или установки для бурения инженерно-геологических скважин в зависимости от глубины скважин, проходимых грунтов и условий производства работ следует руководствоваться табл. 104.

Большие перспективы внедрения в производство имеют станки КМ-10, УКБ 12/25, УКБ 12/25С, АВБ-2М, УРБ-2, УРБ-18-2, УГБ-50М, ЛБУ-50, АВБ-3.

Колонковый мотобур КМ-10 состоит из опорной балки, стойки, вращателя, ручки переключения передач, приводного двигателя «Дружба-4», бензобака, цепного механизма, рукоятки механизма подачи, каретки и подкоса. Вращатель обеспечивает две частоты вращения инструмента: 270 и 600 об/мин. Стойка оборудована ручной цепной лебедкой и кареткой для облегчения подъема инструмента и создания давления на забой. Мотобур с комплектом инструмента, в специальной упаковке может переносить один человек. По сравнению с аналогичными по конструкции отечественными зарубежными мотобурами он обладает более высокими конструктивными и технологическими качествами.

Самоходная буровая установка УКБ 12/25С смонтирована на базе автомобиля УАЗ-469Б. На платформе автомобиля установлен станок УКБ 12/25. Он состоит из приводного двигателя «Дружба-4», бензобака, вращателя, каретки, направляющей, ручной лебедки, подкоса, рамы, подставки и цепей. Вращатель представляет собой трехскоростную коробку передач (частота вращения инструмента 100, 270, 600 об/мин). Ручная лебедка предназначена для производства спуско-подъемных операций и для зарядки пружинного

Рекомендуемые станки и установки для бу

Назначение и глубина скважин, м	Легкие		Преоб
	Скальные	Нескальные	
Зондировочные, от 1 до 5	УКБ 12/25, УКБ 12/25С	Д10М, КМ-10, УКБ 12/25С (ПБУ-10, ПВБСМ-15)	
Зондировочные и разведочные, от 5 до 30	УКБ 12/25, УКБ 12/25С, БСК-2М1-100, УГБ-50М, СБУДМ-150-ЗИВ	УБП-15М, БУКС-ЛГТ, БУЛИЗ-15, УБР-2, АВБ-3, УГБ-50М, ЛБУ-50 (УРБ-2А, Д-5-25)	
Разведочные, от 30 до 100	БСК-2М1-100, СБУДМ-150-ЗИВ, УКБ-200/300, СБУЭМ-150-ЗИВ, ЗИФ-300М	УГБ-50М, ЛБУ-50, СБУДМ-150-ЗИВ, АСУУБ-75, УРБ-2А2 (БУГ-100, УРБ-2А, СБУЭМ-150-ЗИВ)	
Разведочные, более 100	УКБ 200/300, СБА-500, ЗИФ-300М	СБУДМ-150-ЗИВ, УКБ 200/300, СБА-500	УРБ-2А2,

Примечания. 1. В скобках указаны станки и установки, хорошо зарекомендовавшееся время не выпускаемые серийно, либо выпускаемые малыми сериями. 2. В тяжёлом портом, либо вертолетом.

аккумулятора давления на забой в процессе бурения. В районах со сложными условиями транспортирования буровой станок снимается с автомобиля и используется автономно.

Агрегат для вибробурения АВБ-2М состоит из следующих основных узлов: рамы, коробки отбора мощности, раздаточного редуктора, лебедки с планетарным редуктором, генератора, трубчатой мачты, механизма подъема мачты, электрооборудования и рычагов управления. Агрегат комплектуется вибропогружателем ВВ7, представляющим собой беспружинный вибромолот. При переездах вибропогружатель транспортируется на мачте. Агрегат АВБ-2М принадлежит к числу наиболее совершенных машин данного класса. Он обеспечивает не только высокую производительность, но и высокое качество бурения скважин.

Буровая установка УБР-2 смонтирована на сварной раме с двумя стойками. На нижнем основании рамы закреплен приводной двигатель с встроенным главным фрикционом. От двигателя вращение передается коническому редуктору, затем через цепную передачу на раздаточную коробку, укрепленную на двух стойках рамы. Коробка обеспечивает привод подвижного вращателя, планетарной лебедки, ударного механизма и лебедки подъема мачты. Подвижный вращатель смонтирован на направляющих передних стойках и приводится во

рения инженерно-геологических скважин

Условия проведения работ

Средние		Тяжелые	
ладающие грунты в районе работ			
Скальные	Нескальные	Скальные	Нескальные
УКБ 12/25	Д10М, КМ-10, УКБ 12/25, (ПБУ-10, ПВБСМ-15)	УКБ 12/25	Д10М, КМ-10, УКБ 12/25 (ПБУ-10)
УКБ 12/25, БСК-2М1-100	БУКС-ЛГТ, УРБ-1В-2, (УРБ-1, МБУ-1)	УКБ 12/25, БСК-2М1-100	БУКС-ЛГТ, УБР-1
БСК-2М1-100	АВБТМ	БСК-2М1-100	БСК-2М1-100
УКБ 200/300, СБА-500	УКБ 200/300, СБА-500	СБА-500	СБА-500

довавшие себя при бурении инженерно-геологических скважин на изысканиях, но в на-
лых условиях доставка станков к месту работ должна производиться либо вьючным транс-

вращение шлицевым валом от раздаточной коробки. В вертикальном направле-
нии вращатель перемещается вручную с помощью цепной передачи и специаль-
ного ключа. Мачта установки выполнена из одной трубы с двумя шарнирными
подкосами. Установка поставляется с буровым инструментом.

Установка УРБ-1В-2 представляет собой полностью гидрофициро-
ванный буровой агрегат. С помощью гидродвигателей приводятся в действие
вращатель, лебедка и механизм подачи. Вращатель подвижный. При необходи-
мости бурения с промывкой установке придается промысловый агрегат, смонти-
рованный на двусосном колесном прицепе.

Буровая установка ЛБУ-50 предназначена не только для бу-
рения скважин, но и для проходки шурфов круглого сечения. Приводом уста-
новки является двигатель автомобиля. Все узлы установки смонтированы на
общей раме. Шурфы на установке бурят специальным буром. Бур опускают на
забой по гладкой бурильной колонне и поднимают с забоя с помощью лебедки
и каната.

Буровая установка УГБ-50М принадлежит к самым распро-
страненным при инженерно-геологических изысканиях. На общей сварной раме,
прикрепленной к раме автомобиля, установлен приводной дизельный двигатель
с муфтой сцепления. На одной оси с двигателем расположена коробка передач,

на верхней части которой установлена лебедка с тормозами. На заднем конце рамы установлена мачта, представляющая собой сварную конструкцию из труб. По направляющим мачты передвигается вращатель установки, крутящий момент которому передается от коробки передач через вертикальный вал. Перемещение вращателя производится двумя гидроцилиндрами подачи. В средней части рамы расположен ударный механизм с оттяжным роликом.

Агрегат вибровращательного бурения АВВ-3 состоит из следующих основных узлов: дизельного двигателя, фрикциона, коробки передач, ротора, генератора, блока лебедки, механизма подачи, вибропогружателя беспружинного вибромолота ВВ7М, винтового подъемника мачты, трубопровода, электрооборудования и механизмов управления. Агрегат имеет большую перспективу широкого внедрения в производство.

Буровой инструмент. В состав инструмента при бурении инженерно-геологических скважин входят: породоразрушающие инструменты, керноприемники, бурильные и обсадные трубы. При каждом способе применяется свой специализированный буровой инструмент.

Инструмент для ударно-канатного бурения кольцевым забоем состоит из забивных стаканов (зондов, гильз), ударных патронов, утяжеленных штанг, желонки, долот и др. Забивные стаканы представляют собой породоразрушающий инструмент, с помощью которого углубляется скважина и отбираются образцы для геологической документации. Стаканы изготовляют нескольких типоразмеров с наружным диаметром 89, 108, 127, 146, 168 и 219 мм; длина стаканов колеблется от 0,4 до 1 м. В связных глинистых грунтах применяют стаканы с одним или двумя продольными окнами. В нижней части стаканы оборудуются рабочим кольцом (башмаком) с упрочненной режущей кромкой. Для бурения слабосвязных пород применяют стаканы с клапаном. Для ускорения процесса очистки от породы используют разъемные стаканы. Ударный патрон предназначается для забивки стакана в грунт. Патроны изготовляют с наружным диаметром 108, 127 и 168 мм.

Инструмент для вибрационного бурения состоит из зондов и бурильных труб. Диаметры зондов те же, что и стаканов при ударно-канатном бурении. Виброзонд представляет собой трубу длиной 1—3 м, имеющую на нижнем конце рабочее кольцо, а на верхнем — переходник для присоединения к бурильным трубам. Для бурения связных глинистых грунтов применяют зонды с одной прорезью, для бурения слабосвязных грунтов — зонды с клапаном. Геометрия рабочего кольца зонда выбирается в зависимости от проходимых грунтов. В качестве бурильных труб при вибрационном бурении чаще используют бурильные трубы диаметром 50 и 63,5 мм для колонкового бурения с замковыми соединениями, реже специальные трубы, изготовленные из колонковых труб диаметром 57 и 73 мм.

Инструмент для пневмоударного бурения включает в себя стаканы, пневмопробойник, бурильные трубы с сальником и воздухопроводный шланг с канатом. Конструкция стаканов аналогична зондам, используемым при вибрационном бурении. В качестве основного рабочего органа используется пневмопробойник ИП4603. Пневмопробойник обеспечивает энергию единичного удара 220 Дж, частоту ударов 6,33 уд/с, длина пневмопробойника — 1,4 м, масса 120 кг. С помощью указанного пневмопробойника можно бурить скважины диаметром от 127 до 219 мм.

В состав инструмента для колонкового бурения входят породоразрушающие инструменты, колонковые трубы, переходники, шламовые и бурильные трубы, промывочные сальники, вспомогательный инструмент и принадлежности. При колонковом бурении «всухую» используют зубчатые стальные коронки и коронки, армированные твердым сплавом. Данные о типах, области применения и наружных диаметрах твердосплавных коронок приведены в табл. 105.

Колонковые трубы для бурения твердосплавным дробовым и алмазным породоразрушающим инструментом изготовляют (по ГОСТ 6238—77) следующих размеров: 34, 44, 57, 73, 89, 108, 127, 146, 168 и 219 мм. Аналогичных размеров выпускаются и обсадные трубы.

Типы и область применения твердосплавного
породоразрушающего инструмента для колонкового бурения

Тип	Область применения	Номер стандарта	Наружный диаметр коронок, мм
M1	Мягкие однородные породы I—III категорий	ГОСТ 10502—69	93, 112, 132, 151
M2	Мягкие породы II—IV категорий с прослойками более твердых пород	ГОСТ 10502—69	93, 112, 132, 151
M3	Мягкие однородные породы II—IV категорий	ГОСТ 10502—69	93, 112, 132, 151
CM3	Малоабразивные монолитные породы IV—VI категорий (аргиллиты, глинистые и филлитовые сланцы, доломиты, гипсы, известняки, алевролиты и т. п.)	ГОСТ 11108—70	46, 59, 76, 93, 112, 132, 151
CM4	Малоабразивные монолитные и перемежающиеся породы V—VI и частично VII категорий (алевролиты, аргиллиты, глинистые и песчаные сланцы, известняки, слабые песчаники, базальты, дуниты и т. п.)	ГОСТ 11108—70	76, 93, 112, 132, 151
CM5	Малоабразивные монолитные и слаботрещиноватые породы V—VI категорий (доломиты, известняки, глинистые и песчаные сланцы, серпентиниты и т. п.)	ГОСТ 11108—70	36, 46, 59, 76, 93, 112, 132, 151
CM6	Малоабразивные, трещиноватые и перемежающие породы VI—VII категорий (доломиты, известняки, серпентиниты, перидотиты и т. п.)	ГОСТ 11108—70	46, 59, 76, 93, 112, 132, 151
CT2	Малоабразивные трещиноватые и перемежающиеся породы IV—VI категорий (известняки, доломиты, частично окремненные, сланцы с твердыми включениями и т. п.)	ГОСТ 11108—70	46, 59, 76, 93, 112, 151
CA1	Абразивные плотные тонко- и мелкозернистые монолитные породы VI—VIII категорий (песчаники, песчаные сланцы, грубые алевролиты, порфириды, габбро и т. п.)	ГОСТ 11108—70	36, 46, 59, 76, 93, 112, 132
CA2	Абразивные монолитные и перемежающиеся породы VI—VIII, частично IX категорий (песчаники, алевролиты, диориты, габбро, порфириды, окварцованные известняки и т. п.)	ГОСТ 11108—70	36, 46, 54, 76

Тип	Область применения	Номер стандарта	Наружный диаметр коронок, мм
СА3	Абразивные монолитные и перемежающиеся породы VI—VIII, частично IX категорий (песчаники, алевролиты, диориты, габбро, порфириты, окварцованные известняки и т. п.)	ГОСТ 11108—70	93, 112, 132
СА4	Абразивные монолитные и слаботрещиноватые породы VI—VIII, частично IX категорий (габбро, порфириты, диориты, дациты, диопсид-магнетитовые и гранатовые скарны, пироксениты и т. п.)	ГОСТ 11108—70	46, 59, 76, 93, 112, 132

Бурильные трубы для колонкового бурения изготавливают: муфтово-замкового соединения диаметром 42, 50 и 63,5 мм (по ГОСТ 7909—56) и ниппельного соединения диаметром 33,5, 42 и 50 мм.

Инструмент для шнекового бурения состоит из долот и шнеков. Порода при бурении разрушается двух- или трехлапными ступенчатыми долотами, режущие части которых армируются твердым сплавом. Шнековые буровые установки, как правило, поставляются в комплекте с необходимым инструментом. Диаметр скважин при шнековом бурении обычно составляет 135 или 194 мм.

При медленно-вращательном бурении используют два типа породоразрушающего инструмента: ложковые и спиральные буры. Наружный диаметр ложковых буров соответствует 250, 190, 145, 108, 74 и 47 мм, длина — 0,5—1 м. Спиральные буры имеют диаметры 190, 147, 108, 74 и 47 мм, длина составляет 0,5—0,8 м.

Грунтоносы предназначены для отбора их скважин образцов (монолитов) с ненарушенным природным сложением. Правила отбора монолитов грунтоносами регламентированы ГОСТ 12071—72.

По способу погружения в грунт грунтоносы подразделяются на вдавливаемые, забивные, вибрационные, обуривающие и вращательные. При инженерно-геологических исследованиях рекомендуется использовать грунтоносы нормального ряда (табл. 106). Наряду с ними могут применяться и другие конструкции.

Оборудование для горнопроходческих работ. Ранее отмечалось, что основным видом горных выработок при инженерно-геологических исследованиях являются шурфы. Углубка (отбойка) шурфов может производиться: ручным способом с использованием шанцевого инструмента (лопат, кайл, ломов и т. д.) и механизированным способом с использованием отбойных молотков, пневмолопат и т. д. При проходке шурфов в плотных и крупнообломочных грунтах для эффективной отбойки целесообразно применять бетоноломы и пневмоотбойные молотки типа ОМ-1, ОМСП-5, пневмоперфораторы ПР-12, ПР-20 с приводом от компрессора (КС-1, КСЭ-5М, ЗИФ-55, ПКС-5, ЗИФ-ВКС-5, ВКС-6, ЗИФ-ВКС-6, КС-9, ЗИФ-ВКС-10, ДК-9М, ПК-10 и др.).

Выделяются следующие виды транспортирования породы на поверхность: 1) подъем породы на выброс при глубине шурфов не более 2,5 м; 2) подъем породы с помощью бадей малой емкости не более 0,02 м³ (вручную при глубине шурфов не более 5 м); 3) подъем породы бадьями емкостью 0,1—0,2 м³ с применением различных механизированных устройств (специальными лебедками,

Нормальный ряд грунтоносов для отбора монолитов из скважин

Тип грунтоноса	Шифр грунтоноса	Длина, мм	Наружный диаметр грунтоноса	Наружный диаметр корпуса, мм	Диаметр входного отверстия башмака, мм	Длина керноприемной гильзы, мм	Наружный диаметр гильзы, мм	Внутренний диаметр гильзы, мм	Угол заточки башмака, градус	Масса грунтоноса, кг
Обуривающий	ГО-1	925	160	127	94	400	99,5	96	30	27
	ГО-2	925	185	146	113	400	118	115	30	34
Забивной	ГЗ-1	685	106	106	93	400	97	94	15	15,5
	ГЗ-2	685	125	125	108	400	113	110	15	17
Вдавливаемый (первая модель)	ГВ-1	605	108	108	96	—	—	—	7	8,6
	ГВ-2	605	127	113	108	—	—	—	7	9,3
Вдавливаемый (вторая модель)	ГВ-3	785	116	108	96	450	100	97	10	13,5
	ГВ-4	785	132	127	112	450	116	113	11	14,5
Вдавливаемый (третья модель)	ГВ-5	910	150	127	98	300	108	98,2	10	15

кранами-укосинами и др.). Рекомендуемыми механизированными средствами для подъема породы из шурфов являются: шурфопроходческий кран КШ-1, кран Т-108 «Пионер», кран-укосина КШ-100.

В зависимости от свойств проходимых грунтов применяют следующие виды крепления шурфов: 1) распорное с забутовкой (в сравнительно устойчивых породах); 2) сплошное венцовое (в рыхлых и сыпучих породах); 3) венцовое на стойках (в сравнительно устойчивых породах); 4) шпунтовое и опускное (в водонасыщенных породах и пльвунах); 5) каркасно-спускное (в сыпучих и обваливающихся породах).

При буровом способе шурфы (дудки) могут проходиться специализированными шурфопроходческими установками, а также установками, используемыми при бурении скважин. Диаметр дудок может изменяться от 0,65 до 1,5 м.

К специализированным самоходным шурфопроходческим установкам относятся: БКГМ-66, МРК-1А, БКМ-483П, БМ-802С, БМ-202, УБСР-25, МКГС-3, КШК-30А, ЛБУ-50, АСУУБ-75, УШБ-16, КШС-40М. Применение названных технических средств, за исключением установки ЛБУ-50, при инженерно-геологических исследованиях ограничено.

Для проходки шурфов могут быть использованы также буровые установки УРБ-2А, УГБ-50М, СБУДМ-150-ЗИВ, отчасти АВБ-2М и др. Бурение шурфов может производиться вращательным и ударно-канатным способами. Вращательный способ целесообразно применять при проходке шурфов диаметром 0,65—0,9 м, глубиной до 5—7 м в сравнительно плотных глинистых грунтах. При вращательном способе в качестве породоразрушающих инструментов используют шнековые, ложковые, цилиндрические, тарельчатые, конусные и ложковые буры. Ударно-канатный способ целесообразно применять при проходке сравнительно глубоких шурфов (свыше 5—7 м) диаметром 0,65—0,9 м, главным образом в лессовых грунтах. При этом способе применяют ячеистый забивной стакан с ударной штангой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов С. П.* Техническое нормирование и стандартизация инженерно-геологических изысканий в строительстве. — М.: Стройиздат, 1974. — 320 с.
2. *Башкатов Д. Н., Олоновский Ю. А.* Вращательное шнековое бурение геологоразведочных скважин. — М.: Недра, 1938. — 192 с.
3. *Брылов С. А., Багдасаров Ш. Б., Грабчак Л. Г.* Современная технология и механизация горно-разведочных работ. — М.: Недра, 1976. — 285 с.
4. *Валков С. А., Волков А. С.* Справочник по разведочному бурению. — М.: Госгеолтехиздат, 1963. — 548 с.
5. *Инженерные изыскания в строительстве.* Справочник. — М.: Стройиздат, 1975. — 480 с.
6. *Кардыц В. Г., Мурзаков Б. В., Окмянский А. С.* Бурение неглубоких скважин. — М.: Недра, 1971. — 237 с.
7. *Козловский Е. А.* Новая техника и технология разведочного бурения. — М.: Недра, 1972. — 216 с.
8. *Кренделев В. П.* Бурение скважин при поисках и разведке россыпных месторождений. — М.: Недра, 1976. — 248 с.
9. *Ребрик Б. М.* Бурение скважин при инженерно-геологических изысканиях. — М.: Недра, 1973. — 260 с.
10. *Ширяев В. Н., Карпов А. А.* Организация оснащения инженерно-геологических изысканий. — М.: Недра, 1971. — 223 с.

- Агрессивность подземных вод 26
 Активационный анализ 200
 Атмосферное давление 5
 Атмосферные осадки 6
- Битумизация пород 265
 Бугры пучения 280
 Буримость 57
 Буровые скважины 153
- Виброуплотнение 263
 Влажность 32, 49
 Водонасыщение 49
 Водоносный горизонт 24
 Водоносный комплекс 25
 Водоносная линза 24
 Водопоглощение 49
 Водопрочность 35
 Временные прогнозы 122
 Выветривание 110
- Гамма-гамма-каротаж 199
 Геологические процессы 83
 Геологическая среда 191
 Геохронологические схемы 14
 Геологические тела 21, 213
 Глинизация 264
 Горное давление 113
 Гранулометрический состав 28
- Дефицит влажности 5
 Дешифровочные признаки 149, 150
 Деятельный слой 268
 Динамическое зондирование 181
 Дистанционные аэрокосмические методы 146, 147
 Диэлектрическая проницаемость 288
- Замораживание пород 266
 Землетрясение 118
- Инженерная геокриология 267
 Инженерная геофизика 199
 Инженерно-геологические исследования 230
 Инженерно-геологическая карта 218
- Инженерно-геологическая колонка 227
 Инженерно-геологические процессы 83
 Инженерно-геологический разрез 226
 Инженерно-геологическое районирование 227
 Инженерно-геологическая съемка 127
 Испарение 6, 7
- Карст 103
 Классификация обломочных пород 19
 Ключевые участки 144, 153
 Компрессионное сжатие 36
 Комплексное профилирование 153
 Конституционный тип льда 277
 Контактная прочность 55
 Контактный слой 268
 Коэффициент выветрелости 111
 Коэффициент крепости пород 75
 Коэффициент Пуассона 54, 172
 Коэффициент уплотнения 37
 Коэффициент упрочнения 56
 Коэффициент хрупкости 56
 Коэффициент устойчивости склона 90
 Коэффициент фильтрации 35, 38, 165
 Криогенные процессы 134, 274
 Криогенное растрескивание 280
 Крип 84.
 Крыльчатое зондирование 177
 Круг предельных напряжений
 Мора 70
 Курумы 83
- Лавина 83, 97
 Ландшафтно-индикационные исследования 127
 Лёссовые породы 184
 Липкость 34, 165
 Лыдность 286
- Мелиорация 255
 Метод Кулона 74
 Метод поглощения гамма-излучения 196
 Метод рассеянного гамма-излучения 197
 Метод рассеянного нейтронного излучения 198
 Механические модели 58
 Механическое уплотнение 263

- Многолетняя криолитозона 268
 Многолетняя мерзлота 195
 Модуль деформации 170
 Модуль общей деформации 37
 Модуль осадки 38
 Модуль упругости 36
- Набухание 33**
 Наледь 281
 Напряженное состояние грунта 69
 Начальная критическая нагрузка 72
 Нейтрон-нейтронный каротаж 199
- Обвалы 84**
 Обезоживание пород 262
 Обрушение целиков пород 175
 Обрушение и сдвиг призм пород 176
 Объемная льдистость 287
 Объемная масса 30, 49
 Общее сопротивление пенетрации 185
 Одноосное сжатие 42
 Одноплоскостной срез 41
 Оползень 84, 87
 Опробование горных пород 159
 Осыпание 84, 85
 Осов 84
 Относительная влажность 32
 Относительная динамическая твердость 55.
 Охрана природной среды 123
- Парагенез минералов 24**
 Пенетрационно-каротажные методы 199
 Переработка берегов водохранилищ 112
 Перфокарта 205
 Пластичность 33, 55
 Плотность 30, 164
 Плывунные явления в песках 108
 Поверхностная ползучесть 84
 Показатель степени выветрелости 111
 Показатель структурной прочности 178
 Пористость 31, 49
 Поровое давление 188
 Поток радиации 6
 Предельная критическая нагрузка 72
 Предел пропорциональности 172
 Предел прочности 52, 172
 Прессиометрия 171
 Прогноз оползней 91
 Прогноз экзогенных геологических процессов 121
 Проницаемость 50
 Просадочность 39
 Пространственные прогнозы 121
- Радиоактивный каротаж 198**
- Радиозотопные индикаторы 201
 Развезание и перевезание песков 107
 Разведочные скважины 157, 158
 Раздавливание целиков 176
 Размокаемость 35
 Региональный метоморфизм 17
 Рельеф 7, 11
 Речной сток 12, 14
- Сдвигение пород 113**
 Сжимаемость 36
 Сезонное промерзание пород 267
 Сезоннопромерзающий слой 268
 Сезоннопротаивающий слой 268
 Сейсмическая бальность 118
 Сейсмические процессы и явления 118
 Сели 100
 Силикатизация пород 265
 Сингенетический тип мерзлых толщ 282
 Смолизация пород 266
 Солифлюкция 84, 281
 Сопротивление пород одноосному сжатию и растяжению 289
 Сопротивление сдвигу 39, 165
 Статическое зондирование 181
 Структурный этаж 24
 Структурный ярус 24
 Суффозия 105
 Сцепление 77
- Твердость 55**
 Тектонический режим 24
 Теплоемкость 288
 Термическое упрочнение 266
 Термокарст 281
 Техническая мелиорация грунтов 260
 Трещиноватость 116
 Трехосное сжатие 46
 Тромбование 264
- Угол внутреннего трения 173**
 Угол естественного откоса 165
 Угол наибольшего отклонения 71
 Удельная влажность 5
 Удельное динамическое сопротивление пенетрации 186
 Удельное статическое сопротивление пенетрации 187
 Удельное электрическое сопротивление 194
 Уплотнение энергией взрыва 264
 Усадка 164
 Устойчивость 77
 Устойчивость откоса 77
- Формация геологическая 21**

Цементация 264

Экзогенные геологические процессы
121, 133

Экзогенные трещины 116, 117

Электропроводность мерзлых пород 287

Эоловые процессы 107

Эпигенетический тип мерзлых толщ 282

Явления, связанные с водоотливом 108

Предисловие	3
Глава первая. Основные положения и сведения из сопредельных наук, используемые при инженерно-геологических исследованиях. В. Чуринов	5
I. Метеорология и климат. <i>И. М. Цыпина</i>	5
II. Топография и рельеф. <i>В. П. Лазарева</i>	7
III. Геоморфология. <i>В. П. Лазарева</i>	12
IV. Гидрология. <i>И. М. Цыпина</i>	12
V. Геология. <i>В. П. Лазарева</i>	14
VI. Гидрогеология. <i>И. М. Цыпина</i>	24
Список литературы	27
Глава вторая. Грунтоведение. Г. К. Бондарик	28
I. Основные методы лабораторных определений физико-механических свойств песчано-глинистых пород. <i>Л. И. Одинцова</i>	28
II. Основные методы лабораторных определений физико-механических свойств скальных пород. <i>С. В. Николаев</i>	48
Список литературы	57
Глава третья. Механика грунтов. В. И. Ферронский	58
I. Общие положения. <i>И. С. Комаров</i>	58
II. Основные положения теории линейно-деформируемой среды. <i>И. С. Комаров</i>	60
III. Распределение напряжений в массиве грунта. <i>И. С. Комаров</i>	61
IV. Расчеты естественных оснований сооружений по предельным состояниям. <i>И. С. Комаров</i>	63
V. Условия предельного равновесия и несущая способность грунтов. <i>В. И. Ферронский</i>	69
VI. Давление грунтов на ограждения. <i>В. И. Ферронский</i>	74
VII. Давление пород в горных выработках. <i>В. И. Ферронский</i>	75
VIII. Устойчивость откосов. <i>В. И. Ферронский</i>	77
Список литературы	82
Глава четвертая. Современные геологические и инженерно-геологические процессы и явления, их прогноз. Е. П. Емельянова	83
I. Гравитационные смещения: обвалы, осыпи, оползни, курумы, лавины <i>Е. П. Емельянова</i>	83
II. Сели. <i>А. И. Шеко</i>	100

III. Карстовые процессы. <i>Н. В. Родионов, Б. М. Гамалей</i>	103
IV. Суффозия. <i>В. Н. Славянов</i>	105
V. Развевание и перевевание песков. <i>В. Н. Славянов</i>	107
VI. Плывунные явления в песках. <i>В. Н. Славянов</i>	108
VII. Явления, связанные с водоотливом. <i>В. Н. Славянов</i>	108
VIII. Выветривание горных пород. <i>Л. А. Ярг</i>	110
IX. Переработка берегов водохранилищ. <i>Е. В. Третьцов</i>	112
X. Горное давление и сдвигение пород над горными выработками. <i>Г. Г. Скворцов</i>	113
XI. Трещиноватость. <i>М. В. Рац</i>	116
XII. Сейсмические процессы. <i>В. В. Попов, М. В. Чуринов</i>	118
XIII. Прогноз современных геологических и инженерно-геологических процессов. <i>А. И. Шеко, В. А. Кюнтцель</i>	121
XIV. Мероприятия по охране природы при проведении инженерно- геологических работ. <i>О. Н. Толстихин</i>	123
Список литературы	126
Глава пятая. Полевые методы инженерно-геологических исследований. <i>Г. К. Бондарик</i>	
I. Инженерно-геологическая съемка. <i>И. М. Цыпина</i>	127
II. Ландшафтно-индикационные исследования. <i>С. В. Викторов</i>	127
III. Аэрокосмические методы и дешифрирование. <i>А. В. Садов</i>	146
IV. Горнопроходческие и буровые работы. <i>Б. М. Ребрик</i>	153
V. Опробование горных пород при проведении инженерно-геологиче- ских работ. <i>Г. К. Бондарик</i>	159
VI. Полевые методы определения деформационных и прочностных свойств грунтов. <i>Г. К. Бондарик</i>	166
VII. Динамическое и статическое зондирование. <i>Г. К. Бондарик</i>	181
VIII. Полевое определение величины порового давления. <i>Г. К. Бондарик</i>	188
IX. Геофизические методы исследования. <i>А. А. Огильви</i>	190
X. Радиоизотопные и пенетрационно-каротажные методы исследова- ний. <i>В. И. Ферронский</i>	196
Список литературы	202
Глава шестая. Накопление и обработка инженерно-геологической информации. <i>Г. К. Бондарик</i>	
I. Общие сведения. <i>М. И. Горальчук</i>	204
II. Перфокартные фактографические информационно-поисковые си- стемы. <i>М. И. Горальчук</i>	205
III. Статистические методы обработки инженерно-геологической (коли- чественной) информации. <i>Г. К. Бондарик, М. И. Горальчук</i>	207
Список литературы	216
Глава седьмая. Инженерно-геологическое картирование. <i>М. В. Чуринов</i>	
I. Задачи, виды и общая характеристика инженерно-геологических работ. <i>В. П. Лаварева</i>	217

II. Инженерно-геологические карты, их типы и назначение. <i>В. П. Лазарева</i>	218
III. Содержание инженерно-геологических карт. <i>В. П. Лазарева</i>	222
Список литературы	229
Глава восьмая. Особенности инженерно-геологических исследований для различных видов строительства. <i>В. М. Чуринов</i>	230
I. Инженерно-геологические исследования для промышленного и гражданского строительства. <i>М. И. Хазанов</i>	230
II. Инженерно-геологические исследования для строительства автомобильных и железных дорог. <i>М. К. Дружинин</i>	234
III. Инженерно-геологические исследования для строительства трубопроводов. <i>М. И. Хазанов</i>	236
IV. Инженерно-геологические исследования для строительства линий электропередач. <i>М. И. Хазанов</i>	238
V. Инженерно-геологические исследования для строительства аэродромов. <i>В. Ф. Зеленичев, Б. П. Богословский</i>	239
VI. Инженерно-геологические исследования для строительства тоннелей и других видов подземных сооружений. <i>Г. И. Сазонов</i>	241
VII. Инженерно-геологические исследования для гидротехнического строительства. <i>Е. С. Карпышев, А. Н. Марков</i>	248
VIII. Инженерно-геологические исследования для целей мелиорации. <i>Л. А. Островский</i>	255
Список литературы	258
Глава девятая. Техническая мелиорация пород. <i>Ф. В. Котлов</i>	260
I. Предмет и задачи технической мелиорации пород. <i>С. Д. Воронкевич</i>	260
II. Горные породы — объекты технической мелиорации. <i>С. Д. Воронкевич</i>	261
III. Способы мелиорации пород. <i>С. Д. Воронкевич</i>	262
Список литературы	266
Глава десятая. Инженерная геокриология. <i>П. Ф. Швецов</i>	267
I. Физико-географические и геологические условия сезонного промерзания почв и горных пород, формирования и режима мерзлых слоев и толщ. <i>П. Ф. Швецов</i>	267
II. Теплофизические закономерности (основы расчета) процессов промерзания и протаивания земной коры в естественных и искусственно измененных условиях теплообмена с атмосферой. <i>С. Г. Цветкова</i>	272
III. Физические процессы в промерзающих, мерзлых и протанвающих породах и криогенные явления. <i>Н. Г. Бобов</i>	274
IV. Особенности состава и строения мерзлых пород. <i>С. Г. Цветкова, Г. Д. Потрашков</i>	282

V. Методы расчета физико-геологических явлений и определение свойств промерзающих, мерзлых и оттаивающих пород. <i>Г. Д. Потрашков, С. Г. Цветкова</i>	283
VI. Полевые геокриологические наблюдения и съемка. <i>Н. Г. Бобов</i> . . .	290
Список литературы	294
Глава одиннадцатая. Оборудование и приборы, применяемые при проведении инженерно-геологических работ. <i>Г. К. Бондарик</i>	295
I. Установки и приборы для испытания пород. <i>Г. К. Бондарик</i>	295
II. Оборудование для буровых и горнопроходческих работ. <i>Б. М. Ребрик</i>	311
Список литературы	318
Предметный указатель	319

СПРАВОЧНИК ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Издание третье
переработанное и дополненное

Редактор издательства *Л. Г. Китаенко*
Переплет художника *С. Н. Голубева*
Художественный редактор *Е. Л. Юрковская*
Технический редактор *Л. Я. Голова*
Корректоры *Т. М. Столярова* и *Э. Г. Агеева*

ИБ № 2892

Сдано в набор 18.09.80 Подписано в печать 25.02.81.
Т-05614. Формат 60×90²/₁₆. Бумага типографская № 2.
Гарнитура «Литературная». Печать высокая.
Усл. печ. л. 20,5. Усл. кр.-отт. 602,7 тыс.
Уч.-изд. л. 27,66. Тираж 29 400 экз. Заказ 323/7699—2.
Цена 1 р. 70 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19

Ленинградская типография № 6
ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградского объединения «Техническая книга»
им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
193144 г. Ленинград, ул. Моисеенко 10.