

И.В. Шведовский, В.Г. Федоров

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Допущено Министерством образования Республики Беларусь в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений по специальности "Промышленное и гражданское строительство".

Брест 1999

ББК 6С1
Ш 34
УДК 624.131.1

Инженерная геология. Учебное пособие для строительных вузов.

К.т.н., профессор П.В. Шведовский
К.т.н., профессор В.Г. Федоров

Брест.: Брестский политехнический институт, 1999, – 416 с.

Содержание учебного пособия полностью соответствует типовой программе, утвержденной учебно-методическим объединением по инженерно-строительным специальностям (М. 1996 -Т.19.01 и Т.19.03).

Для студентов высших учебных заведений по специальностям Т.19.01 – "Промышленное и гражданское строительство" и Т.19.03 – "Производство промышленных изделий и конструкций", а также специалистов, работающих в области строительства.

Табл. 58., илл. 185., библи. 18 назв.

Рецензенты: кафедра "Геотехника и экология в строительстве" Белорусской государственной политехнической академии; д.г.-м.н., проф. Г.А Колпашников (БГПА), д.т.н., проф. П.Н. Костюкович (БГПА).

© Брестский политехнический институт, 1999

ОГЛАВЛЕНИЕ	стр.
Предисловие	9
Введение	10
Глава 1 Основы исторической геологии	15
1.1 Сведения о Земле как планете	15
1.2 Физические свойства Земли	17
1.2.1 Плотность Земли	17
1.2.2 Тепловой режим Земли	18
1.2.3 Сведения о внешних геосферах	19
Глава 2 Основы минералогии	21
2.1 Общие сведения	21
2.2 Строение и свойства минералов	23
2.3 Классификация и характеристика основных породообразующих минералов	28
Глава 3 Основы петрографии	34
3.1 Общие сведения о горных породах	34
3.2 Классификационные признаки горных пород	34
3.3 Классификация, происхождение и характеристика главнейших магматических пород	36
3.4 Классификация, происхождение и характеристика главнейших осадочных пород	40
3.4.1 Классификация и характеристика пород обломочного происхождения	44
3.4.2 Классификация и характеристика пород химического происхождения	48

3.4.3 Классификация и характеристика пород органогенного происхождения	50
3.5 Классификация, происхождение и характеристика главнейших метаморфических пород	51
3.6 Горные породы в строительстве и их инженерно- геологическая классификация	59
3.7 Общие сведения о геологической хронологии	63
Глава 4 Основы динамической геологии	77
4.1 Общие сведения	77
4.2 Тектонические явления в земной коре	78
4.3 Основные формы дислокаций и их влияние на строительство	81
4.4 Сейсмические явления и их учет в строительстве	91
4.5 Экзогенные процессы и их влияние на строительство	108
4.5.1 Процессы выветривания	109
4.5.2 Геологическая деятельность ветра	123
4.5.3 Геологическая деятельность атмосферных вод	127
4.5.4 Геологическая деятельность рек	133
4.5.5 Геологическая деятельность морских бассейнов	142
4.5.6 Геологическая деятельность озер и водохранилищ	149
4.5.7 Геологическая деятельность болот и заболоченных земель	153
4.5.8 Геологическая деятельность ледников	155
Глава 5 Основы инженерной геоморфологии	162

5.1 Общие сведения о геоморфологии	162
5.2 Элементы и формы рельефа	162
5.3 Происхождение и характеристика форм рельефа	168
5.4 Связь инженерной геологии и инженерной геоморфологии	177
Глава 6 Основы инженерной геологии массивов горных пород	179
6.1 Общие сведения об экологии геологической среды	179
6.2 Склоновые процессы и явления	183
6.3 Суффозионные явления	195
6.4 Карстовые процессы и явления	200
6.5 Пылуны	204
6.6 Просадочные явления	209
6.7 Сезонная мерзлота	216
6.8 Водная эрозия почв и грунтов	218
6.9 Подтопление территорий	219
6.10 Механическое воздействие подземных вод	221
6.11 Тиксотропные явления	223
6.12 Горное давление и сдвигание земной поверхности	224
Глава 7 Основы инженерной геокриологии	229
Глава 8 Основы инженерной гидрогеологии	237
8.1 Общие сведения	237
8.2 Физические свойства и состав подземных вод	238
8.3 Характеристика типов подземных вод	242

8.4 Режим подземных вод	251
8.5 Движение подземных вод	257
8.6 Приток грунтовых вод к водозаборам	266
8.7 Особенности расчета водопритока в строительные котлованы	273
8.8 Методы борьбы с грунтовыми водами	276
Глава 9 Основы грунтоведения	283
9.1 Общие сведения о грунтах	283
9.2 Вещественный и гранулометрический состав грунтов	288
9.3 Формы воды в грунтах	292
9.4 Водные свойства грунтов	295
9.5 Физические характеристики грунтов	297
9.6 Природа и характер деформаций грунтов	299
9.7 Механические свойства и характеристики грунтов	302
9.8 Характеристика скальных грунтов	305
9.9 Характеристика крупнообломочных и песчаных грунтов	308
9.10 Характеристика пылевато-глинистых грунтов	312
9.11 Характеристика биогенных грунтов	323
9.12 Характеристика почв	325
9.13 Общие сведения об искусственных грунтах	327
9.14 Характеристика искусственных скальных грунтов	328
9.15 Характеристика искусственных дисперсных грунтов	331
Глава 10 Инженерно-геологические исследования	334

10.1 Цель, задачи, состав и порядок исследований	334
10.2 Характеристика этапов инженерно-геологических изысканий	338
10.3 Методы проведения инженерно-геологической съемки	343
10.4 Методика организации разведочных выработок и опробования пород	347
10.5 Методика проведения геофизических исследований	351
10.6 Лабораторные исследования грунтов и подземных вод	353
10.7 Полевые испытания грунтов (опытные работы)	356
10.8 Методика и организация режимных наблюдений	362
10.9 Обработка материалов инженерно-геологических исследований	363
10.10 Инженерно-геологический отчет и заключение	364
10.11 Оценка инженерно-геологических условий строительных площадок	367
Глава 11 Методика инженерно-геологических исследований для различных видов инженерной деятельности	375
11.1 Инженерно-геологические исследования при проектировании дорожного строительства	375
11.2 Инженерно-геологические исследования для оценки коррозионной деятельности грунтов	378
11.3 Особенности инженерно-геологических	

исследований при наличии деформаций в зданиях и сооружениях	380
11.4 Инженерно-геологические исследования для градостроительства	382
11.5 Инженерно-геологические исследования для строительства отдельных зданий	386
11.6 Инженерно-геологические исследования в связи с надстройкой (реконструкцией) зданий	388
11.7 Инженерно-геологические исследования для строительства подземных сооружений	390
11.8 Инженерно-геологические исследования для строительства трубопроводов и инженерных коммуникаций	391
11.9 Инженерно-геологические исследования для поиска и разведки месторождений строительных материалов	394
11.10 Инженерно-геологические исследования в районах развития специфических по составу и состоянию грунтов	399
11.11 Роль и значение инженерно-геологических исследований в охране геологической среды	406
Глава 12 Основы инженерной биологии	408
Заключение	413
Литература	414

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие написано в соответствии с программой курса “Инженерная геология” для специальностей “Промышленное и гражданское строительство” инженерно-строительных вузов и факультетов. Его можно также использовать и для других специальностей - “Производство строительных изделий и конструкций” и “Строительство дорог и транспортных объектов”.

В учебном пособии даны общие сведения о Земле, приведен достаточно подробный материал по минералам, горным породам, геохронологии, тектоническим явлениям, природным геологическим явлениям и инженерно-геологическим процессам.

Широко освещаются вопросы инженерно-геологических исследований для различных видов промышленно-гражданского строительства и других видов инженерной деятельности.

Особое внимание уделено таким разделам как геоморфология, гидрогеология и грунтоведение.

Дополнительно к программе курса авторы впервые включили в пособие новый раздел – “Основы инженерной биологии”.

Учебное пособие будет полезно также инженерам-строителям и может служить пособием для преподавателей вузов и техникумов.

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с глубокой древности, люди стали изучать строение Земли, состав и свойства слагающих ее пород и процессы, непрерывно изменяющие земной рельеф. Знания были столь обширны, что уже в XVIII веке сформировалась такая наука как “геогнозия” (землевладение), которая в XIX веке переросла в “геологию” (науку о Земле).

Основное значение в ее становление внесли научные труды М.В. Ломоносова (“О слоях земных” – 1745 г.), Д. Гёттона (“Теория Земли” – 1760 г.) и М.С. Волкова (“Записка об исследовании грунтов земли, производимом в строительном искусстве” – 1840 г.).

Большой вклад в развитие геологии как науки, внесли ученые Российской Академии наук – Ф.П. Саваренский (“Инженерная геология” – 1937 г.), Н.Н. Маслов (“Инженерная геология” – 1934 г.), И.В. Попов (“Инженерная геология” – 1951 г.) и многие другие.

Из белорусских ученых большой вклад в эту науку внесли А.С. Махнач (“Литоология Белорусского Полесья” – 1958 г.), Г.В. Богомолов (“Инженерная гидрогеология” – 1956 г.), М.Ф. Козлов (“Гидрогеология Припятского Полесья” – 1968 г.).

Следует отметить, что за последние 10-15 лет белорусские ученые внесли особенно существенный вклад в развитие прикладной инженерной геологии. И.А. Бусел дал прогноз строительных свойств грунтов (“Прогнозирование строительных свойств грунтов” – 1989 г.). Г.А. Колпашников и др. составили полный комплект инженерно-геологических карт Беларуси (1989г.), а также дали прогноз развития инженерной геологии в республике Беларусь (“Прогноз развития инженерной геологии в РБ” – 1996г.). Коллектив ученых БГПА (М.И. Никитенко, М.Д. Банников, П.Н. Костюкович и др.) решил такие важные проблемы как методология инженерно-геологических изысканий в условиях Беларуси, определении гидрогеологических параметров водоносных пластов и расчета притока воды к подземным сооружениям, особенности захоронения вредных веществ в недрах и др.

Большие исследования в области гидрогеологических проблем проведены учеными БелНИГРИ (Лавров А.П., Фадеева М.В., Киселев В.Н. и др.).

Нужно отметить, что эта наука сегодня многокомпонентная и комплексная и ее составными разделами являются: минералогия – наука о составе, происхождении и свойствах минералов, составляющих земную кору; петрография – наука о составе, строении, происхождении и условиях залегания горных пород; динамическая геология – наука о геологических и инженерно-геологических процессах, протекающих на поверхности (экзогенных) и внутри нее (эндогенных) и изменяющих облик Земли; историческая геология – наука об истории Земли от начала ее развития до настоящего времени; региональная тектоника и стратиграфия – наука об историческом строении земной коры; геоморфология – наука, изучающая рельеф земной поверхности, его происхождение и развитие; гидрогеология – наука о подземных водах; инженерная геология – наука о геологических процессах верхних горизонтов земной коры и физико-механических свойствах горных пород (грунтов) в связи с инженерно-строительной деятельностью человека.

Сегодня масштабы хозяйственной деятельности человека сопоставимы с действием крупнейшей геологической силы: площадь, занятая под жилыми застройками и инженерными сооружениями, составляют около 15% суши; ежегодно на поверхности Земли перемещается до 10 тысяч км³ вещества; осушению и орошению подвержено до 500 млн. га; кардинально изменился климат нашей планеты. Поэтому инженерную геологию сегодня нужно рассматривать как науку о геологической среде, ее рациональном использовании и охране, в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека.

Под геологической средой следует понимать любые горные породы и почвы, составляющие верхнюю часть литосферы, которые рассматриваются как многокомпонентные системы, находящиеся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека, способные как влиять на природные геологические процессы, так и формировать новые инженерно-геологические процессы, обуславливая при этом изменения инженерно-геологических условий определенной территории.

Отсюда современная инженерная геология, в теоретическом аспекте, ставит перед собой три основные задачи: 1) изучение состава, строения, состояния свойств и условий распространения горных пород (грунтов), определяющих их поведение при взаимодействии с инженерными сооружениями; 2) изучение геологических процессов, как природных, так и возникающих в связи с возведением и эксплуатацией зданий, сооружений и устройств, с целью установления характера этих процессов, их влияния на существование зданий и сооружений, а также разработка рекомендаций по регулированию этого влияния и охране окружающей среды; 3) установление закономерностей пространственного распространения инженерно-геологических условий.

В практическом же аспекте можно сформулировать следующим образом: 1) оценить инженерно-геологические условия и физико-механические свойства пород района строительства с учетом действия геологических и инженерно-геологических процессов; 2) разработать комплекс мероприятий, необходимых для инженерной подготовки территории; 3) помочь обосновать наиболее рациональные типы и конструкции зданий и сооружений, схемы размещения объектов и способы производства работ.

На рис. 1 показано соотношение и связи инженерной геологии с другими науками.

Анализ этих взаимосвязей позволяет отметить, что без знаний инженерной геологии нельзя изучить природную геологическую обстановку местности до начала строительства, а также спрогнозировать изменения в геологической среде, которые произойдут как в период строительства объекта, так и при его эксплуатации, то есть ни одно здание и сооружение не может быть спроектировано без соответствующего комплекса инженерно-геологических работ, позволяющего:

- выбрать место наиболее благоприятное в геологическом отношении, для строительства данного объекта;

- выявить необходимые инженерно-геологические условия для оптимального выбора рациональных типов и конструкций фундаментов и сооружений, а также технологии производства строительно-монтажных работ;

– разработать рекомендации по комплексу мероприятий, обеспечивающих инженерное улучшение застраиваемой территории.

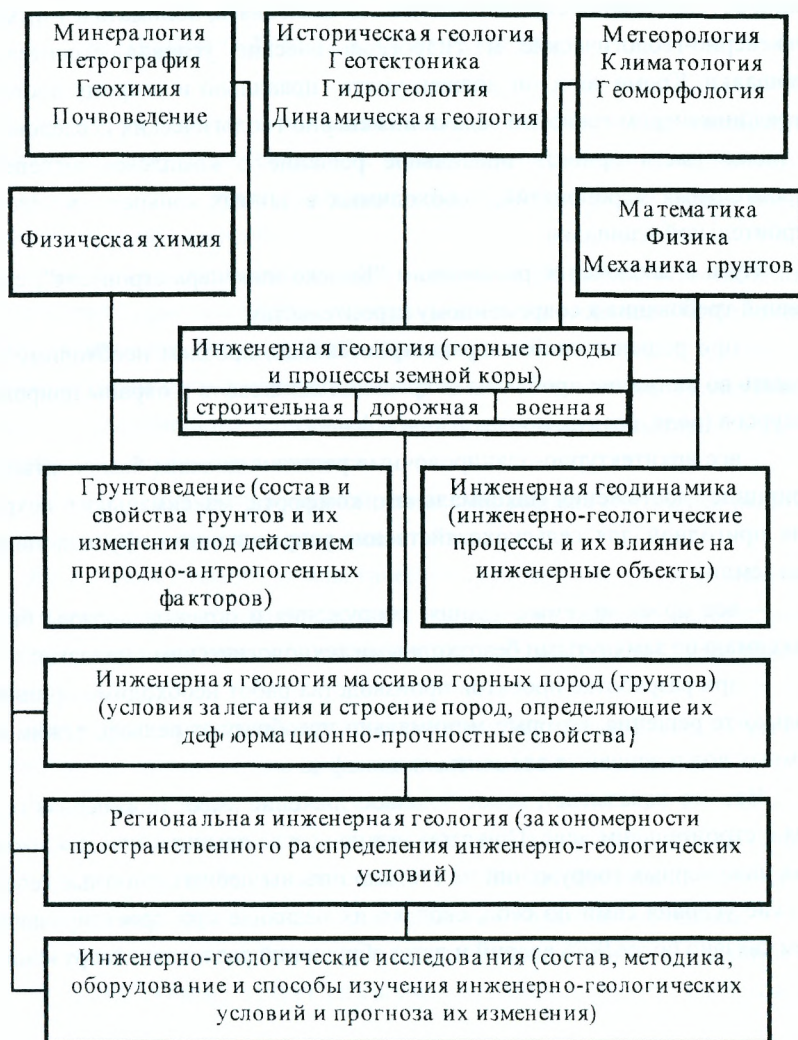


Рис. 1 Связь инженерной геологии с другими науками.

Конечно, в современных условиях инженер-строитель, как правило, сам не проводит инженерно-геологических работ, однако при проектировании и осуществлении строительства он должен знать, понимать и учитывать инженерно-геологические и гидрогеологические условия строительной площадки. Кроме того, он должен уметь правильно и вовремя поставить перед инженером-геологом задачи инженерно-геологических исследований, а также уметь принять правильное решение о комплексе инженерно-строительных мероприятий, необходимых в данных конкретных условиях строительной площадки.

Ну и в заключение рассмотрим “Кодекс инженера-строителя”, содержащий требования к современному строительству:

- при решении любых градостроительных проблем необходимо принимать во внимание проблемы сохранения ландшафта и охраны природных ресурсов (вода, воздух, почва, флора и фауна);

- все архитектурно-планировочные решения должны базироваться на принципе достижения максимального комфорта, максимального сохранения пригодной для сельскохозяйственно-рекреационного функционирования земли ;

- все проектируемые здания, сооружения и объекты должны быть с максимально замкнутыми безотходными технологическими циклами;

- при разработке проектов производства работ необходимо принимать только те решения, которые минимально преобразуют рельеф, режим подземных вод и основные элементы ландшафта.

Все это показывает, какое большое значение имеет инженерная геология в строительном деле. При этом нужно всегда помнить, что для возведения инженерных сооружений не столько опасны неблагоприятные геологические условия сами по себе, сколько их незнание при проектировании, с чем связано более 90% аварий и даже обрушений различных сооружений.

Глава I ОСНОВЫ ИСТОРИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

1.1 СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ КАК ПЛАНЕТЕ

Солнечная система – один из составных элементов Вселенной и, как известно, состоит из небесных тел разнообразных по своим свойствам. В нее входят: Солнце, девять больших планет, десятки тысяч малых планет, комет, множество метеорных тел.

Вопрос о происхождении Земли – важнейший вопрос естествознания, и на сегодня существует сотни гипотез о ее происхождении. Наиболее достоверной является гипотеза О.Ю. Шмидта, согласно которой Солнце как звезда, на своем пути захватило одно из пылевых скоплений Галактики, из холодного пылевидного вещества которого и возникли уплотненные сгустки материи, давшей жизнь планетам.

Вначале Земля была холодной, но за счет распада внутри нее радиоактивных веществ, начался ее разогрев.

Ядро Земли приобрело пластическое состояние, которое в конечном итоге и обусловило перераспределение вещества на планете: более плотное вещество сосредоточилось ближе к центру, а более легкое – у ее периферии.

Это перераспределение продолжается и в настоящее время, о чем свидетельствуют тектонические процессы (землетрясения, вулканизм).

Не меньшего внимания заслуживает и гипотеза В.Г. Фесенкова, который считает, что в недрах Солнца протекают ядерные процессы, которые в какой-то период привели к быстрому сжатию и образованию вещества. Отрыв этого вещества и его распад и привели к образованию планет.

Но независимо от истинности гипотез, нужно помнить, что Земля – это своеобразный “живой” объект со своими законами развития, знать о которых мы обязаны.

С геометрической точки зрения Земля представляет собой тело, близкое к шару с неправильной формой и называемое геоидом. Длина земного

меридиана составляет 40008,548 км, длина экватора – 400075,704 км, а средний радиус – 6370 км.

На основании прямых и косвенных методов изучения, наша планета имеет концентрическое строение и состоит из ядра и оболочек – промежуточная (нижняя мантия), перидотитовая (верхняя мантия) и литосферы (земной коры) в составе базальтового, гранитного и осадочного слоя. При этом мантия и земная кора разделены поясом (поверхностью) Мохоровича, залегающим на глубине 70-85 км (рис. 2).

На поверхности Земли находятся – гидросфера (водная оболочка), биосфера (сфера жизнедеятельности организмов) и атмосфера (газовая оболочка), в составе тропосферы, стратосферы и ионосферы. На высоте от 30 до 48 км располагается озоновый слой, который во многом определяет жизнь на Земле.

Площадь земной поверхности равна 510 млн. км², объем – $1,08 \cdot 10^{12}$ км³, а масса – $5,98 \cdot 10^{12}$ т.

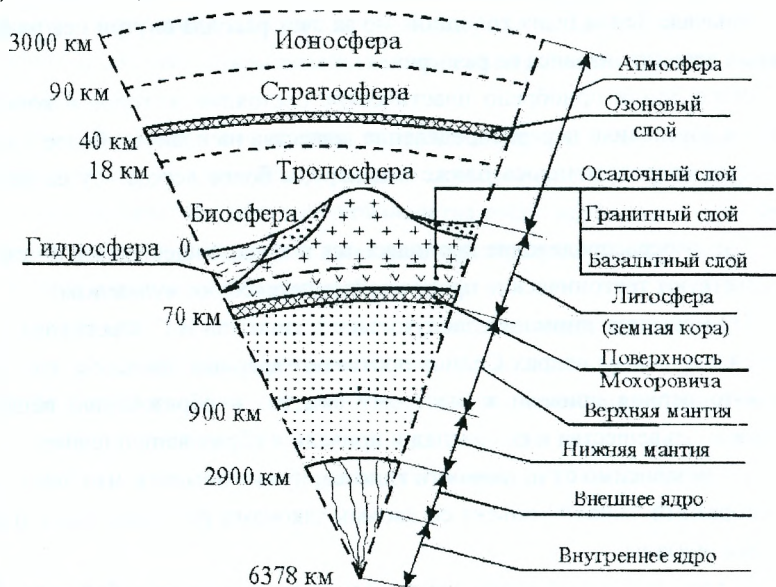


Рис. 2 Схема строения Земли.

1.2 ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕМЛИ

1.2.1 Плотность Земли

В целом, плотность сферических оболочек скачкообразно возрастает в направлении к ядру (табл. 1).

*Распределение характеристик состояния вещества
Земли по глубине*

Таблица 1

Глубина, км	0	20	500	640	1900	2900	6378
Плотность пород, г/см ³	2,7	2,9	3,4	4,3	5,1	8,6	12,2
Давление, Мгбар (млн. атм.)	$1 \cdot 10^{-6}$	0,04	0,18	0,2	0,9	1,3	3,5
Температура, °С	20	600	1800	2000	2100	2200	2500 - 10000
Твердость (модуль деформации), МПа	30	75	1000	1600	2400	3200	—

С помощью бурения сегодня удалось достичь глубинных областей земной коры на глубину более 12262 м (Кольский полуостров). С 1998 года она стала работать "в режиме геологической лаборатории мирового класса".

Литосфера состоит из разнообразных минералов и горных пород с плотностью в среднем 2,7-2,8 г/см³. Химический состав до глубины 16-20 км следующий, в %: кислород - 46,8; кремний - 27,3; алюминий - 8,7; железо - 5,1; кальций - 3,6; натрий - 2,6; калий - 2,5; магний - 2,1; прочие - 1,2.

При этом верхняя часть сложена из небольшой по мощности (0-15 км) толщи осадочных пород. Ниже залегает гранитная оболочка мощностью от 0,4 до 50 км, развитая в основном на материках и состоящая из пород гранитного состава. Еще ниже залегает базальтовая оболочка мощностью от 5 до 20 км и состоящая из пород типа базальта и габбро.

Промежуточная оболочка (верхняя мантия) состоит из ультраосновных пород с плотностью $3,3 - 4,5 \text{ г/см}^3$, в химическом составе которых преобладает кремний и магний. Поверхностные слои ее очень активные, так как содержат расплавленные массы, обуславливающие зарождение сейсмических и вулканических явлений, а также все горообразовательные процессы. Нижняя мантия, лежащая на глубине от 900 до 2900 км, в основном состоит из кремния, магния, никеля и железа, поэтому ее плотность от $5,3$ до $6,5 \text{ г/см}^3$.

Ядро Земли, как внутреннее, так и внешнее, состоит из силикатного расплава, с большим содержанием железа, и имеет плотность $9-11 \text{ г/см}^3$. Такая плотность объясняется тем, что вещество находится под очень высокими давлением, доходящим до $3,5$ млн. атм. и температурой – до 5000°C , а по некоторым косвенным данным, может быть 10000°C и более.

1.2.2 Тепловой режим Земли

Температура самых верхних слоев Земли зависит от совокупности внешних факторов, и поэтому в ее динамике характерны сезонные колебания, иногда достигающие 100°C .

Но в целом тепловой режим определяется двумя источниками тепла: солнечная радиация ($99,5\%$) и энергия, освобождающаяся в процессе распада радиоактивных веществ в недрах планеты ($0,5\%$).

Формирование теплового режима определяется геотермическим градиентом или геотермической ступенью.

Геотермический градиент – это величина нарастания температуры на каждые 100 м глубины. Глубину погружения, при которой температура повышается на 1°C называется геотермической ступенью.

Величина как геотермического градиента, так и геотермической ступени в разных местах различна. Так, если в Европейской части геотермическая ступень составляет в среднем 33 м , колеблясь от 26 до 39 м , то на Американском континенте он колеблется от 7 до 140 м . Однако закономерное нарастание температуры характерно до определенных глубин, ибо в

противном случае температура ядра должна быть более 200 тыс. °С. Но в любом случае температура мантии не менее 1500 °С, о чем говорит температура вулканической лавы.

С инженерной точки зрения наиболее существенно знание теплового режима верхней части земной коры. Здесь выделяются три температурные зоны: I – мощностью 12-15 м с сезонными колебаниями, II – мощностью 15-40 м с постоянной температурой 13,6-15,5 °С, III – с постоянно увеличивающейся температурой.

1.2.3 Сведения о внешних геосферах

Как видно на рис. 2 внешние геосферы сформированы гидросферой, биосферой и атмосферой.

Гидросфера – это водная оболочка Земли, состоящая из океанов, морей, рек, озер и материковых льдов. Гидросфера не образует сплошного слоя и покрывает земную поверхность на 70,8%. Средняя ее мощность 3,8 км, а наибольшая 11,52 км (Мариинская впадина в Тихом океане). Температура гидросферы изменяется как в широтном направлении (близость к полюсам или экватору), так и зависит от глубины. И если она имеет сезонную изменчивость в слое до глубины 150 м, то ниже она относительно постоянна. Самая высокая температура +35,6 °С отмечена в Персидском заливе, а самая низкая - 2,8 °С в Северном Ледовитом океане. По химическим свойствам выделяют пресные и соленые морские воды. Средняя соленость морской воды – 3,5% (3,5 г/л). В воде содержатся – хлориды, сульфаты, карбонаты, йод, фтор, фосфор, рубидий, золота, радий, то есть практически все элементы периодической системы Д.И. Менделеева.

Нужно также отметить наличие горизонтальных и вертикальных течений и существование определенных форм жизни по всей гидросфере. При этом нужно отличать: бентос (организмы, живущие на дне морей и океанов), планктон (организмы, пассивно плавающие в воде) и нектон (активно плавающие организмы и крупные морские животные).

Атмосфера (газовая оболочка) окружает Землю слоем в 3000 км и состоит из тропосферы, стратосферы и ионосферы.

Тропосфера – приземный слой атмосферы мощностью от 6 км (у полюсов) до 15-18 км (у экватора). В ней содержится 9/10 всей массы газов атмосферы и в ее состав входят: азот – 75,51%, кислород – 23,3%, аргон – 1,28%, углекислый газ – 0,04% и незначительная часть других газов. При этом, если у поверхности Земли температура носит сезонный характер с перепадами от +58°C (Ливия) до -87°C (Антарктида), то начиная с высоты 10-12 км она уже становится относительно постоянной и достигает -50°C. В тропосфере также происходит образование облаков и тепловые движения воздушных потоков (циклоны и антициклоны).

Стратосфера распространяется до высоты 80-90 км. Наличие озонового слоя на высоте 30-55 км обуславливает повышение температуры до +50°C, но с последующим понижением ее до -60 – -90°C.

Выше стратосферы расположена ионосфера, переходящая на высоте 3000 км в межпланетное пространство. Она имеет очень низкую плотность и высокую ионизацию газов.

Биосфера (сфера жизнедеятельности организмов) связана с атмосферой, литосферой и гидросферой.

Между организмами и окружающей их средой существует постоянное взаимодействие. Растения (свыше 500 тыс. видов) и животные (более 1 млн. видов) благодаря их жизнедеятельности способствуют формированию и изменению ряда важнейших геологических процессов. Одним из главных процессов, обуславливающих жизнь на Земле, является почвообразовательный процесс, происходящий в результате сложных биохимических реакций.

Глава 2 ОСНОВЫ МИНЕРАЛОГИИ

2.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Как мы отметили, масса земной коры на 80% состоит из трех элементов (*O*, *Si* и *Al*). Более 19% массы земной коры составляют такие элементы как железо, кальций, натрий, калий, магний и титан. Если рассматривать массу Земли в целом, то эти 9 элементов составляют 96% массы, за счет железопикелевого ядра.

Однако в чистом виде эти химические элементы встречаются очень редко. Они образуют химические соединения относительно постоянного состава. Вот эти природные тела, имеющие определенный химический состав и физические свойства, образующиеся в результате физико-химических процессов, протекающих внутри земной коры и на ее поверхности, и называются минералами. Различные минеральные ассоциации с общим происхождением (генезисом) и формируют горные породы, составляющие земную кору.

В зависимости от условий происхождения минералы будут обладать определенным химическим составом, внутренним строением, внешними признаками и характерными свойствами. Отсюда нужно помнить, что каждый минерал может существовать в природе только при определенных условиях, определяющими из которых являются температура и давление. При изменении этих условий, минерал либо видоизменяется, либо разрушается.

По условиям происхождения можно выделить три группы минералов – эндогенные, экзогенные и метаморфические.

Эндогенный процесс связан с действием внутренних сил Земли и протекает в ее недрах. Здесь минералы рождаются из магмы (силикатного огненно-жидкого расплава). При снижении температуры магма застывает (кристаллизуется), и таким образом, рождаются первичные минералы (кварцы, силикаты), для которых характерна большая плотность, твердость и стойкость к воде, щелочам и кислотам.

Экзогенный процесс характерен для поверхности земной коры и связан с взаимодействием литосферы с гидросферой, биосферой и атмосферой, то есть это действие атмосферных вод, тепла, ветра, температуры, растений и животных. При этом часть минералов образуется на суше (каолинит, гидрослюда, сульфиды, окислы). Рождение многих минералов определяется жизнедеятельностью различных организмов (кальцит - жемчуг, опал, арагонит).

По свойствам они очень разнообразны, но большинство из них имеют низкую твердость, а также взаимодействуют с водой, иногда даже растворяясь в ней.

Метаморфический процесс характерен как для поверхности земной коры, так и для недр Земли и связан с перерождением ранее образовавшихся минералов, под воздействием высоких температур, давлений и магматических газов и воды.

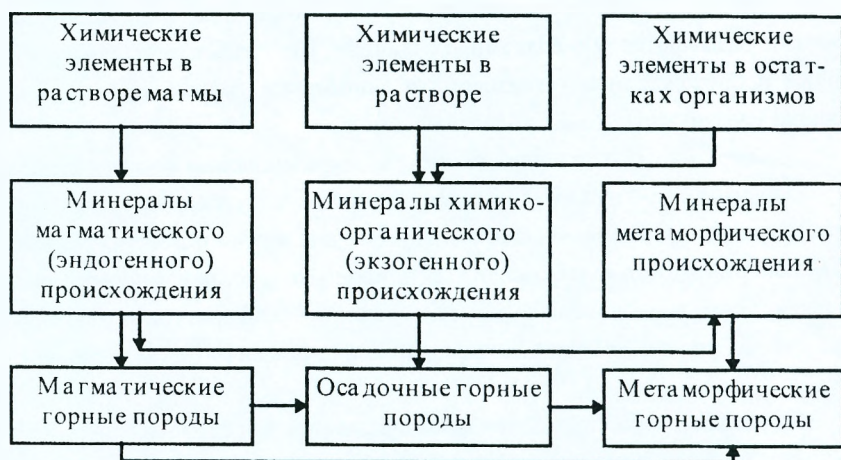


Рис. 3 Схема образования и преобразования минералов и горных пород.

Минералы обязательно перекристаллизуются, то есть изменяют свое первоначальное состояние, плотность и прочность. Так образуются многие минералы – силикаты (роговая обманка, актинолит). На рис. 3 показана схема образования и преобразования минералов и горных пород. Ее анализ позволяет отметить, что первичные магматические минералы образуются

из химических элементов магмы, а вторичные (химико-органические и метаморфические) – из химических элементов растворов, остатков организмов и под действием температур, давлений, газов и воды.

На сегодня известно более двух тысяч минералов, при этом ежегодно открывается или синтезируется искусственным путем более 10 новых минералов, но только 100 из них встречаются наиболее часто, входя в состав горных пород. Эти минералы и называют породообразующими.

2.2 СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ

Большинство минералов твердые, но встречаются жидкие (вода, ртуть) и газообразные (метан).

Основная масса минералов – это вещество с кристаллической структурой, для которой характерен определенный порядок в пространственном расположении составляющих их частиц – атомов, молекул и ионов.

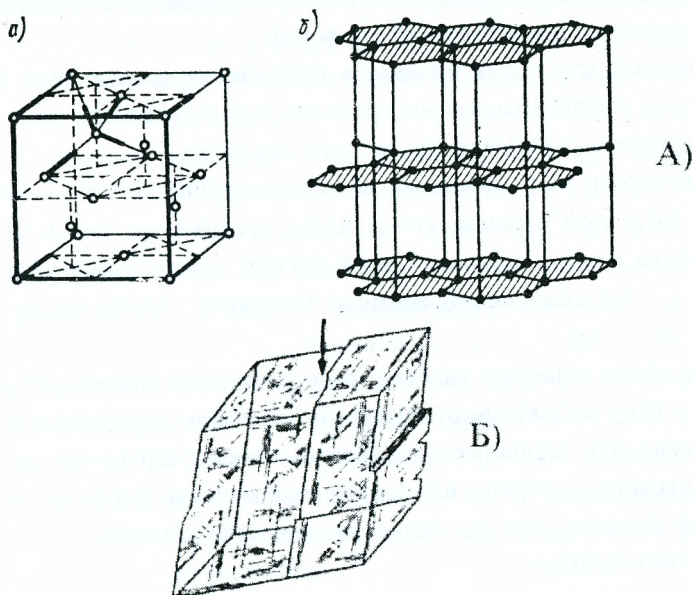


Рис. 4 Общий вид кристаллических решеток (А) и кристалла кальцита с совершенной спайностью (Б): а - алмаз; б - графит.

Внешним признаком кристаллов является его правильная геометрическая форма, ограниченная плоскостями – гранями, ребрами и вершинами (рис. 4).

Так как каждому кристаллу характерно строго определенное количество вершин, ребер и граней, то по внешнему виду хорошо различимы многие минералы (галит, кварц, графит, слюда).

При этом минерал может иметь одинаковые свойства по всем направлениям, то есть быть изотропным, или разные по различным направлениям. В этом случае их называют анизотропными.

Большинство же минералов экзогенного происхождения – аморфны, то есть вещество характеризуется беспорядочным расположением составляющих его элементарных частиц. Для аморфных минералов характерна неправильная внешняя форма и их часто называют “твердой жидкостью” (вулканическое стекло, кремнь). Физические свойства у них во всех направлениях одинаковы, то есть аморфные минералы изотропны. Однако аморфное состояние минералов является неустойчивым и с течением времени они переходят в кристаллическую форму.

Одиночные кристаллы минералов встречаются сравнительно редко. Более широко распространены минеральные ассоциации таких типов как – друзы, секретины, зернистые массы, шетки и дендриды.

По плотности минералы делят на четыре группы: легкие – с плотностью $\rho=2,5-4,0 \text{ г/см}^3$ (смола, гипс, галит), средние – с $\rho=2,5-4,0 \text{ г/см}^3$ (кварц, слюды, шпаты), тяжелые с $\rho=4,0-6,0 \text{ г/см}^3$ (пирит, лимонит) и очень тяжелые – с $\rho>6,0 \text{ г/см}^3$ (золото, платина). Плотность этих минералов может достигать $16-19 \text{ г/см}^3$.

Для каждого минерала характерен определенный химический состав. По химическому составу среди минералов выделяют: самородные элементы; сульфиды, или сернистые соединения; галоиды; карбонаты, или соли угольной кислоты; сульфаты, или соли серной кислоты; фосфаты, или соли фосфорной кислоты; окислы; силикаты, или соли кремниевых кислот, и органические соединения.

К числу самородных соединений, довольно редко встречаемых в природе, относятся некоторые металлы – золото, платина, серебро, медь и неметаллы – алмаз, графит, сера.

В составе тонкодисперсной части глинистых пород часто встречаются минералы: каолинит, монтмориллонит и гидрослюда – иллит и гидромусковит, довольно сложные по составу.

К числу минералов – органических соединений относят янтарь, асфальт и озокерит.

По количеству химических элементов выделяют моноэлементные минералы (S – сера; C – алмаз, графит) и полиэлементные (SiO_2 – кварц, $KAl_2(AlSiO_3)_{10}$ – слюда).

Химический состав кристаллических минералов выражается кристалло-химической формулой, которая показывает как количественные соотношения элементов, так и характер их взаимной связи (каолинит – $Al_4[Si_4O_{10}][OH]_8$; альбит – $NaO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$). В состав многих минералов экзогенного происхождения входит вода. Но она не участвует в строении решетки и поэтому ее удаление только обезвоживает минерал (гипс – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; ангидрит – $CaSO_4$).

Химический состав и структура минерала определяют их физические свойства, основными из которых являются: 1) морфологические особенности (внешняя форма); 2) оптические характеристики (цвет, прозрачность, блеск); 3) показатели твердости, спайность, излом и плотность вещества.

Некоторым минералам присущи особые свойства: двойное лучепреломление, проявляющееся в удваивании надписей и предметов, рассматриваемых через кристалл; магнитность, характерная для некоторых рудных минералов железа; запах; соленый вкус, свойственный галиту и некоторым другим галоидным минералам; растворимость; горючесть; упругость; гибкость; хрупкость; вязкость; гигроскопичность и другие.

Рассмотрим основные морфологические особенности минералов. Четкие кристаллы встречаются очень редко (горный хрусталь), а для большинства минералов характерно неправильное очертание – изометрическое пространственное (пирит, галит); призматическое однонаправленное (кварц, асбест); игольчатое однонаправленное (слюда, графит), или в виде агрегатных скоплений (оливин, альбит).

Для минералов характерен также и определенный цвет, но цвет минерала в куске зачастую отличается от его цвета в порошке.

Под цветом мы понимаем преобладающую разновидность оттенка минерала. В целом все минералы по цвету делятся на две группы: светлые, к которым относят бесцветные, белые, светло-серые, желтые и розовые (гипс, кальцит, кварц, полевые шпаты) и темные – имеющие черный, темно-зеленый, коричневый и бурый цвет (авгит, роговая обманка).

Цвет минерала может сильно изменяться от наличия примесей, пузырьков газа, трещин и т.д.

Цвет черты – это цвет минерала в порошке и он определяется царапанием минерала по шершавой поверхности фарфоровой чашки (чашки Петри) или пластины.

Цвет черты относительно постоянный и не зависит ни от примесей, ни от включений (лимонит – всегда коричневый, гематит – красный, галит – белый).

Прозрачность минералов – это свойство пропускать свет. По прозрачности выделены три группы: 1) прозрачные (кварц, мусковит); 2) полупрозрачные (халцедон, гипс); 3) непрозрачные (графит, пирит). Однако нужно помнить, что прозрачность зависит от объема образца, то есть в куске минерал может быть не прозрачен, а в тонкой пластине – прозрачен.

Блеск минерала – это свойство поверхности отражать свет. По блеску выделены три группы: 1) металлический (пирит); 2) полуметаллический (лимонит); 3) неметаллический (стеклянный – силикаты; жирный – тальк; шелковистый – асбест).

Многие минералы блеска не имеют, и они называются матовыми. По внешнему виду они напоминают землистые массы (каолинит).

Твердость – это способность минералов противостоять внешнему механическому воздействию. Твердость оценивается по шкале Мооса, в которой за основу принята твердость десяти эталонных минералов (табл. 2). Определить твердость на практике можно используя ноготь (твердость до 2,5), стекло (2,5-5,0), лезвие ножа (5,0-5,5) или склерометр (1-10).

Спайность – это способность минералов раскалываться или расщепляться по определенным направлениям с образованием гладких поверхностей раскола. Спайность у различных минералов выражается в различной степени и в практике выделяется пять групп: 1) спайность весьма совершенная – минерал способен расколоться на тонкие листочки (слюда); 2)

спайность совершенная -образуются обломки правильной формы или гладкие правильные плоскости (микроклин, кальцит, ортоклаз); 3) средняя спайность – осколки минерала ограничены как плоскостями спайности, так и поверхностями излома (лабрадор, тальк); 4) спайность несовершенная – большая часть поверхностей – неправильная, плоскости спайности наблюдаются только в виде малых площадок (апатит); 5) весьма несовершенная спайность (отсутствие спайности) – раскалывание по неопределенным направлениям с образованием неровных поверхностей скола (кварц). Спайность обусловлена только внутренним строением и совсем не зависит от внешней формы.

Твердость минералов по Моосу

Таблица 2

Минералы	Твердость по Моосу	Число твердостей по склерометру, кг/мм^2	Визуальные признаки	Твердость минералов по группам
1	2	3	4	5
Тальк	1	2,4	Чертится ногтем	Мягкие
Гипс	2	36,0	То же	То же
Кальцит	3	109,0	Чертится ножом	Средней твердости
Флюорит	4	189,0	То же	То же
Апатит	5	536,0	То же	То же
Ортоклаз	6	796,7	Царапает стекло	Твердые
Кварц	7	1120,0	То же	То же
Топаз	8	1427,0	Режет стекло	Очень твердые
Корунд	9	2060,0	То же	То же
Алмаз	10	10060,0	То же	То же

Излом – характеристика поверхности разрыва и раскалывания минералов. Необходимо различать излом по плоскости спайности и по плоскостям, не совпадающим с плоскостью спайности. Излом может быть ровный (кальцит), раковистый (кварц), землистый (каолинит), ступенчатый (гипс, мусковит), занозистый (змеевик), зернистый (лабрадор).

Для определения минералов целесообразно использовать следующий ключ-определитель (рис. 5).

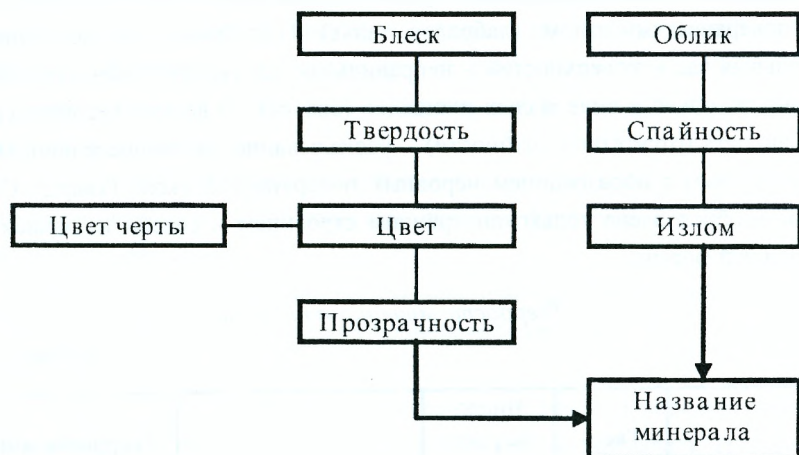


Рис. 5 Ключ-определитель минералов.

2.3 КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

Строителю приходится иметь дело как с отдельными минералами, так и с горными породами, которые представляют собой совокупность минералов. В табл. 3 приведено количество минералов в разных классах (по химическому составу) и их содержание в земной коре.

В составе горных пород минералы распределены неодинаково. Например, полевые шпаты на 60% формируют магматические породы, 30% – метаморфические и 12% – осадочные. Кроме полевого шпата в литосфере распространены и следующие минералы: кварц – 12,6%; слюды – 3,6%; железисто-магнезиальные силикаты (роговая обманка, авгит, оливин, змеевик) – 16,8%; известковый шпат (кальцит) – 1,5%; доломит – 0,1%, каолинит и другие глинистые минералы – 1,1%. Содержание всех прочих минералов в земной коре составляет всего 6,5%.

Распределение минералов и их классификация

Таблица 3

Класс минералов	Количество минералов	Содержание минералов в земной коре, % по массе
1	2	3
Силикаты и гидросиликаты	800	75,0
Окислы	102	10,0
Гидроокислы	91	7,0
Карбонаты	80	1,7
Фосфаты	350	0,7
Галоиды	100	0,5
Сульфиды	200	1,15
Сульфаты	260	0,5
Вольфраматы	55	3,35
Самородные элементы	90	0,1

Характеристика основных породообразующих минералов приведена в табл. 4.

Характеристика породообразующих минералов

Таблица 4

Группа, подгруппа	Название минерала и его химический состав	Твердость	Блеск	Цвет	Излом и спайность
1	2	3	4	5	6
Сульфиды	Пирит FeS_2	6-6,5	Сильный металлический	Золотистый, ржаво-желтый	Неровный раковистый излом
Хлориды	Галит (каменная соль) $NaCl$	2-2,5	Стеклянный	Бесцветный, белый	Весьма совершенная спайность
	Флюорит CaF_2	4	То же	Бесцветный, белый, фиолетовый	Совершенная спайность по октаэдру, кубу

1	2	3	4	5	6
Окислы и водные окислы	Кварц SiO_2	7	Стекланный, жирный	Белый, бесцветный	Раковистый излом
	Опал $SiO_2 \cdot nH_2O$	5-6	Тусклый, жирный матовый	Белый, желтый, серый	То же
	Лимонит (бурый железняк) $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$	1-5	Тусклый матовый	Желто-бурый, ржаво-желтый	Землистый излом
Карбонаты	Кальцит $CaCO_3$	3	Стекланный, перламутровый	Бесцветный, белый	Весьма совершенная спайность
	Доломит $CaCO_3 \cdot MgCO_3$	3.5-4	То же	Белый, желтый, серый	Весьма совершенная спайность
Сульфаты	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2	То же	Белый, желтый, серый	Весьма совершенная спайность
	Ангидрит $CaSO_4$	3-3.5	То же	Белый, сероватый	Совершенная спайность
Фосфаты	Апатит $Ca_5(F, Cl)(PO_4)_3$	5	Сильный стекланный, жирный	Зеленый, желтоватый, белый, бесцветный	Неровный излом, несовершенная спайность
Силикаты	Оливин (перидот) $(Mg, Fe)_2SiO_4$	6.5-7	Стекланный, жирный	Оливково-зеленый, прозрачный	То же
	Авгит $Ca(Mg, Fe, Al) \times [Si, Al)_2O_6]$	5-6.5	Стекланный	Зеленовато-черный, черный	Раковистый излом, спайность совершенная
	Роговая обманка $(Ca, Na)_2(Mg, Fe^{2+}, Al, Fe^{3+})_3 \times [Si, Al)_4O_{11}](OH)_2$	6.5-7	Шелковистый	Темно-зеленый, черный	Занозистый излом, спайность совершенная
	Слюда Мусковит $KAl_2(OH, F)_2 \times [AlSi_3O_{10}]$	2-3	Стекланный, перламутровый	Бесцветный, желтоватый	Спайность весьма совершенная
	Биотит $K(Mg, Fe)_3[OH, F]_2 \times [AlSi_3O_{10}]$	2-3	То же	Черный, зелено-черный	То же

1	2	3	4	5	6		
С и л и к а т ы		Тальк $Mg_3(OH)_2[Si_4O_{10}]$	1	Жирный, перламут- ровый	Белый, светло- зеленый	Спайность весьма со- вершенная	
		Хлорит $(FeMg)_3Al[OH]_8 \times$ $\times [AlSi_3O_{10}]$	2-2.5	Стекланный, перла- мутровый	Зеленый	То же	
		Серпентин (змеевик) $g_6(OH)_8[Si_4O_{10}]$	2.5-4	Стеклан- ный, жир- ный	От светло- до черно- зеленого	Раковистый, занозистый излом	
		Каолинит $Al_2(OH)_8[Si_4O_{10}]$	1	Тусклый матовый	Белый, желтоватый	Землистый излом	
	П о л е в ы е	Ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$	6	Стеклан- ный	Белый, кремовый, розовый	Спайность совершенная в одном и средняя в другом на- правлении под углом 90°	
		Микроклин $K,Na[AlSi_3O_8]$	6	То же	То же	Спайность совершен- ная в двух направле- ниях	
		Альбит $Na[AlSi_3O_8]$	6	То же	Белый, буровато- желтый	Спайность совершен- ная в двух направле- ниях по ромбоздру	
		П л а г и о к л а з ы	Анортит $Ca[Al_2Si_2O_8]$	6	То же	Серый, бе- лый, желто- ватый	Спайность средняя в двух на- правлениях по ромбо- эдру
			Лабрадор $Na[AlSi_3O_8] \times$ $\times Ca[Al_2Si_2O_8]$	6	Стеклан- ный, перла- мутровый	Серый, голубой, синий	Спайность совершенная в двух на- правле- ниях

Рассмотрим характеристики породообразующих минералов наиболее характерные для условий Беларуси.

Кварц – основной породообразующий минерал, представляющий собой двуокись кремния – SiO_2 . В осадочных породах Беларуси образует чистые кварцевые пески или пески с различными примесями. Такие породы, как граниты, гнейсы и кварциты содержат кварца 30% и более. Кристаллизуется в тригональной системе. Кристаллы призматические или дипирамидальные. Цвет различный, но чаще серый. Плотность 2600-2800 кг/м³, твердость 6-7. Блеск стеклянный, иногда жирный. Происхождение эндогенное. В Беларуси выявлено много разновидностей кварца: аметист (фиолетовый), морион (черный), цитрин (золотистый), горный хрусталь (прозрачный, бесцветный).

Полевые шпаты – группа наиболее распространенных породообразующих минералов, составляющих около 50% массы верхней части литосферы и на 60% формирующие все основные горные породы. В Беларуси – самые распространенные после кварца породообразующие минералы в антропогенных отложениях. В составе крупнообломочных материалов они составляют до 40-70% от общей массы. В мелкообломочных материалах их до 30%. По химическому составу они делятся на натриево-кальциевые и щелочные. Кристаллы обычно призматические или таблитчатые. Цвет самый разнообразный, блеск – стеклянный. Используются (лабрадорит) как облицовочные материалы

Ангидрит – минерал, безводный сульфат кальция. Широко встречается в субформациях Припятского прогиба. Цвет белый, иногда с голубоватым или красноватым оттенком. Блеск – стеклянный. В присутствии воды на воздухе гидратируется и переходит в гипс, увеличиваясь в объеме до 30%. Применяется в производстве цемента и для поделок.

Гидрослюда – группа минералов с промежуточным составом между слюдами и глинистыми минералами типа монтмориллонита. Гидрослюда – один из основных компонентов глин. Кристаллизуются в моноклинной системе, образуя агрегаты светлых тонов. Твердость 1-2, плотность 2600-2900 кг/м³. Наиболее распространенные разновидности: гидробиотит, гидромусковит и глауконит.

Гилс – минерал класса сульфатов. В Беларуси образует многочисленные линзы, а в Припятском прогибе и гипсоносную толщу мощностью до 400 м. Кристаллы таблитчатые или призматические. Цвет белый с разными оттенками: от розового до черного. Иногда встречаются бесцветные прозрачные кристаллы. Блеск стеклянный. Применяется в производстве алебаstra, красок и цемента.

Галит – кристаллический минерал из группы хлоридов. Обычно прозрачный, бесцветный или белого цвета. Плотность – 2100-2200 кг/м³. Легко растворяется в воде, образует пласты, толщи и другие тела, встречающиеся в отложениях разного возраста. Мощные отложения галита выявлены в Припятском прогибе на площади 26 тыс. км², общим объемом 22 тыс. км³.

Вивиенит – минерал, представляющий водный фосфат закиси железа. В чистом виде содержит 28,3% P₂O₅, 43% FeO и 28,7% H₂O. Чаще всего встречается среди торфов, неогеновых глин и углистых пород. Образует порошкообразные или плотные массы серого или зеленоватого цвета. Твердость 1-2, плотность 2700 кг/м³. Блеск – стеклянный. Происхождение – экзогенное. Используется для изготовления синей краски.

Глава 3 ОСНОВЫ ПЕТРОГРАФИИ

3.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Как мы отметили выше, горные породы представляют собой совокупность минеральных агрегатов, для которой характерно большее или меньшее постоянство химического и минерального состава, структуры и определенные условия залегания. Минералы, присутствующие в породе, в количестве не менее 10%, называются породообразующими минералами. При этом, если горная порода состоит из одного минерала, она называется мономинеральной (кварцит из кварца), а если из нескольких, то – полиминеральной (гранит, в состав которого входят кварцы, полевые шпаты и слюды).

В отличие от минералов, горные породы химической формулы не имеют, а оцениваются валовым химическим анализом. Например, валовой химический анализ базальта определяется содержанием следующих окислов: SiO_2 – 49-52%; Al_2O_3 – 10-14%; Fe_2O_3 – 4-14%; CaO – 8-10%; остальные – 10-25%.

В настоящее время известно около 1000 видов горных пород, которые по своему происхождению (генезису) делятся на три типа: магматические, метаморфические и осадочные. Земная кора, на 95% от общей ее массы, сложена магматическими и метаморфическими породами, при этом на поверхности Земли наибольшее распространение имеют осадочные породы.

3.2 КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ ГОРНЫХ ПОРОД

Наиболее значимыми классификационными признаками являются: структура, текстура, минералогический состав, форма залегания и строительные свойства.

Под структурой подразумевают совокупность особенностей внутреннего (агрегатного) строения породы, обусловленных размерами, формой,

генезисом и количественным соотношением ее составных частей – минералов.

С физической точки зрения, структура – это характеристика, определяющая мелкие и тончайшие особенности внутреннего строения породы. Необходимо различать четыре вида структур:

1) по агрегатному состоянию: порфировидные – порфирит; кристаллические – гранит, мрамор; некристаллические (стекловатые) – обсидиан; смешанные (полукристаллические) – андезит;

2) по размеру составных частей (кристаллов): крупнозернистые – $\varnothing > 5$ мм, средне- – $\varnothing 1-5$ мм, мелко- – $\varnothing < 1$ мм и разнозернистые;

3) по генезису частиц: кристаллические – гранит, гипс, каменная соль; обломочные – песок; органогенные – торф; смешанные – опока;

4) по взаимному расположению: однородные, зернистые, беспорядочные и ориентированные.

Под текстурой (сложением) понимают пространственное расположение составных частей породы в ее объеме. С физической точки зрения текстура – определяет внешний облик породы, то есть ее слоистость, сланцеватость, массивность и пористость.

Необходимо выделять следующие два вида текстур:

1) по способу заполнения: плотные или массивные – гранит, мрамор; шлаковые – вулканический туф; пористые – базальт, лесс;

2) по расположению компонентов породы: однородные – гранит; неоднородные – гнейс, сланец.

Отсюда нужно запомнить, что если структура отвечает на вопрос, как построен агрегат, образующий породу, то текстура показывает, как он расположен в пространстве.

На рис. 6 даны основные схемы структур и текстур.

Форма залегания определяет как генезис породы, так и количественные характеристики отдельностей пород и глубин их залегания. Все формы залегания можно свести к трем основным типам: массивы, пластовые тела и жилы. Пластовая форма наиболее простая и наиболее распространенная в верхней части литосферы. Массив – это крупные тела неправильной фор-

мы, прорывающие толщи слоистых пород (батолиты, купола, штоки). Жила – тело, заполняющее трещины в пластах и массивах.

3.3 КЛАССИФИКАЦИЯ, ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛАВНЕЙШИХ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

Магматические породы образовались в результате застывания расплавленной магмы, которая находится в недрах Земли и представляет собой сложный силикатный расплав.

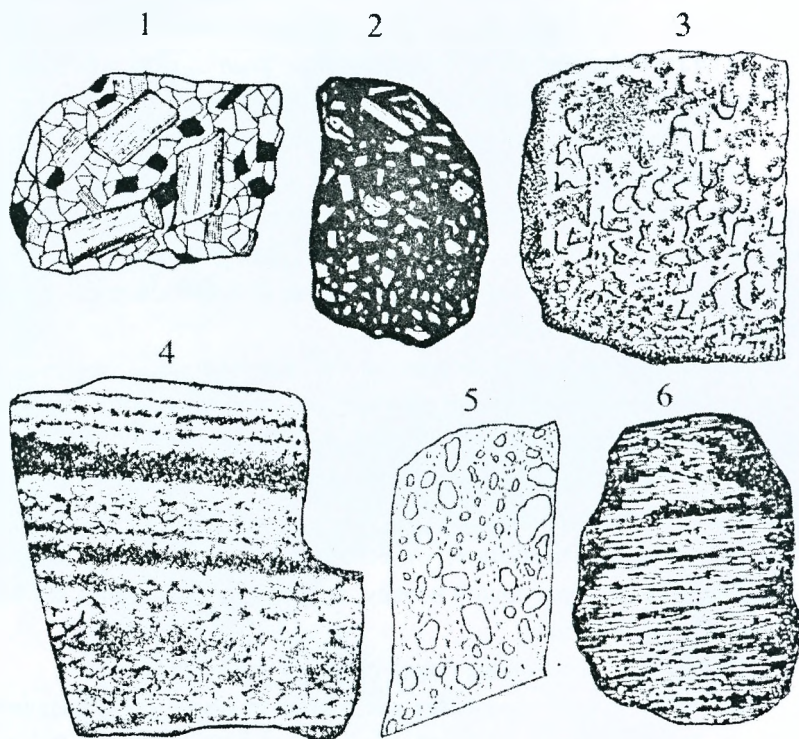


Рис. 6 Общий вид структур и текстур горных пород: 1 - порфировидная; 2 - порфировая; 3 - смешанная (пегматитовая); 4 - полосчатая; 5 - шлаковая; 6 - сланцеватая.

Расплавленная магма, прорываясь по трещинам земной коры, может как застыть в ее недрах, так, достигнув поверхности земли, застыть разлившись потоками и лавами (рис. 7). В первом случае образуются глубинные породы, а во втором – излившиеся. Так как условия застывания магмы различные, то для глубинных (интрузивных) пород, образующихся в условиях высокого давления и медленно-равномерного остывания, характерна высокая плотность, массивность и полная кристалличность (гранит, габбро).

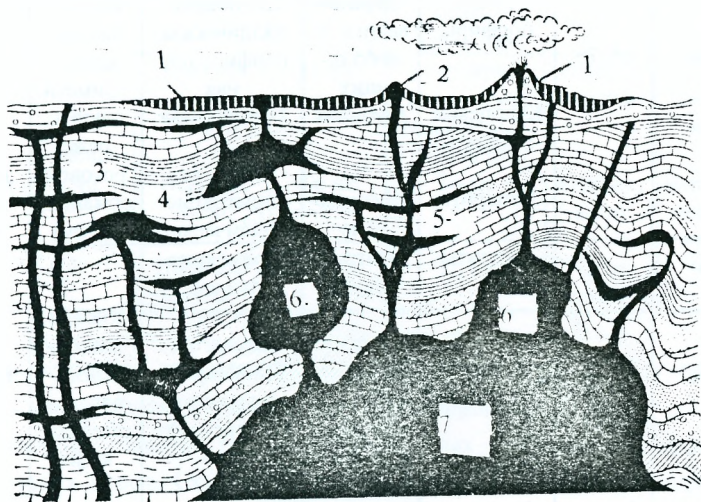


Рис. 7 Условия и формы залегания магматических пород: 1 - лавовый поток; 2 - купол; 3 - дайки; 4 - лакколит; 5 - жилы; 6 - штоки; 7 - батолиты.

Для излившихся (эффузивных) пород, образующихся при низких давлениях и температуре и быстрой отдаче тепла и газовых компонентов характерным будет аморфность и высокая пористость (базальт, пемза).

Классификация магматических пород

Таблица 5

Типы пород по химическому составу	Содержание SiO ₂ , %	Название пород	Происхождение пород	Структура	Минералогический состав	Цвет
1	2	3	4	5	6	7
Кислые	65-75	Граниты	Интрузивные	Полнокристаллическая порфировидная	Кварц, калиевые полевые шпаты, кислые плагиоклазы, примеси слюды, реже роговой обманки, авгита	Розоватый, красноватый, желтоватый
		Гранит-порфиры	Образовались на небольших глубинах	Полнокристаллическая порфировидная		
		Кварцевые порфиры		Порфировая		Красноватый, бурый, светлый
		Липариты	Эффузивные	Плотная скрытокристаллическая		
Средние	52-65	Диориты	Интрузивные	Полнокристаллическая	Кислые плагиоклазы, роговая обманка, авгит	Серый с зеленоватым оттенком
		Диорит-порфиры	Образовались на небольших глубинах	среднезернистая Полнокристаллическая порфировидная		
		Андезиты	Эффузивные	Скрытокристаллическая	Полевой шпат, средние плагиоклазы, роговая обманка, авгит	Серый и черный
		Сиениты	Интрузивные	Полнокристаллическая равномернозернистая		
		Сиенит-порфиры	Образовались на небольших глубинах	Полнокристаллическая порфировидная		То же
		Трахиты	Эффузивные	Скрытокристаллическая		

продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7
Основные	40-52	Габбро	Интрузивные	Полнокристаллическая среднезернистая	Лабрадор, авгит, роговая обманка, ильменит, магнетит, оливин	Серый, черный, темно-зеленый
		Диабазы	Образовались на небольших глубинах	Полнокристаллическая равномернозернистая		Зеленоватосерый
		Базальты	Эффузивные	Скрытокристаллическая мелкозернистая		Черный, зеленоватый
Ультраосновные	Менее 40	Дуниты	Интрузивные	Полнокристаллическая равномернозернистая	Оливин, магнетит	Светло-зеленый, черный
		Перидотиты	То же	То же	Оливин, авгит	Черный с зеленоватым оттенком
		Пироксениты	То же	То же	Авгит, оливин	Черный

В зависимости от времени их формирования, различают древние (палеозойская) и молодые (кайнозойская эра) породы.

На сегодня известно около 600 различных видов и разновидностей магматических пород. Основная классификация магматических пород основана на содержании в них кремнезема (двуокиси кремния - SiO_2) (табл. 5).

Следует отметить, что такая классификация имеет практическое значение, ибо с уменьшением SiO_2 возрастает плотность, понижается температура плавления, изменяется окраска от светлой до темной, уменьшается количество кварца и увеличивается количество пироксенов. Минералогический состав магматических пород самый разнообразный, однако преобладающими из первичных являются – полевые шпаты, пироксены, кварц, слюда, а вторичных – глинистые минералы и карбонаты. В зависимости от содержания последних, зависит показатель степени выветрелости.

Кислые породы являются наиболее распространенными из магматических пород. Основной представитель – гранит и его излившиеся аналоги – кварцевые порфиры, липариты и вулканические стекла. Основным представителем средних пород является диорит с излившимися аналогами – порфирит, андезит, сиенит и трахит.

Группа основных пород формируется глубинной породой габбро с излившимися аналогами – диабаз (древняя порода) и базальт – (молодая порода).

Группа ультраосновных пород включает в себя такие глубинные породы как пироксены, перидотиты и дуниты.

Граниты – интрузивная полнокристаллическая порода от светло-серой до красной. Широко распространены и обладают большой прочностью при сжатии (160-250 МПа). Липарит и кварцевые порфиры сходны с гранитом по минеральному составу, окрашены в светлые тона – белые, желтоватые, светло-серые; предел прочности на сжатие 130-150 МПа. Кварцевые порфиры более темные по сравнению с липаритами, обладают большей плотностью и меньшим содержанием стекловатой массы. Обсидиан (вулканическое стекло) – стекловидная порода темного цвета. Пенза – порода пузыристая, стекловатая. Сиениты по внешнему виду напоминают граниты, отличаются от них несколько большим содержанием цветных минералов. Андезит – эффузионный аналог диорита, темно-серого цвета с зеленоватым оттенком. Габбро – интрузивная порода со средней и крупнозернистой структурой желто-зеленого и черного цвета. Одной из разновидностей габбро является лабрадорит – красивый облицовочный материал синего цвета. Базальты и их древние аналоги диабаза – полнокристаллические структуры, обладающие высокой прочностью на сжатие (300-500 МПа) темно-серого и черного цвета.

3.4 КЛАССИФИКАЦИЯ, ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛАВНЕЙШИХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

Осадочные горные породы прерывистым чехлом покрывают практически всю поверхность Земли. Хотя они составляют всего 5% объема зем-

ной коры, но земная поверхность на 75% своей площади покрыва только этими породами. В связи с этим, вести строительство приходится в основном на осадочных породах, то есть они служат как основанием зданий и сооружений, так и средой, с которой они контактируют, и сырьем для производства строительных материалов. Мощность толщи осадочных пород колеблется в очень широких пределах от 3 м до 5 км.

В зависимости от происхождения они резко отличаются друг от друга.

Посмотрим какие он могут быть по генезису.

Итак, любая порода, находящаяся на поверхности Земли, подвергается действию различных физико-химических и механических процессов и явлений, то есть разрушительному действию воды, ветра, температуры, химических веществ и газов. Такое выветривание обуславливает постепенное разрушение пород с образованием обломков различных размеров и мельчайших частиц. Эти продукты разрушения переносятся ветром и водой и отлагаются в определенных местах, образуя рыхлые скопления или осадки. Накопление продуктов распада происходит как на дне водных бассейнов, так и на поверхности суши. Из них с течением времени и формируются осадочные породы обломочного (гравий, песок) и химического (гипс, каменная соль) происхождения. Значительная часть осадочных пород образуется в результате жизнедеятельности организмов – органогенные породы (уголь, торф).

К группе осадочных пород относятся и обломочные отложения в виде продуктов вулканической деятельности – пирокластические породы (вулканический туф), и обломочные породы смешанного происхождения (известняк).

В силу специфичности условий образования эти породы существенно отличаются от магматических. Это проявляется в химико-минеральном составе, структуре, слоистости, пористости и содержании органического вещества.

Минеральный состав осадочных пород определяют как первичные минералы (кварц, полевые шпаты, слюды), так и вторичные (каолинит, кальцит, гипс). Но в целом минеральный состав пород более беден, чем у маг-

матических и более труден в изучении. Их химический состав очень разнообразен. Это и сульфаты, и карбонаты, и окислы и алюмосиликаты.

Структура осадочных пород обычно обломочная или сцементированная (брекчевидная) (рис. 8). Форма залегания – в виде слоев или пластов (рис. 9).

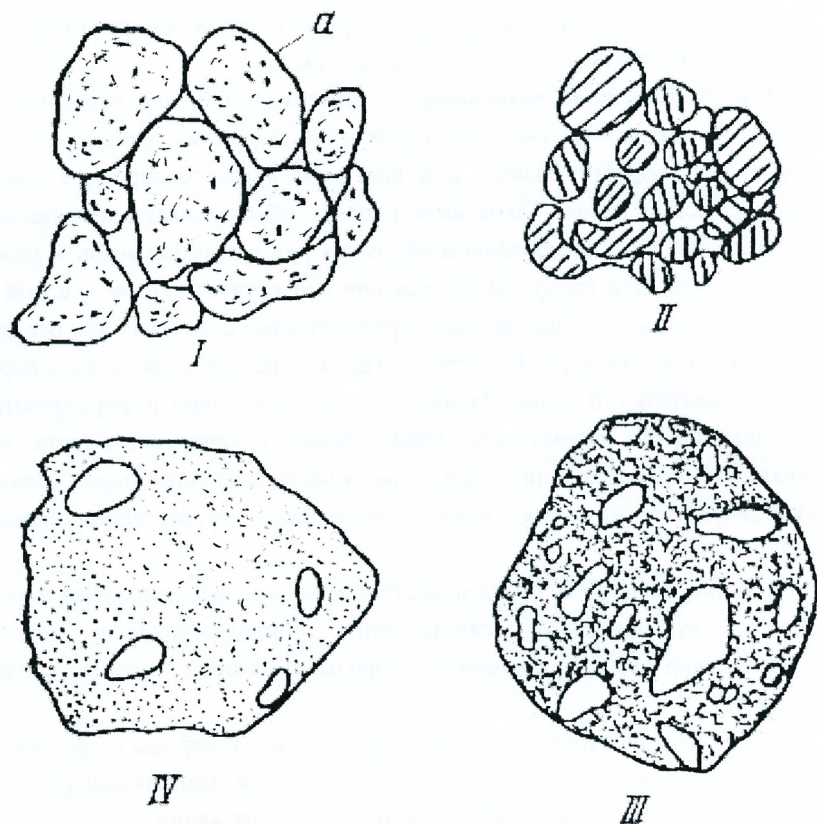


Рис. 8 Схема структур по выделенным классам: I - раздельно-зернистый; II - зернисто-пленчатый; III - агрегативный; IV - слитный; а - пленки на зернах.

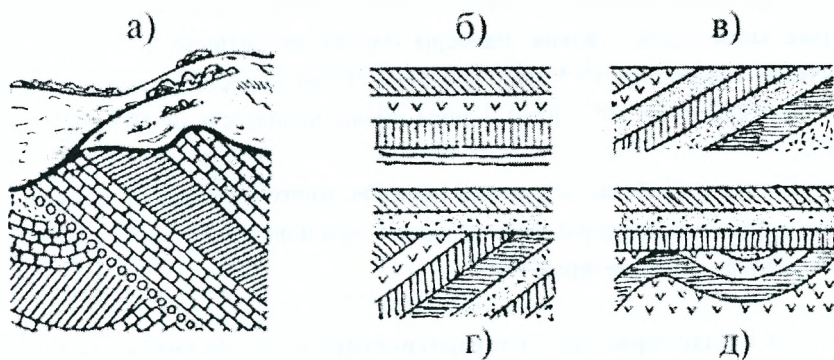


Рис. 9 Формы залегания осадочных пород: а - общий вид; б - однородное слоистое; в - косослоистое; г и д - сложное.

Характерные формы залегания пород в условиях Беларуси видны из рис.10.

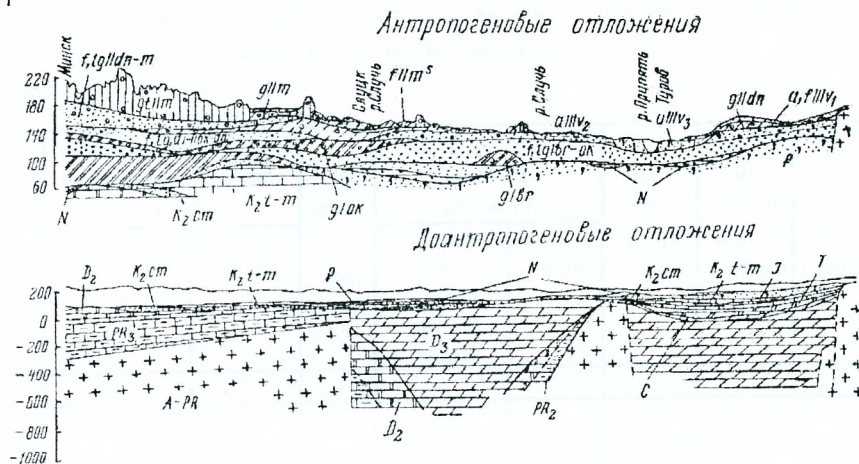


Рис. 10 Формы залегания антропогенных и доантропогенных отложений (горных пород) по геологическому профилю р. Березина (г. Минск), р. Припять (г. Туров).

Пористость типична для всех осадочных пород, за исключением некоторых химических осадков. Размеры пор от мельчайших (0.001 мм) до крупных каверновых (3-5 мм), при этом общая пористость колеблется от 15% (песчаник) до 80% (илы). Глины имеют пористость до 50%, пески до 40%.

Состав и свойства осадочных пород во многом зависят от климатических условий. В тропиках породы имеют красноватый оттенок, а в холодных районах – светло-серые тона.

3.4.1 Классификация и характеристика пород обломочного происхождения

Породы обломочного происхождения состоит из продуктов механического разрушения и по составу эти обломки могут быть представлены породами или отдельными минералами.

В табл. 6 приведена основная классификация обломочных пород.

Классификация обломочных пород

Таблица 6

Класс пород	Размеры обломков и частиц, мм	Градация крупности	Рыхлые породы, сложенные обломками		Величина пористости %	Сцементированные породы, сложенные обломками		Величина пористости %
			окатанными	остроугольными и угловатыми		окатанными	остроугольными и угловатыми	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Грубообломочные	>800	Очень крупные	Валунники	Россыпи и скопления глыб и камней	—	—	—	—
	800-400	Крупные						
	400-200	Средние						

продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
(крупнообломочные породы)	200-100	Мелкие						
	100-60	Крупные	Галечники	Щебень	—	Конгломераты	Брекчии	—
	60-40	Мелкие						
	40-20	Крупные	Гравий	Хрящ				
	20-10	Средние						
	10-4	Мелкие		Дресва				
4-2	Очень мелкие							
Среднеобломочные (песчаные породы)	2-1	Очень крупные	Пески	25-45	Песчаники от очень крупнозернистых до очень мелкозернистых	2-25		
	1-0,5	Крупные						
	0,5-0,25	Средние						
	0,25-0,1	Мелкие						
	0,1-0,05	Очень мелкие						
Мелкообломочные (алевролиты, пылеватые породы)	0,5-0,01	Крупные	Лесс, лессовидные породы	30-65	Алевролиты, каменный лесс	2-30		
	0,01-0,005	Мелкие						
Тонкообломочные (глинистые породы)	0,005-0,001	Грубые	Глины, Тонкие глины	35-75	Уплотненные глины, аргиллиты	2-35		
	<0,001	Тонкие						

Как видно из классификационной таблицы большое значение имеет их деление на рыхлые и сцементированные, угловатые и окатанные. В речных

и морских отложениях преобладают обломки окатанные, а в ледниковых – угловатые.

В состав грубообломочных пород входят как угловатые, так и окатанные обломки различных горных пород. Они формируются в виде рыхлых накоплений со слоистой формой залегания. Наиболее широко распространены в горных районах, речных долинах, морских побережьях и районах ледниковых отложений. Любое строительство связано с широким использованием грубообломочных материалов (щебень, гравий).

Среднеобломочные (песчаные) отложения на 50% состоят из обломков минералов размером от 2 до 0,05 мм.

Пески обычно состоят из группы минералов, устойчивых к выветриванию (кварц, слюды, полевые шпаты). Мономинеральные пески, то есть состоящие из одного минерала (например, кварцевые) встречаются довольно редко. Пески распространены повсеместно и имеют большое практическое значение для строительства.

Следует отметить, что в практике выделяют еще и группу строительных песков, то есть песков, в составе которых отсутствуют вредные примеси (окислы железа, слюды, гипс, глинистые минералы).

Пылеватые и глинистые породы, которые обычно называют “пылевато-глинистые” или “глинистые” породы состоят из пылеватых, глинистых и песчаных частиц. В зависимости от их соотношения, то есть от гранулометрического состава, эти породы называются глинами, суглинками и супесями. Глины – это породы с содержанием глинистых частиц более 30%, суглинки – от 10 до 30%, а супеси – менее 10%.

В природных условиях рыхлые обломочные породы могут не только уплотняться, но и цементироваться, с образованием цементированных пород. Цементация осуществляется цементирующим веществом, которое выделяется из циркулирующих водных растворов. По своему составу цементирующее вещество может быть – кремнеземистым, известковым, железистым и глинистым. Наиболее прочным является кремнеземистый цемент, а менее прочным, размокающим в воде, – глинистый.

Рассмотрим основные характеристики наиболее распространенных цементированных пород.

Брекчии и конгломераты представляют собой сцементированные щебень или гальку. Плотность их достигает до 3 г/см^3 , а прочность колеблется от $5 \cdot 10^3$ до $160 \cdot 10^3$ кПа. Такие колебания связаны с взаимоотношением зерен и цемента и с видом цементирующего вещества.

Необходимо различать три типа цементации – базальный, где обломки как бы рассеяны в цементирующем веществе; контактовый – где цементация характерна только для плоскости контакта; поровый – где цементирующее вещество заполняет только поры между обломками (рис. 11).

При цементации песков образуются песчаники. Наиболее прочны и устойчивы к выветриванию песчаники с кремнеземистым цементом. Плотность – $1,8 - 2,5 \text{ г/см}^3$, а прочность от $0,5 \cdot 10^4$ до $200 \cdot 10^4$ кПа. Окраска самая различная – от светло-серой до бурой.

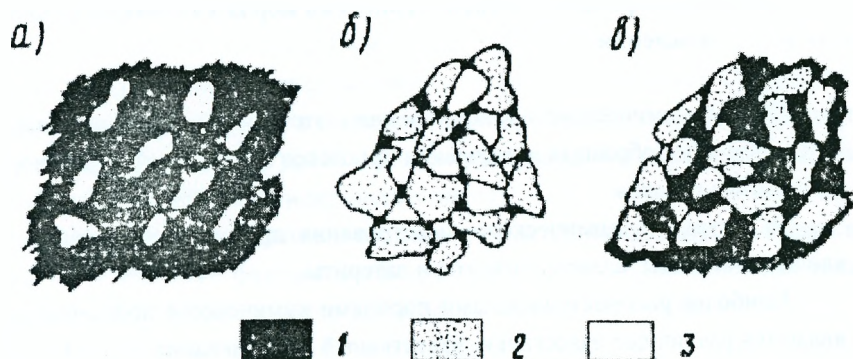


Рис. 11 Типы цементации горных пород: а - базальный; б - контактовый; в - поровый. 1 - цементирующее вещество; 2 - частицы породы; 3 - незаполненные поры.

Если происходит цементация суглинков, то образуются алевролиты, представляющие собой плотную монолитную породу, не размокающую в воде. По строительным свойствам алевролиты близки к песчаникам.

При цементации глины образуются аргиллиты в виде темных, камнеподобных массивов. Хотя они и не размокают в воде, но в строительстве их относят в группу малопрочных строительных камней.

Из твердых вулканических продуктов (пепла и песка) на поверхности Земли формируются накопления с признаками как магматического, так и метаморфического происхождения, которые относятся к группе пирокластических пород (вулканические пеплы и вулканические туфы).

Вулканические пеплы представляют собой рыхлые и слабо-цементированные неоднородные скопления из пыли, песка, вулканического стекла и кусков горных пород.

Вулканические туфы состоят из обломков излившихся пород и магматических минералов, сцементированных пепловым материалом. Плотность их обычно не превышает $1,4 \text{ г/см}^3$, пористость достигает до 70%, а прочность в пределах $0,8 \cdot 10^4 - 70 \cdot 10^4 \text{ кПа}$.

3.4.2 Классификация и характеристика пород химического происхождения

Породы химического происхождения – это породы, образовавшиеся в результате разнообразных химических процессов и выпадения из растворов химических осадков.

В результате химического выветривания других пород образуются каолины, бокситы, аллиты, сиалиты и латериты.

Наиболее распространенными породами химического происхождения являются различные известняки, известковый туф, ангидрит, доломит, гипс и каменная соль. Общим для них всех является растворимость, наличие пустот и трещиноватость.

Известняки по происхождению могут быть – обломочные, органогенные, хемогенные и смешанные.

Обломочные известняки состоят из обломков известкового материала, сцементированных зернистым кальцитом (известняк-ракушечник и писчий мел).

Органогенные известняки образуются за счет накопления известковых остатков организмов. Если органогенные известняки состоят из раковин

моллюсков и водорослей, то мел – из мельчайших организмов (фораминифер) и порошкообразного кальцита.

Хемогенные известняки (известковые туфы и оолитовые известняки) возникают при осаждении карбонатов из водных растворов. Известковые туфы представляют собой неслоистые отложения, образующиеся на склонах, в местах выхода подземных вод. В сухом виде их прочность достигает $8 \cdot 10^4$ кПа. Оолитовые известняки сложены из мелких зерен кальцита, сцементированных кальцитовым цементом. Формируются они обычно на дне морей в виде пластов, поэтому имеют очень низкую прочность – до $2 \cdot 10^4$ кПа.

Смешанные известняки имеют самое широкое распространение, особенно мергель. Эта порода обычно имеет светлый цвет и состоит из карбонатов и глинистых минералов. Залегают мергель большими толщами. Их свойства зависят от содержания глинистых примесей. Плотность мергеля до $2,5 \text{ г/см}^3$, а прочность не более $6 \cdot 10^4$ кПа. На воздухе они быстро выветриваются, растрескиваются и разрушаются, при этом могут даже перейти в грязеподобную массу.

Доломиты состоят из таких минералов как доломит, кальцит, гипс и кварц. Окраска – от белой до красноватой, структура – плотная зернистая, плотность – $2,8 \text{ г/см}^3$, прочность не более $14 \cdot 10^4$ кПа. наиболее прочными являются кремнистые доломиты.

Гипс состоит в основном из таких минералов как гипс, ангидрит и каолин. Окраска от белой до зеленой, структура мраморовидная, крупнозернистая и волокнистая. Плотность – $2,2 \text{ г/см}^3$, прочность – $2 \cdot 10^4$ кПа. Вместе с гипсом всегда залегают ангидриты, которые представляют собой обезвоженный гипс. Плотность ангидрита – $2,92 \text{ г/см}^3$, прочность до $8 \cdot 10^4$ кПа.

Каменная соль состоит из галита, залегают в виде слоев и залежей больших размеров.

3.4.3 Классификация и характеристика пород органогенного происхождения

Породы органогенного происхождения образуются в результате накопления и преобразования остатков животного (зоогенные) и растительного (фитогенные) миров.

Для всех их характерна значительная пористость, сильная сжимаемость и растворимость в воде.

Наиболее распространенные зоогенные породы – известняк-ракушечник, диатомит, мел, нефть, асфальт, а фитогенные – опока, трепел, торф и каменный уголь.

Диатомит – очень пористая, слабосцементированная порода серо-белесого цвета, состоит из остатков диатомитовых водорослей с примесью глинистых минералов. Общее содержание кремнезема до 95%.

Схожей породой, но с малым содержанием неизмененных органических остатков, является трепел. Трепел – легкая, землистовидная порода, состоящая из опала и глинистых минералов с плотностью не более 1 г/см^3 .

Диатомиты и трепелы обычно залегают слоями. Специфическими особенностями являются огнеупорные, кислотоупорные, звуко- и теплоизоляционные свойства.

Опока – кремнистая пористая порода, с таким же составом, как трепел, но более плотная и крепкая. Внешне опока похожа на мергель, залегают пластами. Характеризуется раковистым изломом.

Торф – порода, образовавшаяся под водой без доступа воздуха из разлагающихся растительных осадков, перемешанных с песчаными и глинистыми частицами. Порода очень пористая, влагоемкая (до 400%), сильно сжимаемая, залегают слоями и линзами, плотность не более 1 г/см^3 , окраска черная до бурой.

Железистые породы – это оолитовые и бобовые руды в виде шаровидных скоплений. Состоят из гидроокислов железа, накапливающихся в болотах, озерах и морях.

3.5 КЛАССИФИКАЦИЯ, ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛАВНЕЙШИХ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД

Цикл эндогенных и экзогенных процессов не заканчивается образованием магматических и осадочных пород. Он проявляется и в метаморфизме, под которым понимается совокупность физико-химических процессов, которые ведут к изменению горных пород, после их образования. При этом породы остаются в твердом состоянии, хотя имеют и вторичное происхождение.

Основными факторами метаморфизма являются высокие температура, давление и химически активные вещества. Эти факторы вызывают изменения как химического и минералогического состава, так и структуры первичных (исходных) пород.

Наиболее характерными минералами для магматических пород являются слюды, полевые кварцы, тальк, хлориты, амфиболы. Структура – обычно кристаллическая, а текстура – сланцеватая (минералы располагаются слоями), зернистая (с преобладанием зерен овальной формы) и гнейсовая (чередование сланцевых и зернистых полос).

Степень метаморфизма и его типы самые разнообразные. Но в зависимости от ведущего фактора метаморфизма различают три основных типа: контактовый, динамометрический и региональный метаморфизм.

Контактовый метаморфизм развивается на контакте между внедрившейся магмой и вмещающими ее горными породами. Высокая температура, действие газов и паров приводит к коренному изменению вмещающих пород, которые превращаются в породы зернистого вида – кварцит и мрамор.

Динамометрический метаморфизм развивается под действием высокого давления, возникающего от массы вышележащих пород или горообразовательных процессов. При этом образуются сланцеватые породы типа глинистых сланцев.

Региональный метаморфизм проявляется в глубине земной коры и на больших площадях. Толщу пород, где происходит этот процесс, называют поясом метаморфизма, в котором выделяют три зоны: верхняя, средняя и нижняя.

Основные метаморфические изменения пород в различных зонах даны в таблице 7.

Примеры изменения пород по поясам и зонам земной коры

Таблица 7

Пояс	Зона	Породы				
Осадочных пород	Выветривания	Кварцевый песок	Глина	Известняк	Мергель	Торф
	Цементации	Песчаник	Аргиллит	Полукристаллический известняк	Известковый сланец	Каменный уголь
Метаморфизма	Верхняя	Кварцитовидный песчаник	Филлит	Мелкозернистый мрамор	Известковый филлит	Антрацит
	Средняя	Кварцит	Слюдистый сланец	Среднезернистый мрамор	Слюдистый сланец	Графит
	Нижняя	Перекристаллизованный кварцит	Гнейс	Крупнозернистый мрамор	Гнейс силикатный	Алмаз

Однако, следует иметь в виду, что минеральный состав метаморфических горных пород зависит только от минерального состава исходной породы. Поэтому из известняков гнейс никогда не сможет образоваться.

Основную классификацию метаморфических горных пород производят по структурно-текстурным признакам (массивные зернистые и сланцеватые) и минеральному составу.

Основные представители массивных зернистых пород – мрамор и кварцит, а сланцеватых – гнейс и сланцы.

Мрамор – кристаллическая порода, сложенная кальцитом и доломитом. Окраска от белой до голубой. Плотность до $2,8 \text{ г/см}^3$, а прочность – до $120 \cdot 10^4 \text{ кПа}$. Они легко выветриваются и легко поддаются обработке.

Кварциты состоят из кварца с примесью слюды и хлорита, поэтому их окраска от розовой до желтой. Порода очень твердая, плотность до 3 г/см^3 ,

а прочность – до $250 \cdot 10^4$ кПа. Обрабатываются с трудом. Устойчивость кварцита к разрушению характеризует нижеследующая таблица (табл. 8).

Долговечность камня в городских условиях (в годах)

Таблица 8

Породы	Начало разрушения	Окончание разрушения
Кварциты	220-475	1625
Граниты	75-350	650-1625 и более
Мраморы	20-135	100-1200

Гнейс – конечный продукт метаморфизма светло-серой или зеленой окраски. Минеральный состав – кварц, полевые шпаты, роговая обманка, слюды. Структура – кристаллическая, текстура – полосчатая, плотность $2,8 \text{ г/см}^3$, прочность $18 \cdot 10^4$ кПа.

Сланцы могут образовываться из самых различных пород. Однако, наиболее распространены – глинистые, тальковые, хлоритовые, слюдяные и филлитовые. Для них характерна сильная сланцеватость и легкая раскалываемость. Прочность от $0,5$ до $15 \cdot 10^4$ кПа. Специфические свойства – огнеупорность, теплоизоляция и пластичность.

Рассмотрим характеристики наиболее распространенных и наиболее значимых для инженера-строителя горных пород.

Габбро – магматическая эффузивная горная порода, представляющая собой продукт остывания и кристаллизации базальтовой магмы. Содержит плагиоклазы, пироксены, оливины и амфиболы. Порода темноцветная с полосчатой текстурой.

Андезит – эффузивная горная порода, состоящая из плагиоклаза, пироксена, роговой обманки и вулканического стекла. Цвет темный до черного. Плотность – $2800-3000 \text{ кг/м}^3$. Применяется как кислотоустойчивый материал и строительный камень.

Диорит – интрузивная горная порода, состоящая из плагиоклаза, роговой обманки, иногда кварца. В Беларуси вместе с другими породами образует месторождение строительного камня (Миашевичское, Синкевичское,

Ланское). Структура, в основном, мелкозернистая а текстура – массивная или полосчатая. Цвет серый до черного. Порода очень твердая и прочная.

Гнейс – метаморфическая горная порода, близкая по составу к гранитам. В Беларуси распространен среди архейских пород в Припятском прогибе, Микашевичско-Житковичском выступе. Вместе с другими породами образует месторождения строительного камня (Глушковичское, Житковичское и др.). В составе преобладают кварцы, полевые шпаты и другие темнокрасные металлы. Характерна сланцеватость. Цвет серый до темного.

Трепел – рыхлая или слабосцементированная, очень легкая, тонкопористая осадочная порода. В Беларуси месторождения трепела приурочены к меловым отложениям. Разведанные запасы превышают 200 млн. т. Сложен трепел до 80% мелкими (0,01-0,02 мм) опаловыми, реже халцедоновыми частицами и зернами глауконита, кварца и полевых шпатов. Цвет от белого до черного, в зависимости от примесей. Твердость 1-3, плотность 2000-3000 кг/м³. Происхождение – биохимическое. Используется как изоляционный, адсорбирующий и строительный материал.

Опока – легкая, твердая, микропористая осадочная горная порода, сложенная аморфным кремнеземом, с примесью глинистого вещества, глауконита и кварца. Содержание SiO₂ – 92-98%. Встречается в верхнемеловых отложениях Гомельской области. Излом неровный, раковистый. Цвет от светлого до черного. Плотность 1100-1800 кг/м³. Используется при производстве цемента и как теплоизоляционный и адсорбирующий материал.

Алевриты и алевролиты представляют собой рыхлые осадочные породы, состоящие более чем на 50% из частиц размером 0,01-0,1 мм, сцементированных глинистыми, карбонатными, железистыми и другими минералами.

Амфиболиты – сланцеватая или массивная метаморфическая порода, состоящая из роговой обманки и плагиоклаза. Цвет от темно-зеленого до черного. Плотность 2700-3200 кг/м³. Широко применяется как облицовочный и поделочные камни.

Аргиллит – твердая камнеподобная глинистая порода, образовавшаяся из глины в результате уплотнения, дегидратации и частичной перекристаллизации.

зации глинистых минералов. По минералогическому и химическому составу сходен с глинами. Отличия – большая твердость и неспособность размокать в воде. Подобно глинам образует массивные пласты или плитчатые разновидности.

Мел – осадочная порода в виде тонкозернистых, мягких белых известняков, состоящих из обломков скелетов известковых водорослей и нерастворимых минералов. В Беларуси породы приурочены к отложениям меловой системы. Разведанные запасы 0,5 млрд. т., а перспективные – до 300 млрд. т. Промышленные месторождения мела в основном находятся в восточной части республики, где распространены коренные отложения на глубине 5-20 м. На их базе работают цементно-шиферные и известковые производства (г. Кричев и Климовичи).

Известняк – осадочная горная порода, сложенная из карбоната кальция, арагонита с включением различных примесей. Распространенный в Беларуси известняк (писчий мел) сложен преимущественно кальцитовыми осадками морских водорослей. Под влиянием процессов метаморфизма в некоторых системах из него образовались мраморы. В Витебской области широко разрабатываются месторождения доломитизированных известняков.

Доломит – осадочная порода, сложенная на 90 и более процентов одноименным минералом. Образует хорошо ограненные ромбоэдрические кристаллы. Цвет серовато-белый с различными оттенками. Блеск стеклянный. В Беларуси известно десять месторождений доломита (Витебская область). Коренные месторождения залегают на глубине до 10 м в виде пластов с однородным строением и химическим составом. Наибольшее промышленное значение имеет месторождение Руба (ПО "Доломит") с общим запасом около 1 млн. т. Широко используется как строительный материал и как сырье для производства щебня, вяжущих и термоизоляционных материалов.

Гравий – рыхлая горная порода, состоящая из окатанных обломков горных пород и минералов размерами от 1 до 10 мм. По размерам зерен делится на мелкий (1-2,5 мм), средний (2,5-5,0 мм) и крупный (> 10 мм). По происхождению может быть флювиогляциальным, конечно-моренным и

аллювиальным. По составу самый разнообразный. Чаще всего состоит из 20-30% гранита, 30-60% известняка и 5-25% полевого шпата и кварца. В чистом виде скопления очень редки. В основном встречается в республике в смеси с песками, галькой и валунами.

Галька – окатанные обломки горных пород размером от 1 до 10 см разнообразного генезиса. Часто связана природным цементом и образует галечник. В Беларуси галька выявлена в слоях грубообломочного материала рифея и венда, в отложениях пермской, триасовой, палеогеновой и неогеновой системах. В антропогеновых отложениях Беларуси галька очень разнообразна: 50-70% ее образовалось из известняка и доломита, 20-30% – из гранита, 2-10% из гнейса и 1-7% – из песчаника. Используется как строительный материал.

Пески – мелкообломочная рыхлая осадочная порода, состоящая из округлых и угловатых зерен (песчинок) различных минералов и обломков горных пород размером от 0,05 до 2,0 мм. Чаще всего содержит примеси пылеватых и глинистых частиц. По условиям образования пески могут быть флювиогляциальными, речными, морскими и озерными, а по минералогическому составу – кварцевые, полевошпатово-кварцевые, глауконитовые, слюдястые и др. Наиболее крупные месторождения песков на территории Беларуси охарактеризованы в табл. 9.

Наиболее крупные песчаные месторождения

Таблица 9

Название Месторождения	Местонахождение (район)	Мощность, м	Запасы, млн. м ³ .	
			Разведанные	Перспективные
Березинское	Бобруйский	5-12,1	15,2	7,8
Бережновское	Столинский	5-19	90,6	160
Вересы	Смолевичский	17-39	20,6	47,6
Знаменское	Добрушский	3,5-18,7	43,6	59,7
Мухавецкое	Брестский	3-19,7	24,2	15,4
Линеневское	Минский	2,2-31,2	78,2	84,0
Синее	Осиповичский	2,2-11,6	18,7	60,2
Тартаковское	Барановичский	1,5-18,3	25,0	45,6

Глины – пластичные осадочные породы более чем на 50% сложенные глинистыми минералами каолинита, монтмориллонита, гидрослюда и др. размером менее 0,005мм. Окаменевшие глины, не размокающие в воде, образуют аргиллиты. В виде примесей в глинах присутствуют кварц, полевой шпат, хлорит, кальцит и окислы железа. Цвет от белого до черного и зависит от содержания примесей. Глины бывают каолиновые, монтмориллонитовые (бентанитовые), палыгорскиевитые и гидрослюдистые. По происхождению они могут быть элливиальные, осадочные (континентальные, морские и лагунные) и гидротермальные. Калионитовые глины тугоплавкие и огнеупорные, монтмориллонитовые – вязущие и адсорбционные, гидрослюдистые – пластичные и поэтому наиболее пригодные для производства кирпича и керамзита. Глины являются почвообразующими породами и как водоупорные породы обеспечивают накопление и охрану от загрязнения грунтовых и подземных вод. В Беларуси встречаются в отложениях всех геологических систем и составляют 25-30% всего объема осадочных горных пород. Мощность отложений до 300м. В табл. 10 приведены крупнейшие месторождения глин на территории Беларуси.

Наиболее крупные месторождения глин

Таблица 10

Название месторождения	Местонахождение (район)	Мощность, м	Запасы, млн. м ³ .	
			Разведанные	Перспективные
Будковское	Ельский	10-32	48,4	80,3
Голбица	Поставский	2,6-24	35,2	75,0
Зарянское	Буда-Кошел.	3,5-11,2	5,1	5,0
Лукомское	Чашкинский	1,5-33,4	19,4	110,7
Подземное	Кобринский	3-11	16,0	5,0
Щебринское	Брестский	4-19	9,0	3,7
Журавлевское	Столинский	0,9-5,8	7,4	2,6
Гайдуховское	Минский	1,5-25,5	31,9	36,1

Лессовидные отложения – осадочные породы, внешне напоминающие лессы, но отличающиеся от них типичной формой слоистости и наличием тонких прослоек песков и супесей. В Беларуси выделено семь районов распространения лессовидных отложений, занимающих около 14% территории. По составу они относятся к суглинкам и супесям, содержат до 85% пылеватых, 15-30% песчаных и 5-60% глинистых частиц. Мощность отложений от 0,5 на повышенных участках до 10 м и более на пониженных. Цвет серо-желтый. Легко размываются сильными дождями и обваливаются сплошными стенами по склонам холмов и обрывов.



Рис. 12 Ключ-определитель для магматических (а) и осадочных и метаморфических (б) горных пород.

Определение магматических, осадочных и метаморфических горных пород целесообразно осуществлять по следующему ключу- определителю (рис. 12).

3.6 ГОРНЫЕ ПОРОДЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ИХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ

Инженерно-геологическая классификация пород должна обеспечить их инженерно-геологическую характеристику как строительного материала, так и как основания зданий и сооружений, и дать оценку условий производства горных работ.

Общая классификация по инженерно-геологическим параметрам имеет вид (табл. 11):

Классификация пород по общим инженерно-геологическим параметрам

Таблица 11

Тип	Инженерно-геологические параметры
1	2
I. Твердые 1) Скальные 2) Полускальные	Прочность на сжатие, растворимость в воде, генезис, степень выветрелости, трещиностойкость и другие.
II. Рыхлые 1) Несвязные 2) Связные 3) Органические 4) Искусственные	Грансостав, плотность, влажность, генезис Пластичность, консистенция, пористость, размягчаемость, просадочность, генезис Содержание и степень разложения органического вещества, генезис Состав и плотность сложения

Все горные породы, обладающие жесткими связями, высокой прочностью и большой несущей способностью являются хорошими основаниями зданий и сооружений.

Многие горные породы применяют в качестве строительных материалов.

Поэтому инженеру-строителю необходимо знать технические свойства горных пород. Под техническими свойствами следует понимать такие свойства горных пород, которые характеризуют их при разработке, переработке и применению в качестве строительного материала или сырья в промышленности.

Классификация технических свойств приведена в таблице 12.

Классификация технических свойств горных пород

Таблица 12

Инженерно-геологическая классификация	Технические свойства	Область применения
1	2	3
Скальные породы, устойчивые к выветриванию и водорастворимые	Водопоглощение, морозостойкость, устойчивость к выветриванию, способность к резке, шлифовке и полировке	Тесовый и декоративный камень
Скальные породы, преимущественно устойчивые к выветриванию и несвязные рыхлые породы	Качество поверхности, форма зерен, морозостойкость, устойчивость к выветриванию	Заполнители для бетонов и строительных растворов
Скальные породы, устойчивые к выветриванию и несвязные рыхлые породы	Прочность на истирание, сцепляемость с цементом, способность к приданию формы	Заполнители и балластный материал
Скальные породы и связные рыхлые породы	Размалываемость, зернистость, клейкость, усадка, содержание вредных примесей	Сырье для керамической промышленности, производство огнеупоров и вяжущего
Несвязные рыхлые породы	Размер зерен, характер поверхности, содержание вредных примесей	Сырье для стекольного производства

На рис. 13 дана сравнительная характеристика предела прочности при сжатии (несущей способности) основных пород и строительных материалов из них, а в табл. 13 важнейшие свойства и область их применения.

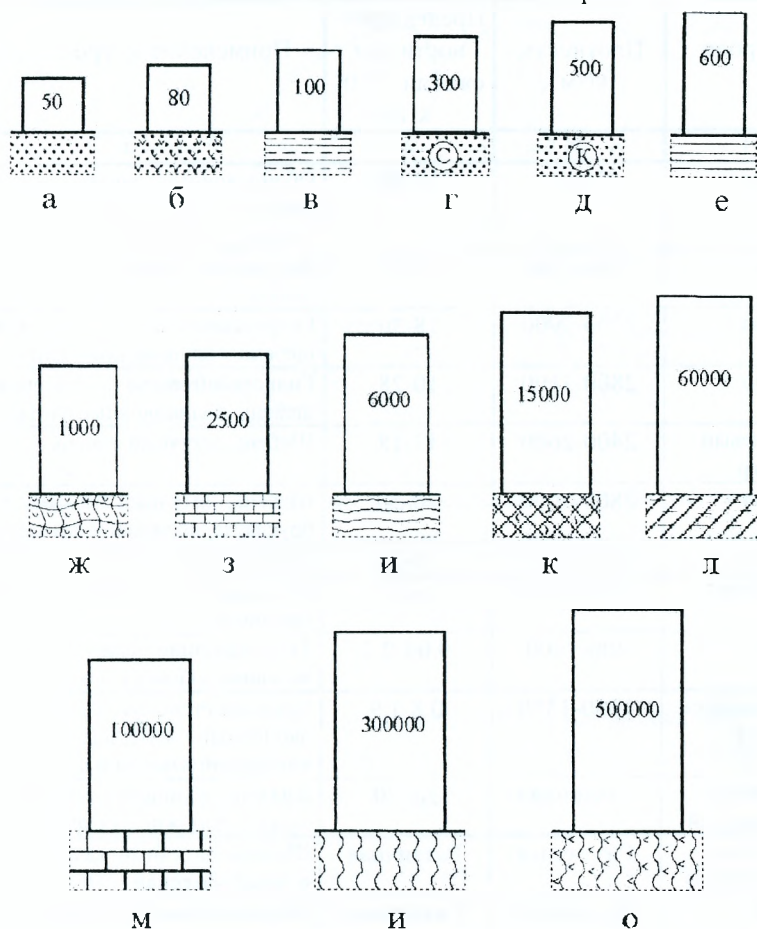


Рис. 13 Предел прочности при сжатии (несущая способность) горных пород и материалов из них (кПа): а - песок рыхлый; б - насыпные грунты; в - влажные глины; г - песок средней плотности; д - песчано-галечниковые плотные грунты; з - известняк-ракушечник; и - песок силикатизированный; к - вулканический туф; л - кирпич; м - бетон; н - гранит, о - базальт.

Важнейшие свойства и область применения горных пород

Таблица 13

Порода	Плотность, кг/м ³	Предел проч- ности при сжатии, $1 \cdot 10^4$ кПа	Применение в строительстве
1	2	3	4
Гранит	2600	10-30	Облицовочные плиты, лестничные ступени, полы, бортовые камни, щебень, памятники
Сиенит	2400-2900	15-20	Дорожные камни, облицовочные плиты
Диорит	2700-2900	18-30	Гидротехнические сооружения, щебень, облицовочные плиты
Габбро	2800-3100	10-28	Гидротехнические сооружения, щебень, облицовочные плиты
Кварцевый порфир	2400-2600	13-18	Щебень, штучный камень
Диабаз	2800-3000	20-30	Щебень, штучный камень, плиты, брусчатка, облицовочный материал
Базальт	2700-3300	10-50	Дорожные покрытия
Порфирит	2200-2800	6-24	Облицовочный материал, щебень, брусчатка
Пемза	400-1400	0,04-0,2	Теплоизоляционный материал, активная добавка к цементу
Вулканический туф	1250-1350	0,8-1,9	Крупные стеновые блоки, теплоизоляционный материал, добавки к воздушной извести и цементу
Песчаник кремнистый	Различная	До 20	Щебень, облицовка опор мостов и зданий, дорожные покрытия
Конгломерат, брекчия	Различная	Различная	Щебень, штучный камень, облицовочный материал
Гипс	Различная	Различная	Облицовочный материал внутренних стен зданий
Ангидрит	Различная	Различная	Облицовочный материал внутренних стен зданий, вяжущие материалы
Известковый туф	Различная	Различная	Штучный камень, щебень

1	2	3	4
Известняк	1700-2600	1-10	Щебень, облицовочные плиты, известь, портландцемент
Филлит	-	-	Кровельные сланцы
Известняк-ракушечник	900-2000	0,04-1,5	Стеновые камни и блоки, заполнитель легких бетонов
Доломит	Различная	Различная	Щебень, облицовочные плиты, вяжущие материалы
Мел	Различная	Различная	Малярные работы, замазка, известь, портландцемент
Трепел, диатомит	400-1200	Различная	Теплоизолирующие материалы, легкий кирпич, вяжущие, активные минеральные добавки
Глинистый сланец	Различная	Различная	Кровельный материал
Гнейс	Различная	Различная	Бутовый камень
Мрамор	Различная	30	Облицовка внутренних стен
Кварцит	Различная	40	Облицовка зданий, опор мостов
Песок и гравий с содержанием не более 1-2% частиц мельче 0.1 мм			Заполнители бетонов

3.7 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ХРОНОЛОГИИ

Для оценки свойств пород и определения их положения среди других, большое значение имеет установление возраста горных пород, ибо все породы, образовавшиеся в одно и тоже время и в примерно одинаковых условиях, обладают обычно одинаковым составом. Если близость условий их развития сохранилась и в последующем, то для них будут характерны и одинаковые строительные свойства.

На основании общепринятых международных единиц стратиграфии и относительной геохронологии у нас созданы сводные стратиграфические и геохронологические шкалы (табл. 14).

Следует различать абсолютный и относительный возраст горных пород. При этом, если абсолютный возраст определяет сколько лет прошло с

момента образования породы, то относительный – устанавливает, какие породы древнее, а какие моложе, т.е. устанавливает их положение относительно друг друга по вертикали, что позволяет установить сущность геологических процессов и проследить их историю во времени и пространстве.

Стратиграфическая и геохронологическая шкалы

Таблица 14

Эра (группа)	Период (система)	Эпоха (отдел)	Длительность периода, млн. лет	Этапы развития органического мира
1	2	3	4	5
Кайнозойская <i>Kz</i>	Антропоген четвертичный <i>Q</i>	Голоцен (современный) Q_4 Плейстоцен: поздняя (верхний) Q_3 средняя (средний) Q_2 ранняя (нижний) Q_1	1,0	Расцвет млекопитающих, птиц, рыб и появление человека
	Неоген <i>N</i>	Плиоценовая (верхний) N_2 Миоценовая (нижний) N_1	25	
	Палеоген <i>P</i>	Олигоценовая (верхний) P_3 Эоценовая (средний) P_2 Палеоценовая (нижний) P_1	41	Повсеместное распространение млекопитающих
	Мел <i>K</i>	Поздняя (верхний) K_2 Ранняя (нижний) K_1	70	Вымирание крупных рептилий
Мезозойская <i>Mz</i>	Юра <i>J</i>	Поздняя (верхний) J_3 Средняя (средний) J_2 Ранняя (нижний) J_1	58	Появление птиц, массовое развитие хвойных и появление млекопитающих
	Триас <i>T</i>	Поздняя (верхний) T_3 Средняя (средний) T_2 Ранняя (нижний) T_1	45	

продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5
Палеозойская поздняя P_z	Пермь P	Поздняя (верхний) P_2 Ранняя P_1	50	Вымирание палеозойских животных
	Карбон C	Поздняя (верхний) C_3 Средняя (средний) C_2 Ранняя (нижний) C_1	70	Появление рептилий и хвойных растений
	Девон D	Поздняя (верхний) D_3 Средняя (средний) D_2 Ранняя (нижний) D_1	70	
Палеозойская ранняя P_z	Силур S	Поздняя (верхний) S_2 Ранняя (нижний) S_1	36	Развитие панцирных рыб и появление папоротников
	Ордовик O	Поздняя (верхний) O_3 Средняя (средний) O_2 Ранняя (нижний) O_1	70	
	Кембрий $\mathcal{E}$	Поздняя (верхний) $\mathcal{E}_3$ Средняя (средний) $\mathcal{E}_2$ Ранняя (нижний) $\mathcal{E}_1$	80	Выход животных на сушу
Протерозойская PR_t	Поздний PR_3 Средний	Венд V	110	Водоросли и простейшие животные
		Рифей: R_1 R_2 R_3	400	
	Ранний PR_1		600	
Архейская A_z	Верхний AR_2 Нижний AR_1		700 Более 1500	Бактерии и одноклеточные водоросли

Примечание. Слова в скобках относятся к стратиграфической шкале

Для определения абсолютного возраста используют радиоактивные методы, основанные на знании скорости радиоактивного распада, т.е. определив относительное количество содержащегося в породе исходного радиоактивного вещества и количество продуктов распада, можно найти время прошедшее с начала образования данной породы (минерала).

Например, знание содержания урана и продукта его распада – свинца, определяет возраст пород в миллионах лет, а урана и радиоактивного углерода – в тысячах лет.

Для определения относительного возраста имеется большое число методов – стратиграфический, петрографический, тектонический и палеонтологический.

Стратиграфический метод основан на том, что слои горных пород откладываются последовательно, один на другом. Следовательно, чем выше залегает слой, тем он моложе. Однако это справедливо только при ненарушенных залеганиях горных пород.

Петрографический метод основан на детальном изучении состава горных пород, слагающих земную кору. Он широко используется при определении относительного возраста изверженных и осадочных пород.

Палеонтологический метод основан на том, что геологическая история Земли шла параллельно с историей развития органической жизни.

На основании изучения ископаемых организмов в комплексе с другими методами исторической геологии все известные в пределах современных континентов отложения удалось подразделить на ряд крупных стратиграфических единиц, носящих название групп. Группы подразделяются на более мелкие единицы – системы; системы – на отделы; отделы – на ярусы; ярусы – на зоны. За каждой выделенной стратиграфической единицей было закреплено время ее образования. Так, группа соответствовала эре, система – периоду, отдел – эпохе, ярус – веку, зона – времени.

Геологическая история развития Земли началась с архейской эры, перешедшей в протерозойскую, когда появились первые осадочные породы. Их общая продолжительность более 3 млрд. лет. На долю всех остальных эр (палеозойской, мезозойской и кайнозойской) приходится не более 30% всей известной геологической истории земной коры.

Однако, вместе с тем, докембрийские отложения занимают на поверхности континентов небольшие площади (рис. 14).

Каждый отрезок времени геологической истории и соответствующая ему толща пород имеет свой индекс (*Mz* – мезозойская, *Kz* – кайнозойская, *Q* – четвертичный период, *J* – юрский период и т.д.). При расчленении пе-

риода на эпохи к индексу периода добавляется цифра (T_1 – триасовый период нижняя эпоха, T_3 – то же, но верхняя эпоха). При расчленении эпохи на века к индексу добавляется еще ряд цифр и букв (K_2^{dal} – датский век верхне-меловой эпохи).

Несколько иные обозначения используются для четвертичного периода. Эпохи обозначаются римскими цифрами, а перед индексом ставятся буквы, указывающие на условия образования породы (mQ_1^6 – порода морского происхождения, древнечетвертичной эпохи, бакинского века).

Наиболее характерные генетические комплексы четвертичных отложений, это – ледниковые (g), водноледниковые (f), аллювиальные (a), озерно-аллювиальные (al), озерные (l), озерно-ледниковые (lg), болотные (b), морские (m), золовые (v), делювиальные (d), элювиально-делювиальные (ed), пролювиальные (ap), элювиальные (e), коллювиальные (c), делювиально-коллювиальные (dc), солифлюкционные (s), делювиально-солифлюкционные (ds), лессовые грунты (Lsa).

Индексы, отражающие возраст и условия образования горных пород используются для геологических карт и разрезов, которые широко применяются при проектировании и в строительстве.

В геологическом отношении территория Беларуси расположена на западе Русской плиты – наиболее крупной геотектонической структуры Восточно-Европейской платформы (рис. 15). В разрезе земной коры здесь четко выделяются два геоструктурных этажа: нижний – кристаллический фундамент и верхний – платформенный чехол.

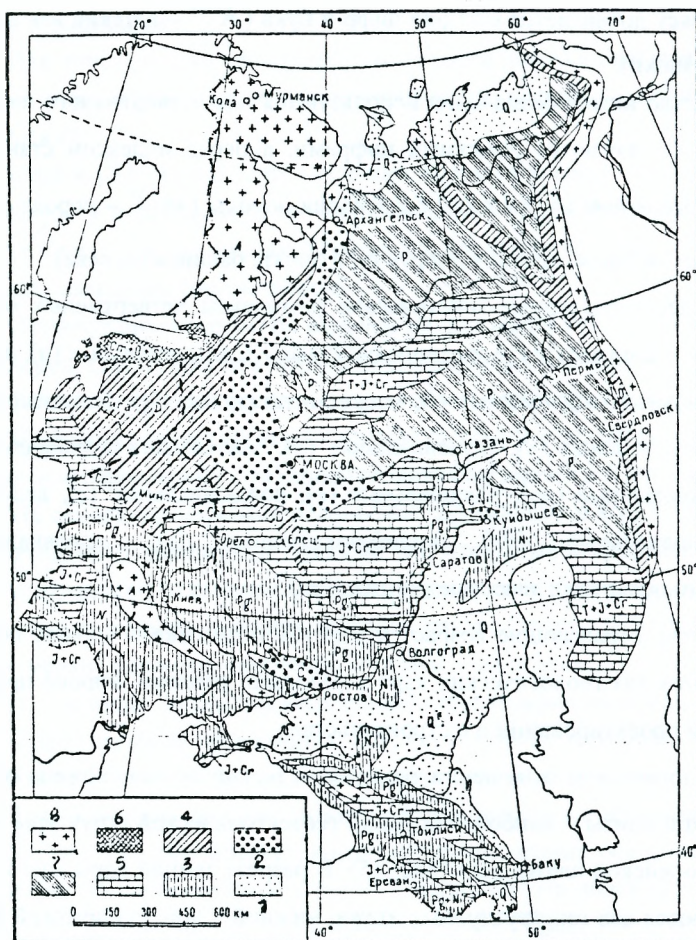


Рис. 14 Схематическая геологическая карта Европейской части СНГ:
 1 - четвертичные отложения; 2 - неогеновые и палеогеновые отложения;
 3 - меловые и юрские отложения; 4 - отложения перми и триаса; 5 - кар-
 боновые отложения; 6 - девонские отложения; 7 - отложения силура и
 кембрия; 8 - докембрий (архей, протерозой).



Рис. 15 Схема тектонического районирования территории Беларуси. Условные границы структурных элементов: 1 – крупнейших, 2 – крупных (I порядка), 3 – средних (II порядка); платформенные разломы: 4 – суперрегиональные, 5 – региональные, 6 – субрегиональные и локальные.

В геологическом отношении территория Беларуси расположена на западе Русской плиты – наиболее крупной структуры Восточно-Европейской платформы. В разрезе земной коры выделяются два геоструктурных этажа: нижний – кристаллический фундамент и верхний – платформенный чехол.

Следует отметить, что для некоторых районов характерен выход на дневную поверхность кристаллического фундамента. На рис.16 показан фотоснимок такого выхода (Лельчицкий район), на базе которого работает карьер "Надежда".



Рис. 16 Выход на дневную поверхность кристаллического фундамента.

Формирование кристаллического фундамента закончилось 1,6-1,7 млрд. лет назад и слагающие его породы архея и нижнего протерозоя образуют ряд пространственно обособленных стратиграфических и интрузивных комплексов.

Наиболее древняя щучинская серия нижнего архея мощностью 5-7 км широко развита в западной части республики и объединяет глубоко метаморфизованные кристаллические сланцы, амфиболиты, кислые гнейсы. На остальной части эта серия представлена пироксеносодержащими гнейсами. Верхний архей сформирован ооловской серией мощностью до 10 км и представлен метаморфизированными амфиболитами и сланцами.

Житковичская серия нижнепротерозойского возраста мощностью до 1 км установлена в пределах Микашевическо-Житковичского выступа и объединяет слабо метаморфизованные осадочные и вулканогенные породы (кварциты, сланцы, липариты, порфиритоиды, туфы).

Все породы кристаллического фундамента группируются в 14 комплексов, условия залегания и морфология которых определяет тектонику (внутреннее строение), рельеф поверхности и строение платформенного чехла.

В зависимости от глубины залегания поверхности фундамента выделяют следующие тектонические структуры: положительные – Белорусская и Воронежская антиклизы, отрицательные – Припятский прогиб, Брестская и Оршанская впадины, переходные – Жлобинская, Латвийская, Брагинско-Лоевская и Полесская седловины. В их пределах имеется множество мелких структур разного порядка – мульды, депрессии, грабены, выступы, горсты, поднятия, ступени и моноклинали (рис. 15).

Платформенный чехол имеет мощность от нескольких десятков метров (Микашевичско-Житковический выступ) до 6 км (Припятский прогиб).

Наиболее древние отложения протерозойской системы нижней части платформенного чехла (нижнерифейские) имеют локальное распространение (г.Бобруйск), представлены кварцевыми порфирами, кварцитами и песчаниками. Отложения среднего рифея залегают в пределах Волыно-Оршанского прогиба и представлены кварцевыми песчаниками и алевролитами мощностью до 300-800 м. Верхний рифей мощностью до 100м представлен алевролитами и доломитами. На остальной части республики распространены отложения венда, представленные комплексом ледниковых и водно-ледниковых отложений (песчаники, алевролиты и глины).

Палеозойская группа в платформенном чехле представлена кембрийской, ородовиковой, силурийской, девонской, каменноугольной и пермской системами. Отложения кембрийской системы распространены в Брестской впадине, Прибалтийской моноклинали и Латвийской седловине. Мощность системы от 140 до 500м, основные отложения – песчаники, алевролиты, глины). Ордовиковая система распространена в Прибалтийской моноклинали и Брестской впадине и ее мощность не превышает 150м. Состав отложений – известняки, песчаники, фосфориты.

Силурийская система имеет наиболее мощный разрез (до 700м) в Брестской впадине и сложена мергелями, глинами и известняками.

Отложения девонской системы развиты в Припятском прогибе, Оршанской впадине, Жлобинской и Латвийской седловинах, т.е. занимают 2/3 территории Беларуси. Их мощность до 500м. Они представлены доломитовыми мергелями, песчаниками, гипсами, глинами и каменными солями. С этими отложениями связаны месторождения таких полезных ископаемых как нефть, газ, горючие сланцы, калийные и каменные соли, доломиты и минерализованные воды.

Отложения каменноугольной системы (карбона) мощностью до 1000м в Припятском прогибе и в пределах Луковско-Ратновского горста. Сложены морскими отложениями – песчано-глинистые породы, песчаники, доломиты, известняки, мергели и алевролиты.

Отложения пермской системы накопились в Припятском прогибе, Брагинско-Лоевской седловине и Белорусской антиклизе. Мощность их до 150м, а представлены они глинами, песчаниками, известняками, доломитами и алевролитами.

Мезозойская группа в платформенном чехле представлена триасовой, юрской и меловой системами. Областями осадконакопления триасовой системы является лишь Припятский прогиб. Здесь мощность отложений, представленных глинами, песками, песчаниками и доломитовыми известняками, достигает 800м.

Отложения юрской системы, занимающие около 30% территории республики распространены в Припятском прогибе, Брагинско-Лоевской и Жлобинской седловинах, Оршанской и Брестской впадинах. Представлены глинами с прослоями алевролитов, песчаниками и каменными углями, мощностью слоев до 80м.

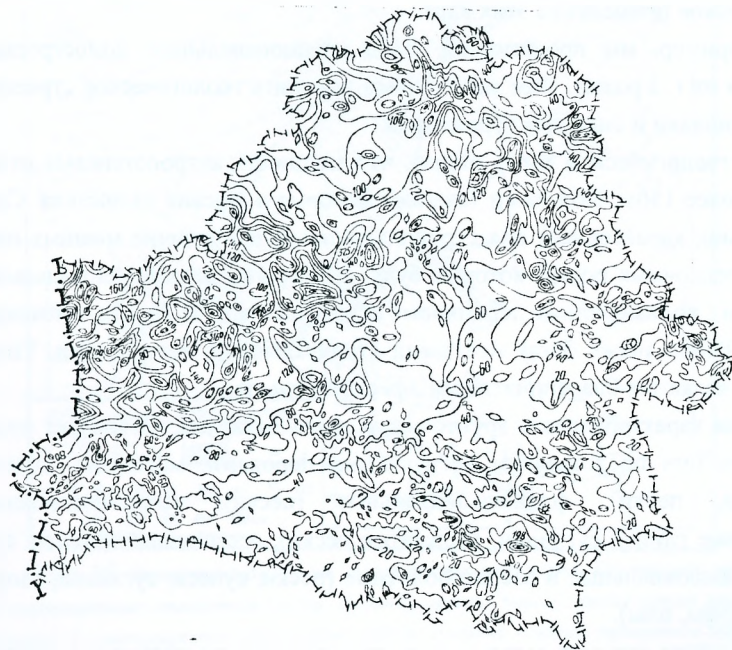
Меловая система установлена в Жлобинской седловине и представлена преимущественно морскими песчаными отложениями и алевролитоглинистыми отложениями мощностью до 500м.

Кайнозойская группа представлена палеогеновой, неогеновой и антропогеновой (четвертичной) системами. Отложения палеогена (прибрежно-морские и континентальные осадки) развиты в Припятском прогибе и большинстве седловин и занимают 50% территории республики. Наиболее

распространены опоковидные глины, глауконитовые пески, алевролиты, мергели и песчаники мощностью до 70м.

Отложения неогеновой системы занимают около 2/3 территории республики и представлены озерно-болотными и аллювиальными образованиями, а также кварцевыми песками, алевролитами, глинами с прослоями торфа.

Отложения антропогеновой системы распространены на всей территории республики и имеют мощность от 3 до 320м. Образуют сложный комплекс континентальных (ледниковых, озерных, аллювиальных, болотных и др.) отложений.



Все антропогенные отложения разделены на 11 горизонтов, пять из которых соответствуют пяти эпохам оледенений (белорусский, березинский, днепровский, сожский и поозерский), а остальные – межледниковой (налибокский, александрийский, шкловский, муравинский) и послеледниковой (брестский и др.) эпохам. Все они представлены озерными, озерно-болотными, аллювиальными, эоловыми, пролювиально-делювиальными и др. отложениями. Среди них наиболее распространены различные пески, алевроиты, глины, супеси, суглинки, торфы и сапропели. Иногда встречаются озерные мергели, диатомиты, сапропелиты и болотные руды.

На рис. 17 дана карта мощностей антропогенного покрова.

Для сравнения на рис. 18 приведена схематическая карта четвертичных отложений Европейской части СНГ и стран Прибалтии. Рассмотрим практическое применение этих карт.

Например, мы проектируем завод крупнопанельного домостроения недалеко от г. Гродно. Нам необходимо выяснить геологическое строение стройплощадки и смежных территорий.

По геологической карте видим, что мощность антропогенных отложений более 150м. Под ними залегают меловые и юрские отложения. Следовательно, характерным для стройплощадки будет наличие мощных пластовых осадочных пород, которые будут перекрыты флювиогляциальными осадками (полиморенные ледниковые отложения) в виде песков, суглинков и глин. Район также богат местными строительными материалами. Такие условия являются благоприятными для строительства.

Если характеризовать грунтовые условия Беларуси, то следует отметить, что они представлены следующими породами: моренные (супеси, суглинки, пески), флювиогляциальные (пески), озерно-ледниковые (ленточные глины, суглинки, пылеватые пески), лессовидные (супеси, суглинки), аллювиальные и озерно-болотные (пески, супеси, суглинки, сапропели, торфы, илы).

При этом для всех моренных грунтов характерны повышенная уплотняемость, слабая сжимаемость и высокое сопротивление сдвигу.

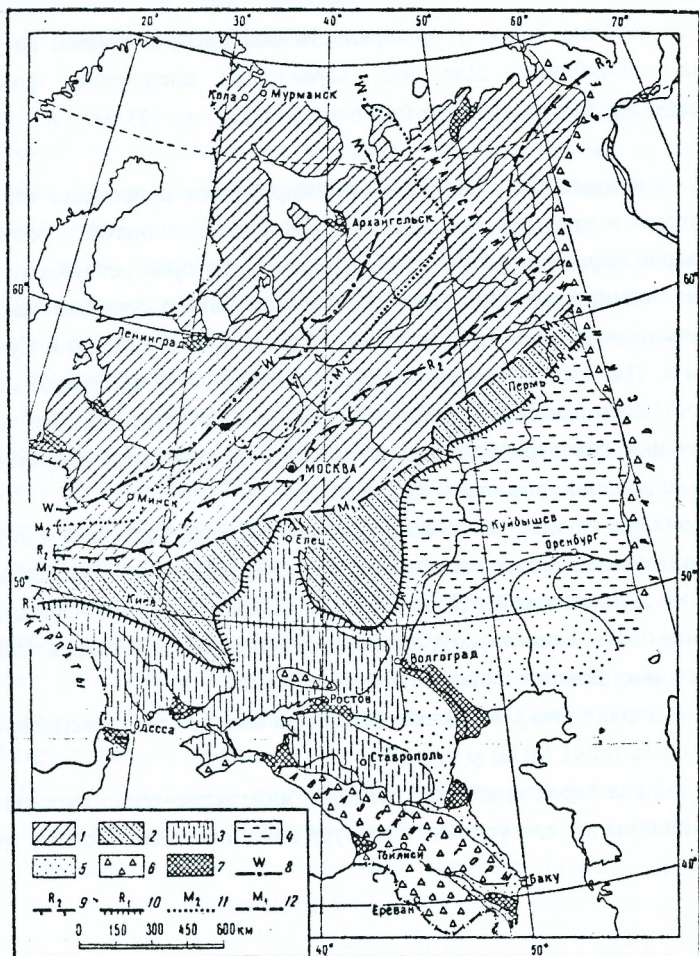


Рис. 18 Схематическая карта четвертичных отложений Европейской части СНГ:

1 - полиморенные отложения (пески, суглинки, иногда глины с двумя-тремя горизонтами морены); 2 - мономоренные отложения (пески, суглинки с одним горизонтом морены); 3 - приледниковые лессовидные суглинки и лесс; 4 - приледниковые глины и суглинки; 5 - засоленные грунты Прикаспийской впадины; 6 - горнощелевые отложения; 7 - дельтовые осадки. Южные границы оледенений: 8 - Валдайского; 9 - Московского; 10 - Днепровского; 11 - Калининского; 12 - Окского.

Грунты верхней зоны морены обычно слабее, чем нижней, и их мощность колеблется от 0,5 до 4,0 м. Они занимают почти все возвышенности, при этом на глубине 2-3 м от поверхности они распространены на 51% территории республики. Для них характерны следующие физико-механические характеристики: $c=0,021-0,045$ МПа; $\varphi = 23-31^\circ$; $E = 20-52$ МПа.

Флювиогляциальные отложения сформировались в процессе отступления ледников и представлены песками, песчано-гравийными и песчано-галечниковыми породами, встречаются по всей территории республики.

Озерно-ледниковые отложения (ленточные глины и суглинки) на территории республики залегают в основном в Полоцкой, Луческой и Суражской низинах. Для них характерна ленточная текстура. В их составе могут встречаться супеси и пески. Для таких оснований характерны низкая плотность и сильные тиксоотропные свойства. Удельное расчетное сопротивление на них не должно превышать $R_0 \leq 0,2$ МПа.

Лессовидные грунты (пылеватые супеси и суглинки) залегают к югу от границы Валдайского оледенения локальными участками, расположенными на Минской, Гродненской, Новогрудской возвышенностях, Оршанско-Могилевском плато, Копыльской, Брагинской и Мозырьской грядах. Общая площадь распространения – около 10% территории.

Для них характерны следующие физико-механические характеристики грунтов $c = 0,018-0,041$ МПа; $\varphi = 20-30^\circ$.

Более полная характеристика грунтов и инженерно-геологических условий стройплощадок для условий Беларуси дана в разделе "Основы грунтоведения".

Глава 4 ОСНОВЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

4.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Облик поверхности Земли находится в постоянном изменении. На поверхности Земли постоянно возникают горные системы и океанические впадины. Правда, за свою жизнь, эти процессы мы увидеть не можем, ибо рост гор обычно не превышает 3-10 см в год, но вот факт трансформации малых рек мы замечаем. Так, за последние 25 лет на территории Беларуси исчезли с лица Земли более 500 малых рек и ручьев.

Вот все эти процессы – как на макроуровне, так и микроуровне – изучает динамическая геология.

В ней все процессы, которые приводят к образованию горных систем и океанических впадин, вызванные внутренними силами Земли называются процессами внутренней динамики Земли (эндогенными). Они проявляются в виде разнообразных тектонических движений земной коры, метаморфизма, землетрясений, магматизма (перемещения расплавленных масс глубинного вещества Земли – магмы). Все эти процессы протекают в условиях больших температур и давлений. Но итог проявления этих процессов сводится к движению и перераспределению материи, составляющей Землю, переходу ее из одного состояния в другое, из одних форм в другие, то есть они формируют рельеф Земли.

Основной источник энергии у них – внутреннее тепло Земли.

Вторым источником энергии является – Солнце, которое и обуславливает формирование процессов внешней динамики Земли (экзогенных).

Эти процессы протекают в земной коре при участии лучистой энергии Солнца, вращения Земли, притяжения Луны, Солнца и других космических объектов. Наиболее распространенными являются следующие экзогенные процессы: выветривание, деятельность ветра, деятельность ледников, льда и снега, деятельность вод поверхностного, речного и подземного стока и деятельность океанов, морей, озер и болот.

Они проходят при низких температурах и давлениях в условиях взаимодействия физических и химических агентов атмосферы, гидросферы и биосферы на земную кору.

Проявляются они чаще всего в непрерывном разрушении и изменении поверхности Земли и направлены на нивелирование неровностей ее рельефа.

Отсюда видно, что эндогенные и экзогенные процессы проявляются во взаимосвязи, то есть они находятся в постоянной борьбе, в противоречии.

Внешние агенты постоянно разрушают то, что создано эндогенными процессами, и одновременно создают новые формы материи, устойчивые в обновленной среде. Эндогенные же процессы, в свою очередь, преобразуют то, что создано на поверхности Земли.

4.2 ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

Процессы горообразования изучает тектоника, а движения земной коры, связанные с этими процессами, называются тектоническими явлениями.

В истории Земли выделяют следующий ряд интенсивных горообразовательных циклов: каледонский, имевший место в кембрийско-силурийский периоды; герцинский (пермский и начало триассового периодов); мезозойский (юрский период); альпийский (кайнозойская эра). Именно в период альпийского цикла и сформировались Кавказские и Карпатские горы.

В целом нужно помнить, что земная кора обладает различной подвижностью, так как ее основной частью являются платформы, между которыми располагаются геосинклинали.

Платформы в виде массивов (глыб) занимают огромные пространства (Русская, Австралийская, Североафриканская, Тихоокеанская и т.д.). Они имеют обычно двухэтажное строение: фундаментом служат магматические, метаморфические или складчатые осадочные породы. На фундаменте располагается верхний ярус осадочного происхождения с относительно горизонтальным залеганием. Так как платформы являются жесткой частью земной коры, то для них характерны сравнительно спокойные колебания в вертикальной плоскости.

Геосинклинали располагаются между платформами и являются их подвижными сочленениями. Они обычно формируются морскими бассейнами, дно которых испытывает прогибание (Средиземноморская и Западно-тихоокеанская геосинклинальные области) или складчатыми горными хребтами (Альпийский, Карпатский, Кавказский, Памирский, Кардильерский и др. районы). Для этих районов типичны разнообразные, различной интенсивности, тектонические движения складчатого и разрывного характера. Поэтому горизонтальное залегание пород сменяется смятием, разрывами и перемещениями, что во многом и определяет наличие сейсмических явлений и вулканизма.

Итак, мы видим, что любой точке на земной коре свойственны как колебательные, так и складчато-разрывные тектонические движения.

Следует различать следующие виды колебательных движений – современные, новейшие и прошедших геологических периодов.

Современные колебательные движения охватывают сегодня всю поверхность Земли. Например, районы Минска опускаются со скоростью 3,1 мм/год, Бреста – 3,2 мм/год, Москвы – 3,7 мм/год, Санкт-Петербурга – 3,6 мм/год, Одессы – 5,1 мм/год. Поднимаются районы Курска – 3,6 мм/год, Кривого рога – 10,8 мм/год. Много уже веков интенсивно опускаются районы Голландии – до 60 мм/год и практически через 70-100 лет она может уйти под уровень моря, и поднимаются районы Скандинавии – до 25 мм/год. Например, Стокгольм за последние 50 лет поднялся на 20 см, а Чикаго опустился на 4 м.

Новейшие колебательные движения относятся к четвертичному периоду и концу неогена. Они определяют опускание берегов морей и океанов и наступление их на сушу. Например, приустьевая часть р. Конго опустилась и прослеживается на дне океана до глубины 2 км на расстоянии от берега до 130 км. Ведь несколько миллионов лет назад Англия не была отделена проливами от Европы и составляла с континентом единое целое. Атлантида – это тоже не миф! Обская и Енисейские губы – это тоже результат опускания берегов Северного Ледовитого океана и его наступления на сушу.

Колебательные движения прошедших геологических периодов сегодня обнаруживаются в перерывах отложения осадков, перераспределении моря и суши, в смене состава слоев в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Основными явлениями здесь явились регрессия (поднятие местности и отступление моря) и трансгрессия (опускание местности, накопление морских осадков и наступление моря).

Поэтому очень часто осадочные породы одного и того же возраста имеют разные мощности (рис. 19).

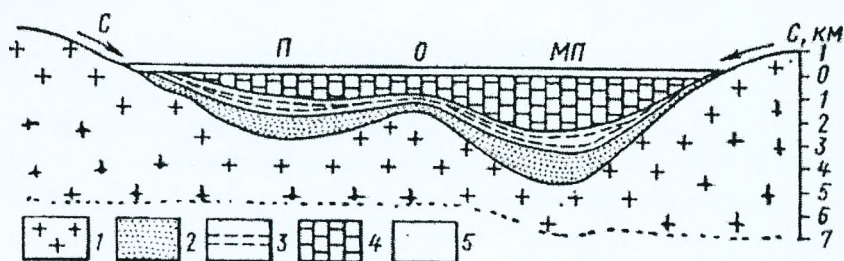


Рис. 19 Схема, показывающая, почему осадочные горные породы одного и того же возраста имеют разные мощности: С – суша, на ней осадки не отлагались, наоборот, сама суша размывалась; П – область, где земная кора прогибалась и одновременно накапливались осадки, мощность которых компенсировалась глубиной прогибания; МП – область, где прогибание земной коры было более глубоким, в связи с чем накопились осадки большой мощности; О – область малого прогибания земной коры, где мощность осадочных пород поэтому меньше, чем в зонах П и МП; 1 – древние граниты, 2 – песок; 3 – глина; 4 – известняк; 5 – вода.

На рис. 20 проявление этих процессов в условиях Беларуси показано на геологическом профиле по меридианной линии р.Неман – р.Припять.

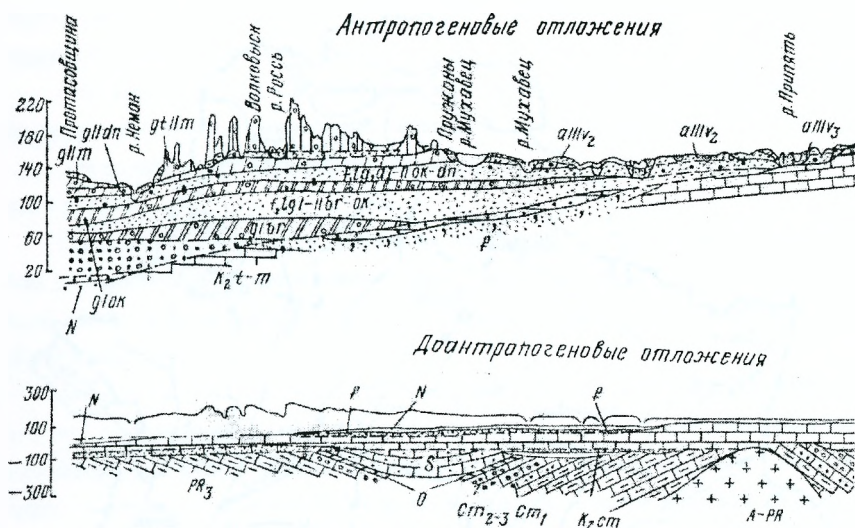


Рис. 20 Геологический профиль (р. Неман – р. Припять).

Для строителей особый интерес имеют современные колебательные движения, определяющие изменение высот поверхности в данном районе. Ведь эти движения обуславливают интенсивный размыв берегов рек и морей, изменение элементов гидросферы, оползневые явления и т.д.

Складчато-разрывные движения свойственны только геосинклиналям и вызывают обычно нарушение первоначальных форм залегания и состояния пород, называемое дислокацией.

4.3 ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ ДИСЛОКАЦИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СТРОИТЕЛЬСТВО

Известно, что четвертичный период характеризуется установлением ледникового режима, прерывающегося теплыми межледниковыми эпохами.

На рис. 21 приведена схематическая карта движения ледников по территории Беларуси.



Рис. 21 Схематическая карта движения ледников по территории Белоруссии (---, -.-.-, —|— — границы распространения ледников в антропогене).

Поэтому, четвертичные отложения являются новейшими по времени образования и характеризуются рядом особенностей, отличающих их от отложений более древних эпох:

- они отлагались сравнительно небольшой промежуток времени (около 1 млн. лет), далеко не везде условия для их накопления были благоприятными, поэтому мощность их невелика, чаще всего от нескольких метров, до нескольких десятков метров;

- большинство типов этих отложений имеет континентальное происхождение, отсюда их исключительное разнообразие по составу на небольших расстояниях, совместное нахождение пород, различных по генезису, и

тесная зависимость залегания пород от рельефа местности, отличающая все осадки, формирующиеся на суше;

– четвертичные отложения чаще всего рыхлы, а поэтому, в отличие от более древних монолитных пород легко поддаются разрушению;

– морские и магматические образования среди них имеют подчиненное значение.

Главным их признаком является слоистость, которая представляет собой последовательное чередование различных осадочных горных пород в виде слоев. Для речных и морских отложений может быть характерна и микрослоистость.

Мощность пластов бывает разнообразной и зависит от интенсивности и длительности процессов осадконакопления. Так, если континентальные отложения (на суше) залегают непосредственно под почвенным слоем и имеют мощность порядка 10-50 м, то мощность пластов морских отложений может составлять сотни метров.

Если для слоя характерно резкое различие отложений по их составу, то слои называют пластами, основными элементами которых (рис. 22) являются: плоскости напластования (верхняя – кровля, нижняя – подошва); мощность – истинная и кажущаяся (расстояние между кровлей и подошвой); форма (изменяемость в пространстве, то есть по мощности и по площади); сочетание (характер залегания относительно друг друга).

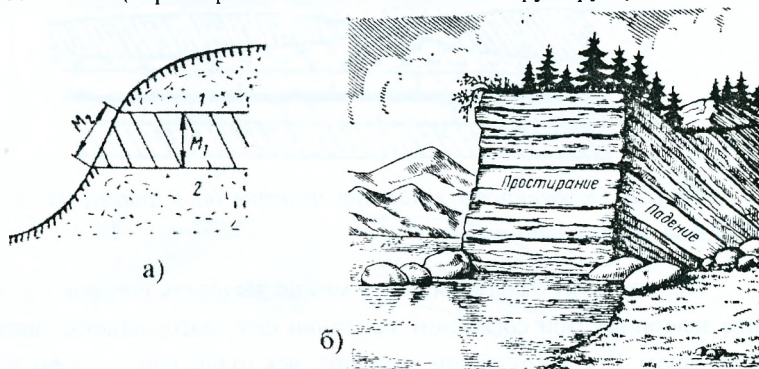


Рис. 22 Элементы слоя (а) и общий вид напластований (б): 1- кровля; 2 - подошва; M_1 - истинная и M_2 - кажущаяся мощности.

Форма слоев (пластов) зависит от условий осадконакопления и следует выделять – нормальный слой, линзу, слой с выклиниванием и слой с пережимом (рис. 23). К нормальным слоям относятся слои большой мощности и протяженности, у которых кровля параллельна подошве. Для линз характерно ограниченное распространение и резкое падение мощности от центра к периферии. Для слоев с выклиниванием и с пережимом свойственна большая протяженность, но небольшая мощность.

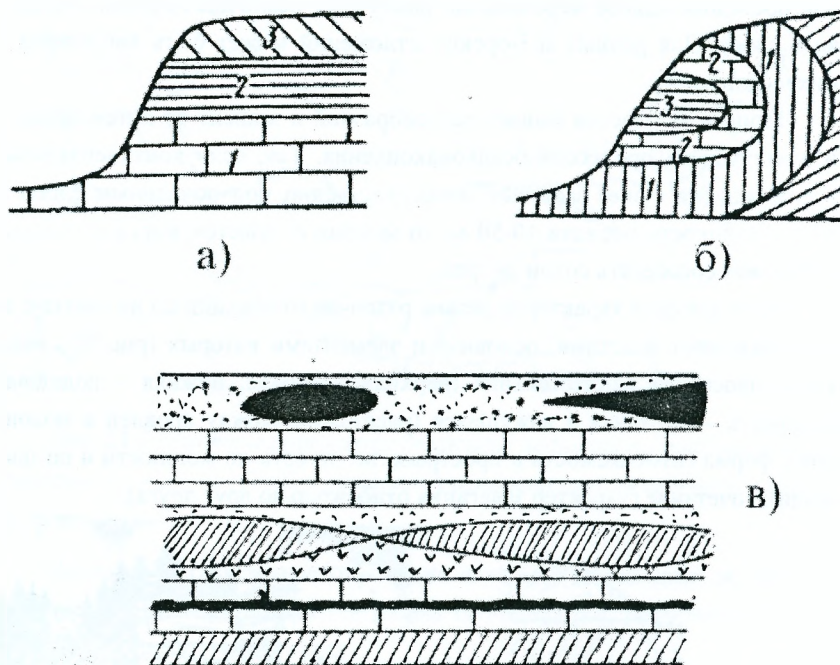


Рис. 23 Особенности залегания пластов (v) и формы слоев: а) горизонтальное; б) в виде складок.

По характеру залегания слоев можно выделить согласное и несогласное залегания. При согласном залегании слои располагаются параллельно друг другу. При несогласном залегании вся толща пород как бы делится на две части – верхнюю и нижнюю, при этом в пределах каждой слои залегают согласно. Причины несогласного залегания в том, что нижняя часть под-

верглась воздействию тектонических процессов, а верхние слои отложились значительно позже, и поэтому сохранили свое первоначальное залегание. Отметим также, что наибольшую протяженность пластов (слоев) иногда до сотен километров имеют осадки морского происхождения. Пласты континентальных отложений, образовавшихся на суше, обычно быстро выклиниваются и сменяются отложениями другого вида.

С инженерно-геологической точки зрения большое значение имеет такое формирование, как толща.

Под толщей нужно понимать группу слоев (пластов) различной мощности, объединенных сходством состава или возрастом.

Складчато-разрывные тектонические движения обычно нарушают первоначальное горизонтальное или наклонное положение, и формируют дислокации, то есть вторичные формы залегания. Отсюда, дислокация – это нарушение первоначальных форм залегания пород.

В зависимости от вида тектонических движений дислокации делятся на складчатые и разрывные.

Для складчатых дислокаций характерно их образование без разрыва сплошности слоев (пластов). К ним относятся складка, флексура и моноклиаль (рис. 24).

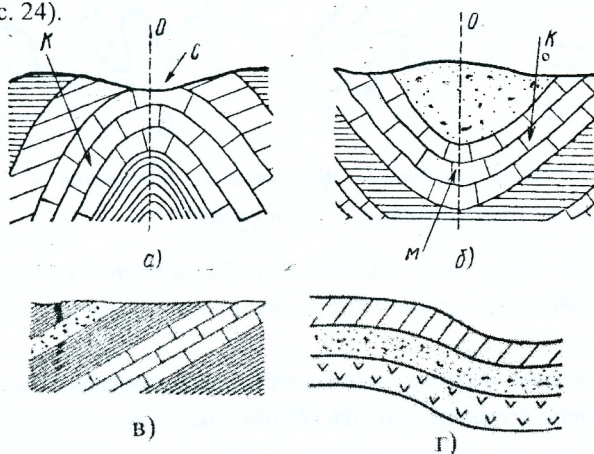


Рис. 24 Формы складчатых дислокаций: а - антиклиналь; б - синклиналь; в - моноклиаль; г - флексура; К - крыло; О - ось складки; С - седло; М - мулда.

Складка представляет собой один сплошной перегиб слоев, возникающий в результате воздействия на породы тангенциальных тектонических сил. Складка может быть обращена вершиной вверх (тогда она называется антиклиналь) и вниз (синклиналь). В качестве элементов складки нужно выделять – бока-крылья и вершину-замок. При этом в антиклиналях вершину-замок называют седлом, а в синклиналях мульдой. Выделяют и такой элемент как ось складки.

В зависимости от угла наклона крыльев, их формы и положения оси складки делятся на косые, прямые, опрокинутые, лежащие, сундучные и веерообразные (рис. 25).

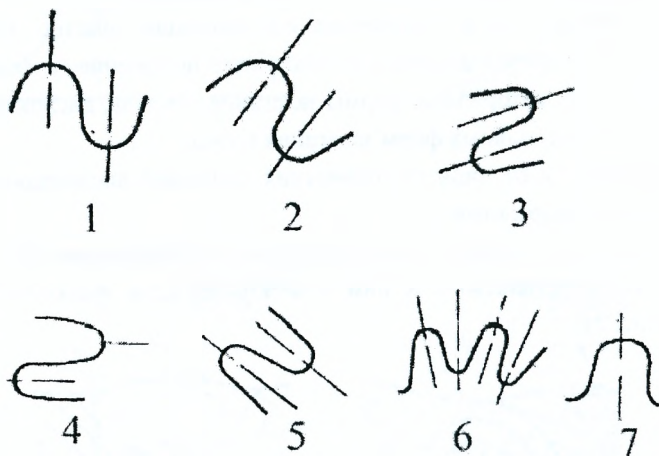


Рис. 25 *Формы складок: 1 - прямая; 2-3 – наклонная; 4 - лежащая; 5 - опрокинутая; 6 - веерообразная; 7 - сундучная*

Флексура представляет собой коленоподобную складку, образовавшуюся при смещении одной части пород относительно другой без разрыва сплошности.

Моноклиналь является самой простой формой нарушения первичного залегания пород и характеризуется общим наклоном слоев к горизонту. При этом выделяют моноклинали со слабонаклоненными слоями ($\alpha=0-16^\circ$, где α

– угол наклона), пологонаклоненными ($\alpha=17-31^\circ$), сильнонаклоненными ($\alpha=32-76^\circ$), крутыми ($\alpha=77-81^\circ$) и поставленными на голову ($\alpha=82-90^\circ$).

При оценке строительных площадок со складчатыми дислокациями нужно помнить, что породы в вершинах складок могут быть не только трещиноватыми, но и сильно раздробленными.

Разрывные дислокации обычно формируются под действием интенсивных тектонических движений, которые приводят к разрыву сплошности пород и смещению разорванных частей относительно друг друга. Смещение всегда происходит по плоскости разрыва и проявляется в виде трещины с шириной от 10 см до 10 м и амплитудой от 10 см до 3-5 км и более. Трещины почти всегда заполнены обломками горных пород.

Следует различать следующие виды разрывных дислокаций – сбросы, взбросы, горсты, грабены и надвиги (рис. 26).

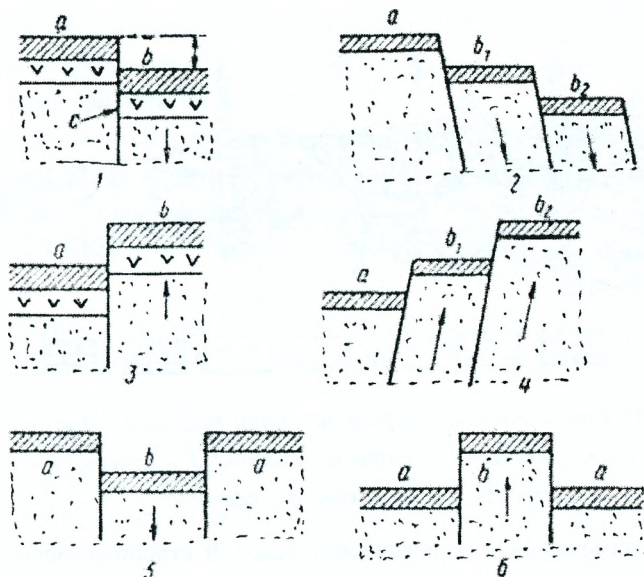


Рис. 26 Формы разрывных дислокаций, образованных вертикальными перемещениями пластов: 1 - сброс; 2 - ступенчатый сброс; 3 - взброс; 4 - ступенчатый взброс; 5 - грабен; 6 - горст; а - неподвижная часть толщи; б - смещенная часть; с - плоскость разрыва.

Сбросы образуются при опускании одной части толщи пород относительно другой. Если при разрыве происходит поднятие, то образуется взброс. Если на одном локальном участке образуется серия разрывов, следующих друг за другом, то возникают ступенчатые сбросы или взбросы. Так образовалось Красное море и озеро Байкал. Горст – форма, обратная грабену.

При взаимном смещении толщ пород в горизонтальной или наклоненной плоскостях разрыва формируются такие дислокации как сдвиг и надвиг.

С инженерно-геологической точки зрения, это обуславливает возможность перекрытия молодых отложений породами более древнего возраста.

Проследить особенности проявления этих видов дислокаций можно на геологическом профиле по линии восток-запад Витебская – Брестская области (рис. 27)

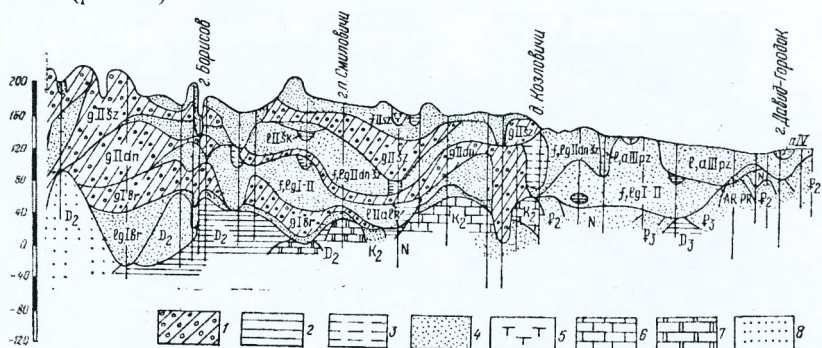


Рис. 27 Геологический профиль по линии Россоны – Давид-Городок: 1 – моренные отложения; 2 – глина и суглинок; 3 – супесь; 4 – песок; 5 – торф; 6 – мел и мергель; 7 – доломит; 8 – песчаник.

При исследовании геологических условий стройплощадки не менее существенно и установление пространственного положения слоев (пластов). Оно определяется такими элементами залегания как – азимут простираения слоя и угол падения (рис. 28). Угол падения характеризует

наклон слоя к горизонтальной поверхности, который может быть в пределах $\alpha=0-90^\circ$.

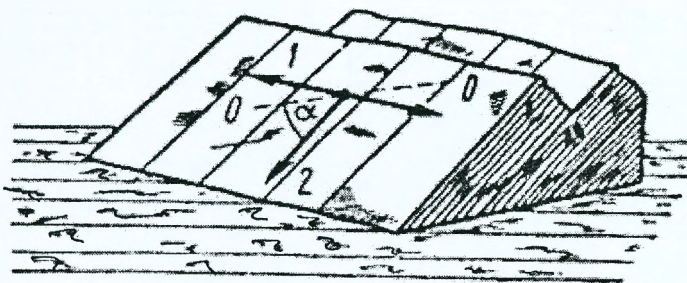


Рис. 28 Элементы залегания слоя: 1 - линия простирания; 2 - линия падения; 0-0 - горизонтальная линия; α - угол падения слоя.

Азимут простирания показывает направление протяженности слоя по отношению стран света. На геологических картах эти элементы определяются линиями простирания и падения.

Эти элементы вместе с абсолютными (или относительными отметками) кровли и подошвы слоев дают полную информацию о характеристиках пространственного положения слоев (пластов).

Отметки кровли и подошвы слоев определяют с помощью буровых скважин.

Эти данные позволяют правильно решить вопрос о выборе оснований зданий и сооружений, а также по оценке реальных запасов полезных ископаемых в месторождениях и т.д.

А в целом, с инженерно-геологической точки зрения, наиболее благоприятным является горизонтальное залегание слоев с большой мощностью и однородностью состава (рис. 29). Только в этом случае фундаменты зданий и сооружений располагаются в однородной грунтовой среде. Это обуславливает равномерную сжимаемость пластов под всем зданием (сооружением), что обеспечивает наибольшую устойчивость и прочность.

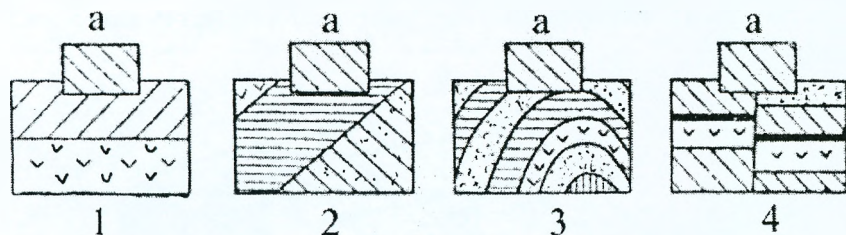


Рис. 29 Размещение здания (а) на строительных площадках различного геологического строения: 1 и 2 - благоприятные участки; 3 - мало благоприятные; 4 - неблагоприятные.

Наличие дислокаций резко изменяет и усложняет инженерно-геологические условия строительных площадок – нарушается однородность грунтов оснований сооружений, образуются зоны дробления, снижается прочность пород, по трещинам разрывов периодически происходят смещения, циркулируют подземные воды. Пласты приобретают наклонное положение.

Крутизна падения пластов имеет большое инженерно-геологическое значение. При крутом падении пластов различные части сооружения могут располагаться на различных породах. Это может вызвать неравномерную сжимаемость пластов и деформацию самого сооружения вследствие неравномерной осадки различных его частей.

Сооружение может оказаться в неблагоприятных условиях при сложном характере складок и малых их размерах. При достаточно крутом падении пластов, в состав которых входят те или иные виды глинистых пород, на склонах нередко возникают оползневые явления.

Складчатые дислокации нередко сопровождаются сбросами и надвигами. При наличии сброса или надвига большой протяженности следует выбирать место для сооружения в удалении от линии разлома. Располагать сооружение на линии разлома весьма нежелательно.

Ну и в заключении рассмотрим основные причины возникновения неравномерных осадок зданий и сооружений при любых видах дислокаций.

Это – наличие выклинивающихся слоев грунта, линзообразное залегание отдельных слоев, различная толщина пластов, неодинаковая плотность сложения грунтов, передача нагрузки от сооружения на разные по своим физико-механическим свойствам грунты оснований, неодинаковая уплотняемость грунтов из-за неравномерности нагрузок и др. (рис. 30).

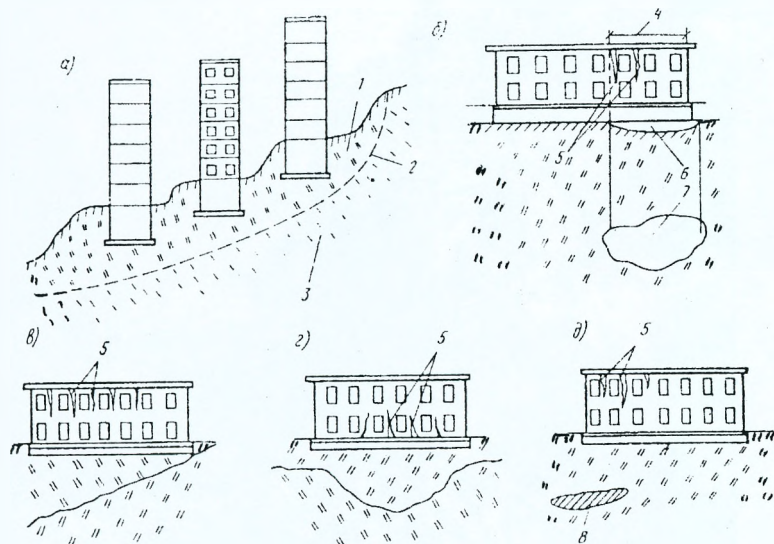


Рис. 30 Деформации сооружений, обусловленные недостаточными инженерно-геологическими данными: 1 - сползаемый массив грунта; 2 - граница, разделяющая различные грунты; 3 - скальный грунт; 4 - участок здания, расположенный над воронкой; 5 - трещины в конструкциях; 6 - карстовая воронка; 7 - карстовая полость; 8 - линза слабого грунта.

4.4 СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И ИХ УЧЕТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Сейсмические явления (от греческого - сотрясаю) характерны для районов геосинклиналей, где активно действуют современные горообразования

тельные процессы. Они проявляются в виде упругих колебаний земной коры.

Сейсмические сотрясения земли происходят почти непрерывно (до 100 тысяч в год), но не более 100 из них являются разрушительными, то есть приводят к нарушению целостности зданий и сооружений, их разрушению и гибели людей (рис. 31).

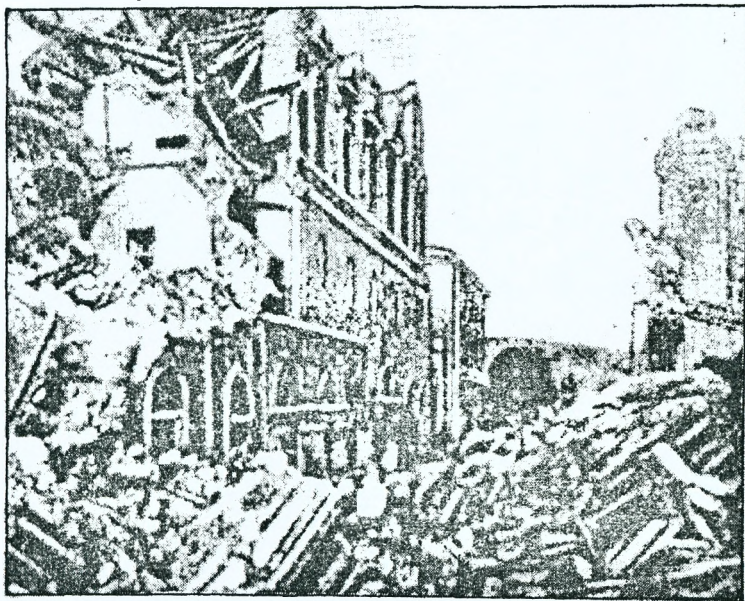


Рис. 31 Разрушения в г.Спитаке (Армения) в результате землетрясения.

Сотрясения земли (землетрясение) могут также возникать и в процессе извержения вулканов (Камчатка), возникновения провалов и обрушения больших масс пород в водохранилища (Братское водохранилище), а также при мощных взрывах, производимых в военных или строительных целях (Минеральные воды).

По частоте возникновения наблюдается до 90% тектонических, 7% - вулканических и 3% обвальных землетрясений.

Наиболее крупное землетрясение на территории СНГ произошло в 1956 г. (Забайкалье). Сила землетрясения составила 11 баллов. Раскололся один из горных пиков, и часть горы диаметром до 400 м обрушилась в ущелье, при этом образовалась впадина, шириной до 1 км и длиной до 18 км. На поверхности земли образовались трещины шириной до 20 м и длиной до 250 км. Не менее катастрофичны и землетрясения в Ашгабаде, Ташкенте, Спитаке (Армения). Сила землетрясения достигала 9 баллов, что привело практически к полному разрушению городов.

Для каждого землетрясения нужно выделять гипоцентр – очаг рождения сейсмических волн, который находится всегда в земной коре.

По глубине залегания гипоцентра (рис. 32) различают поверхностные (1-10 км), коровые (30-50 км) и глубокие (100-700 км) землетрясения. По частоте возникновения их соотношение – 8:1:1.

Однако наиболее опасны и разрушительны поверхностные и коровые землетрясения.

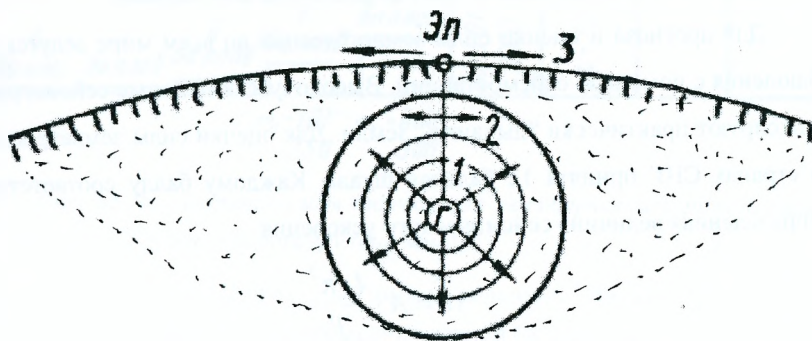


Рис. 32 Гипоцентр (Г), эпицентр (Эп) и сейсмические волны: 1 - продольные; 2 - поперечные; 3 - поверхностные.

Непосредственно под гипоцентром на поверхности Земли располагается эпицентр. От гипоцентра во все стороны расходятся сейсмические упругие колебания в виде продольных и поперечных волн.

Продольные волны вызывают расширение и сжатие пород в направлении их движения и они распространяются как в твердой, так и в жидкой и газообразной средах.

Поперечные волны распространяются только в твердой среде и вызывают в горных породах деформации сдвига. И всегда скорость распространения поперечных волн в 1.7 раза меньше скорости продольных.

На поверхности земли от эпицентра во все стороны расходятся поверхностные волны, являющиеся по своей природе волнами тяжести (подобно морским волнам). Хотя скорость распространения у них не большая, но именно они и определяют разрушение зданий и сооружений.

Продолжительность землетрясений обычно от нескольких секунд до 2-3 минут. Но бывают и исключения. Например Алма-атинское землетрясение 1887 года продолжалось около 3 лет и дало более 600 толчков.

Для прогноза и оценки силы землетрясений во всем мире ведутся наблюдения с помощью сейсмостанций. Высокочувствительные сейсмографы фиксируют практически “дыхание” Земли. Для оценки силы землетрясения в странах СНГ принята 12 бальная шкала. Каждому баллу соответствует определенная величина сейсмического ускорения –

$$\alpha = A \cdot \frac{4 \cdot \pi^2}{T^2}, \quad (1)$$

где A - амплитуда колебаний, мм; T - период колебаний сейсмической волны, с.

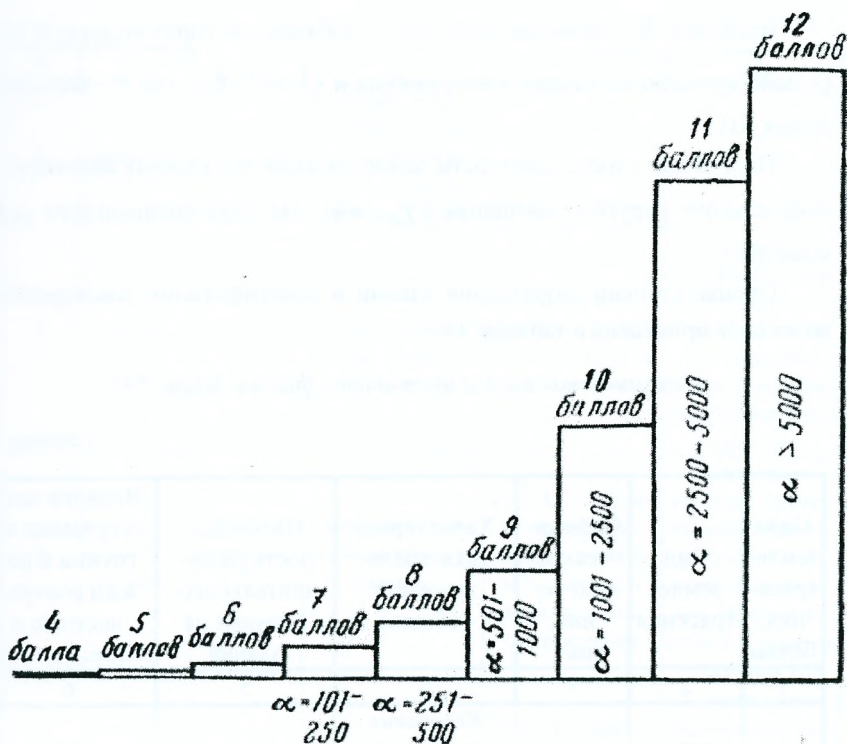


Рис. 33 Возрастание силы толчка при землетрясениях разной балльности (α - ускорение частиц грунта, мм/с²).

На рис. 33 дан график зависимости величины сейсмического ускорения α (силы толчка) для землетрясений разной балльности.

По величине α вычисляется коэффициент сейсмичности

$$K_s = \frac{\alpha}{g}, \quad (2)$$

где g - ускорение силы тяжести и $g=9,81 \cdot 10^3$ мм/с².

Величина K_s позволяет рассчитать добавочную горизонтальную силу Q , действующую на здания и сооружения и $Q = P \cdot K_s$, где P - вес сооружения, кН.

Иногда для определения силы землетрясения используют величину относительного упругого смещения (χ_0 , мм) маятника специального сейсмометра.

Оценка степени разрушения зданий и классификация землетрясений по их силе приведена в таблице 15.

Сейсмическая шкала института физики Земли РАН

Таблица 15

Сила землетрясения, баллы	Вид землетрясения	Сейсмическое ускорение, мм/с ²	Характеристика землетрясений (общая)	Интенсивность разрушительного влияния на здания	Влияние землетрясения на грунты и режим поверхностных и подземных вод
1	2	3	4	5	6
1	незаметное	—	Колебания отмечаются только приборами	—	—
2	очень слабое	—	Колебания ощущают только животные и чувствительные люди	—	—
3	слабое	—	Колебания отмечают до 10% людей	—	—
4	умеренное	<100	Отмечается всеми и наблюдается колебание окон и дверей	—	—

1	2	3	4	5	6
5	довольно сильное	100-250	Качаются все висячие предметы, дребезжат стекла, осыпается штукатурка	—	—
6	сильное	250-500	Легкие повреждения в зданиях	Для А и Б значительные повреждения, а В - легкие	Трещины в грунтах до 1 см. Возможны осыпи и оползни. Незначительные изменения уровня воды в колодцах
7	очень сильное	500-1000	Значительные повреждения в зданиях	Для А - повреждения и разрушения, а для Б и В - легкие и значительные повреждения	Трещины в грунтах. Значительное количество оползней, осыпей и обвалов. Изменение дебита и уровня грунтовых вод
8	разрушительное	1000-2000	Обрушение стен, перекрытий и кровель в некоторых зданиях	Для А - разрушения и обвалы, Б - значительные разрушения, В - значительные повреждения	Повреждения насыпей, множество трещин в грунте, отдельные случаи повреждений трубопроводов и оград
9	опустошительное	2000-4000	Большие разрушения в зданиях	Для А - полный обвал, Б - разрушения и обвалы, В - значительные разрушения	Значительное повреждение насыпей, трещины имеют ширину до 10 см. Обвалы, оползни, осыпи, сильное волнение в водоемах.

1	2	3	4	5	6
10	уничтожающее	>4000	Повреждения больше 50% всех зданий. Ширина трещин в грунтах > 1 м	Для А - полный обвал, Б - разрушения и обвалы, В - значительные разрушения	Значительное повреждение насыпей, трещины имеют ширину до 10 см. Обвалы, оползни, осыпи, сильное волнение в водосмах.
11	катастрофа	—	Обрушения и тяжелые повреждения зданий	Для А, Б и В полный обвал	Исчезновение и появление водоисточников
12	Сильная катастрофа	—	Полное разрушение зданий	Для А, Б и В полный обвал	Полное изменение уровня и свойств подземных вод

Однако оценка степени разрушения зданий и сооружений, приведенная в этой таблице, в известной мере условна. Ибо сооружения по своей конструкции и материалам весьма различны, и поэтому степень их разрушения при одном и том же землетрясении будет неодинакова.

Ниже, в табл. 16 дана связь между силой землетрясения и характером разрушения различных типов зданий и сооружений.

Понятие повреждения и разрушения необходимо оценивать следующим образом:

- легкие повреждения — тонкие трещины в штукатурке, кладке печей и т.п.;
- значительные повреждения — откалывание от стен кусков, множество трещин во всех стенах, повреждение дымовых труб, инженерных коммуникаций и т.п.;
- разрушения — расслоение кладки, обрушение отдельных стен, перегородок, лестничных клеток, падение карнизов и парапетов, падение дымовых труб и т.п.;
- обвалы — обрушение перекрытий, стен и т.п.

*Связь между силой землетрясения и характером
разрушения различных типов сооружений*

Таблица 16

Сила земле- трясе- ния, баллы	Характер разрушения				Кoeffи- циент сейсмич- ности, K_s
	Много- этажные здания из кирпичной кладки	Стальные каркасные конструк- ции без жестких углов	Железобе- тонные каркасные безрамные конструк- ции	Сеймо- стойкие железоб- етонные и стальные конструк- ции	
1	2	3	4	5	6
6	В отдельных случаях срыв кровли падение дымовых труб, прочие легкие повреждения	—	—	—	0,05
7	Многочисленные умеренные повреждения, местами разрушение больших частей зданий	—	—	—	0,01
8	Тяжелые повреждения более четверти всех зданий, в отдельных случаях — полное разрушение	Отдельные трещины в кладке, заполняющей несущий каркас	Легкие повреждения, преимущественно капителей колонн	—	0,015

1	2	3	4	5	6
9	Тяжелые повреждения более половины всех зданий, обрушение более четверти всех зданий	Большие трещины и вывалы отдельных камней в кладке, заполняющей несущий каркас	Тяжелые повреждения, особенно разрушение капителей колонн	–	0,9
10	Тяжелые повреждения всех зданий, обрушение более половины зданий	Вывалы из кладки, заполняющей несущий каркас, сильное искривление металлических колонн	Раздавливание капителей колонн	Легкие повреждения	1,0
11	Обрушение всех зданий	Тяжелые повреждения, обрушение многих зданий	Тяжелые повреждения, обрушение многих зданий	Частично - большие повреждения	2,5
12		Полное разрушение всех зданий			5,0

Для учета сейсмического воздействия в строительстве осуществлено сейсмическое районирование территории СНГ. В целом сейсмические районы занимают пятую часть территории. Это – Карпаты, Крым, Кавказ, Памир, Тянь-Шань, Алтай, Забайкалье, Сахалин, Дальний Восток и Курилы.

На рис. 34 приведена карта сейсмического районирования стран СНГ и Прибалтии. Однако нужно помнить, что балл, полученный по сейсмической карте, всегда подлежит уточнению с учетом конкретного геолого-литологического строения и геологических условий стройплощадки (табл. 17).

*Изменение сейсмической интенсивности (в баллах)
на основании инженерно-геологических данных*

Таблица 17

Категория породы по сейсмическим свойствам	Описание пород	Уточненная сейсмическая интенсивность (в баллах) в зависимости от сейсмичности района по сравнению с нормальной *
1	2	3
I	Скальные нетрещиноватые породы магматические, метаморфические и осадочные; граниты, гнейсы, известняки, песчаники, конгломераты и т.п. Полускальные породы: мергели, окремневшие глины, глинистые песчаники, туфы, ракушечники и др. Крупнообломочные, особо плотные породы с расчетным сопротивлением $R=600$ кПа при глубине залегания грунтовой воды $h \geq 15$ м	7/6 8/7 9/8
II	Глины, находящиеся в тверд. состоянии Пески, супеси и суглинки, при глубине залегания уровня грунтовых вод $h \leq 8$ м Крупнообломочные породы при залегании уровня грунтовых вод $6 < h < 10$ мм	7/7 8/8 9/9
III	Глины, находящиеся в пласт. состоянии Пески, супеси, суглинки при глубине залегания уровня грунтовых вод $h \leq 4$ Крупнообломочные породы при глубине залегания уровня грунтовых вод $h \leq 3$ м	7/8 8/9 9/10

Примечание: Числитель – бальность нормальная, знаменатель – изменяющаяся

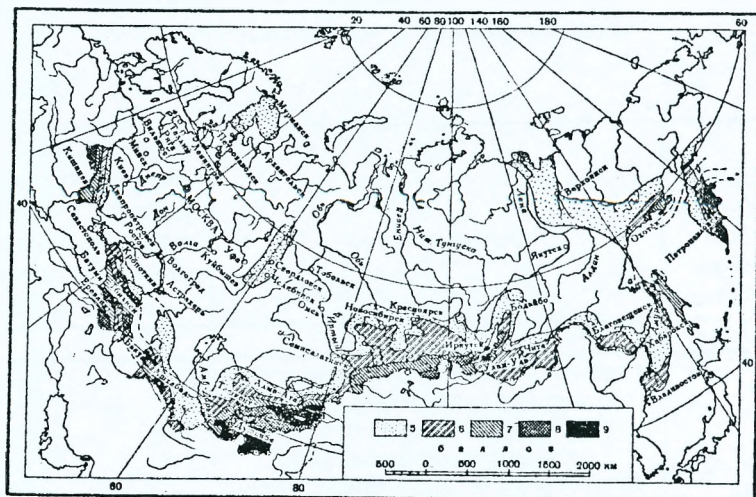


Рис. 34 Карта сейсмического районирования стран СНГ и Прибалтики.

Однако, эта корректировка справедлива только для слабо холмистых и равнинных территорий.

В горных местностях со сложной тектоникой и расчлененным рельефом сейсмичность корректируется только на вид грунта основания по табл. 18.

*Изменение сейсмичности в горных
местностях со сложной тектоникой*

Таблица 18

Наименование грунтов	Прираще- ния, баллы	Наименование грунтов	Прираще- ния, баллы
1	2	1	2
Граниты	0	Пески мелкие и пылева- тые	1,4-1,8

1	2	1	2
Известняки, сланцы, гнейсы (плотные)	0,2-0,4	Глины	1,2-1,6
Песчаники плотные	0,5-0,8	Суглинки	1,3-1,7
Известняки, сланцы, песчаники трещиноватые	0,7-1,1	Супеси	1,4-1,8
Гипсы	0,6-0,8	Суглинки с коэффициентом пористости $e \geq 1$	1,7-2,1
Мергели	0,7-1,0	Супеси с коэффициентом пористости $e \geq 0,7$	1,7-2,1
Цементированные пески	1,0-1,2	Насыпные грунты	2,3-2,6
Щебнистые и галечниковые грунты	0,9-1,3	Почвы	2,6-3,0
Гравийные грунты из кристаллических пород	1,0-1,4	Гравийно-галечные водонасыщенные грунты	1,6-2,0
То же	1,1-1,5	Песчаные водонасыщенные грунты	2,0-2,4
Пески гравелистые и крупные	1,2-1,4	Супеси и суглинки водонасыщенные	2,4-2,8
Пески средней крупности	1,3-1,6	Водонасыщенные почвы и насыпные грунты	3,3-3,9

Опасными для строительства в сейсмических районах следует считать участки с сильно расчлененным рельефом, берега рек, склоны оврагов и ущелий, оползневые и карстовые участки. Совсем не пригодны для строительства участки, расположенные вблизи тектонических разрывов (сбросов, горстов, грабенов, сдвигов и т.д.). Не рекомендуется возводить здания на стройплощадках, где подошва фундамента может достигнуть уровня подземных вод. Ибо при землетрясении в 6-7 баллов и более в таких условиях возникает большой гидростатический удар, способный разрушить любое здание.

В районах, где землетрясения не превышает 5 баллов, строительство обычно ведется без учета сейсмичности. При 6 баллах строительство ведут с учетом повышенных требований к качеству строительных материалов и работ.

На территориях, где сейсмичность превышает 7 баллов, проектирование и строительство осуществляют в соответствии со специальными строительными нормами. В этих районах здания и сооружения желательно размещать на равнинных участках, где основаниями могут быть массивные скальные породы или мощные толщи осадочных пород с глубоким залеганием подземных вод.

Конструкции возводимых зданий и сооружений должны быть антисейсмическими, что достигается как увеличением их жесткости, так и повышением их устойчивости к горизонтальной составляющей сейсмического удара.

Так как фундаменты являются “проводниками” сейсмических ударов, ибо вместе с породами колеблются и они, то большое значение имеет его конструкция и тип.

При расчетной сейсмичности 8 баллов высоту зданий в зависимости от конструктивных особенностей ограничивают 1-5 этажами, а при 9 баллах – 1- 4 этажами и длиной от 40 до 80 м. Фундаменты армируют металлическими стержнями или возводят из железобетона.

В зданиях с каменными стенами и стенами из крупных блоков устраивают железобетонные, железо-кирпичные и армокаменные антисейсмические пояса на уровне чердачного и междуэтажного перекрытий, а также над подвалом по всем продольным и поперечным стенам. В несущих каменных стенах предусматривают монолитные или сборные железобетонные перемычки на всю толщину стены. Междуэтажные и чердачные перекрытия зданий делают жесткими, тесно связывая их со стенами. Сборные железобетонные конструкции замоноличивают.

Наиболее эффективные технические антисейсмические мероприятия представлены на рис. 35.

Следует отметить, что антисейсмические мероприятия и элементы значительно удорожают строительство, и поэтому при выборе, нужно руководствоваться их назначением, долговечностью и капиталностью.

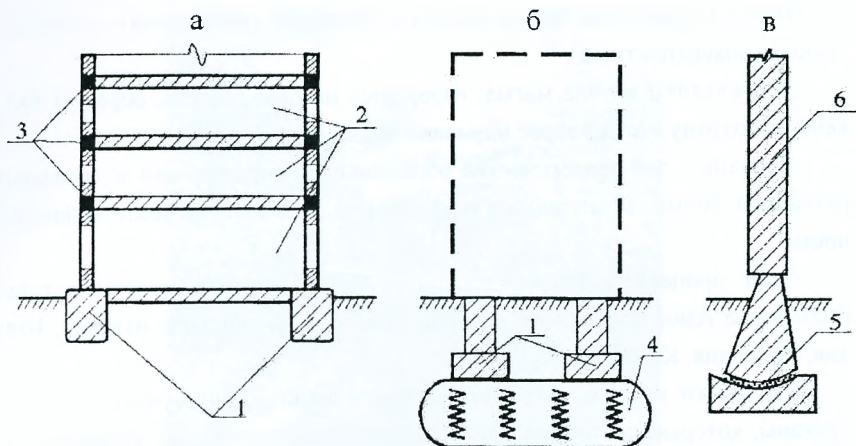


Рис. 35 Виды антисейсмических мероприятий: а - устройство антисейсмических поясов; б - устройство демпферных подушек под фундаментом; в - устройство шарнирно-подвижных фундаментов; 1 - фундамент; 2 - этажи; 3 - антисейсмические пояса; 4 - демпферные подушки; 5 - шарнирно-подвижный фундамент; б - стена здания.

Особые требования в сейсмических районах предъявляют к планировке городов, высоте и форме зданий. Город должен иметь свободную планировку, большое количество водоемов и водохранилищ (для снабжения жителей водой и тушения пожаров).

Следует также отметить, что республика Беларусь “ощущает” только эхо землетрясений в Карпатах и оно не более 1-2 баллов. Однако, проведенные исследования показывают, что основная часть республики находится в зоне Балтийско-Черноморского тектонического пояса и вполне возможно, что в какой-то период и здесь могут быть катастрофические землетрясения.

И в заключение рассмотрим общие сведения о вулканизме.

Как ранее мы отметили, магматизм является определяющим фактором в формировании земной коры. Под магматизмом понимается процесс возникновения магмы в глубинах литосферы и перемещение ее в верхние горизонты земной коры или на ее поверхность.

Отсюда магматизм может быть интрузивный (глубинный) или эффузивный (поверхностный).

В последнем случае магма, извергаясь на поверхность, образует вулканы, и поэтому этот процесс называют вулканизм.

Вулканы – это геологические образования в виде гор или возвышений различной формы, возникшие в местах прорыва магмы на земную поверхность.

Этот процесс проявляется, в основном, в районе геосинклиналей (побережье Азии и Америки, острова Тихого и Индийского океанов, Италия, Исландия, Камчатка, Курилы).

Различают вулканы потухшие и действующие. Действующие – это те вулканы, которые постоянно или периодически извергаются. Общее число действующих вулканов на Земле свыше 500, а потухших около 4000.

Наибольшее количество вулканов на территории СНГ на Камчатке, где располагается 129 вулканов, из которых 30 действующие. Наиболее активный – Ключевская сопка (высота около 5000 м), который извергается каждые 7-8 лет (рис. 36).

Наиболее крупные потухшие вулканы на Кавказе – Казбек, Арарат, Эльбрус.

Извержение вулканов происходит по-разному и зависит от типа извергаемой магмы. Основная магма извергается спокойно, а кислая и средняя, из-за своей плотности, извергается со взрывами, выбросом камней и пепла.

Для вулкана типа Кракатау при извержении характерны мощные подземные толчки и выброс большого количества газов и обломков в виде пепла. Лава при этом не изливается.

Для вулкана типа Пеле также характерно наличие подземных толчков с последующим взрывом и выделением тяжелых раскаленных пепло-газовых масс с большим содержанием сернистых компонентов.



Рис. 36 Общий вид Ключевской сопки.

По характеру извержения вулканы делят на четыре типа: кракатау, пелейский, гавайский и везувиальный (рис. 37).

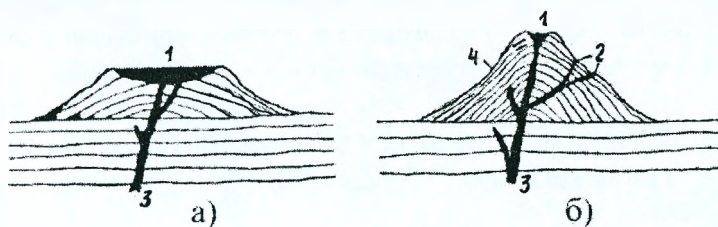


Рис. 37 Разрез вулканов: а - гавайский тип; б - тип Везувия, Кракатау, Пеле; 1 - кратер; 2 - побочные кратеры; 3 - жерло; 4 - вулканическая гора (конус).

Гавайский тип вулкана представляет собой возвышенность с озероподобным кратером, из которого спокойно, без толчков и взрывов, выливается лава.

Для вулканов типа Везувия характерны крутые склоны, сложенные слоями остывшей магмы, которая изливается при извержении.

При извержении всех типов вулканов характерно выпадение обильных дождей, за счет конденсации водяных паров.

Кроме вышеуказанных типов вулканов выделяют грязевые вулканы, которые распространены в области нефтяных месторождений. Высота их не более 700 м. Время от времени из их кратера выбрасывается грязь, вода и газ. Если грязевые вулканы располагаются в области разломов земной коры, то температура грязи может достигать до 70 °С и более.

Итак, в процессе извержения вулканов выделяются газообразные, жидкие и твердые продукты. Газообразные продукты (водород, кислород, углекислота, сера, хлор) часто бывают опасны для людей, но они выделяются только при извержении.

Жидкие продукты при извержении имеют температуру выше 1000 °С и стекая по поверхности конуса, они образуют лавовые потоки.

Твердые продукты – это вулканические пеплы в виде пыли, песка (Ø 1-3 см) и бомб (Ø 0,05-5 м) представляют собой застывшую магму и при извержении разлетаются на сотни метров.

Строительство в вулканических районах имеет много сложностей как с точки зрения обеспечения прочности и устойчивости зданий и сооружений, так и с точки зрения обеспечения безопасных условий проживания.

4.5 ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СТРОИТЕЛЬСТВО

Экзогенные геологические процессы сильнее и чаще влияют на строительство и геологическую среду в целом. Поэтому детально рассмотрим причины их возникновения, развития во времени, количественную оценку и выбор мероприятий, устраняющих их вредное влияние.

В таблице 18 приведена связь между главными агентами экзогенных геологических процессов и их влиянием на земную кору как преобразователей.

4.5.1 Процессы выветривания

Под процессом выветривания понимают разрушение и изменение состава горных пород, происходящее под действием таких агентов как температура, замерзание воды, химическое действие кислот, щелочей, углекислоты, действие ветра и организмов (рис. 38).

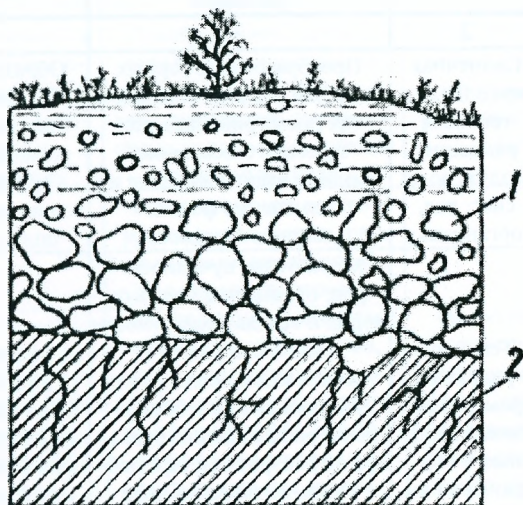


Рис. 38 Выветривание горных пород: 1- кора выветривания; 2 - порода, не затронутая выветриваем (коренная порода).

Главной особенностью процесса является постепенное и постоянное разрушение как верхних слоев литосферы, так и искусственно созданных строительных материалов, зданий и сооружений.

Связь определяющих факторов и главных агентов экзогенных процессов с их влиянием на геологическую среду

Таблица 19

Определяющий фактор	Главные агенты процессов	Разрушение или преобразование пород (денудация), перенос материала, образование денудационных форм рельефа	Отложение (аккумуляция) новых пород и образование аккумулятивных форм рельефа
1	2	3	4
Процесс выветривания (основной)	Солнечная инсоляция, тепловая радиация, воздух, вода, снег, лед, организмы	Преобразование горных пород в верхних горизонтах (выветривание), шелушение и осыпание, иногда выколачивание и изменение формы склонов и откосов	Образование элювия, коры выветривания и каменных россыпей. Возникновение ортштейнов и ортзандов (скоплений лимонита) под дерново-подзолистыми почвами
Процесс выветривания (тип А)	Тепловая радиация, промерзание, поверхностные и подземные воды, снег, лед, сила тяжести, человек	Мерзлотное пучение пород, оттаивание мерзлых пород и осадка поверхности земли с образованием впадин, мерзлотное растрескивание и образование медальонного рельефа, термоэрозия и термоабразия, вытаивание льда и образование впадин (термокарста) и полостей, течение поверхностных отложений на склонах (солифлюкция) и мерзлотные сплывы откосов, образование нагорных террас и курумов	Образование бугров пучения, ледяных бугров и потоков (наледей), солифлюкционных форм и накоплений на склонах, развитие марей, накопление воды в таликах или льда под землей, появление ядра мерзлых грунтов в теле земляных сооружений.

1	2	3	4
Процесс выветривания (тип В)	Солнечная инсоляция и тепловая радиация, сила тяжести, подземные и поверхностные воды, снег и лед, человек	Обвалы, камнепады, осыпи и курумы, лавины, оползи, изменение форм склонов и деформация откосов, сглаживание выступающих форм рельефа, подрезка склонов, создание откосов	Накопление осыпей, обвальных и оползневых масс, курумовых и лавинных отложений, образование курумов и каменных потоков, подсыпки при планировке и отвалы из выработок
Деятельность атмосферных вод	Подземные и стоячие поверхностные воды, организмы, человек	Преобразование донных пород восстановительными химическими процессами, размягчение поверхностных пород и образование дорожных колеи	Накопление болотных илов, сапропелей и торфа, зарастание водоемов и образование торфяников, оглеение почв
Деятельность подземных вод	Подземные воды, сила тяжести, человек	Выщелачивание растворимых пород (карст), размыв и вымывание пород под землей (подземная эрозия), вымывание и вываливание пород склона, откоса в местах выходов подземных вод на поверхность (суффозия), просадка поверхности земли в местах подъема уровня грунтовых вод в лессовых породах, образование пещер, подземных полостей и рек, провалов и просадочных опусканий на поверхности земли, солончаков.	Накопление пещерных отложений, сталактитов и сталагмитов, известковых туфов, гейзеров и других натечных форм и пород, обломочных пород обрушенных кровель карстовых полостей, засоление почв и грунтов.

1	2	3	4
Деятельность ветра	Ветер, человек	Развевание пород, образование котловин, пещер, ячей и других форм выдувания и выветривания, движение песков и пыльные бури, образование каньонов грунтовых дорог в лессовых породах вследствие уничтожения или угнетения и разрежения растительного покрова	Образование песчаных дюн, бугров, барханов и их цепей, лессовых покровов и холмов, заносы зданий и сооружений движущимися песками
Деятельность рек	Текущие поверхностные воды, сила тяжести, человек	Смыв со склонов и размыв пород и почв, перенос материала водой, образование эрозионных русел, оврагов и террас, промоин в местах сброса воды из каналов, просадка в местах утечек воды	Выполаживание склонов, накопление делювия пролювия и аллювия, покровов, конусов выноса, аллювиальных (аккумулятивных) террас и дельт, заиление чаш озер и водохранилищ
Деятельность озер, водохранилищ и болот	Воды морей, озер и водохранилищ, человек	Разрушение берегов (абразия), перенос материала волнами и течениями, образование волноприбойных ниш и абразионных (вырезанных водой) террас, формирование берегов водохранилищ, просадка (опускание) поверхности земли в местах подъема уровня грунтовых вод	Отложения на дне и берегах морей, озер и водохранилищ, пляжах, на береговых валах и дюнах, заболачивание и засоление прибрежной полосы водохранилищ при подъеме уровня грунтовых вод

1	2	3	4
Деятельность ледников	Движущийся лед, сила тяжести	Выпахивание (экзарация) с образованием углублений на поверхности земли, перенос материала движущимся и плавающим льдом и тальми водами ледников, сглаживание выступов и склонов, образование ниш на берегах, обрушение берегов во время ледохода	Аккумуляция ледниковых и водно-ледниковых отложений, покровов, валов и холмов, валунных полей и скоплений

Интенсивность проявления выветривания зависит от силы агентов выветривания, их взаимодействия, состава пород и геологического строения местности. При этом наиболее сильно оно проявляется у поверхности земли, а с глубиной, куда доступ агентам выветривания затруднен, этот процесс ослабевает, а затем затухает совсем.

Область активного современного выветривания достигает до 10 м и более, что в конечном итоге обуславливает образование коры выветривания. В ее состав входят видоизмененные горные породы и продукты их разрушения (рис. 39).

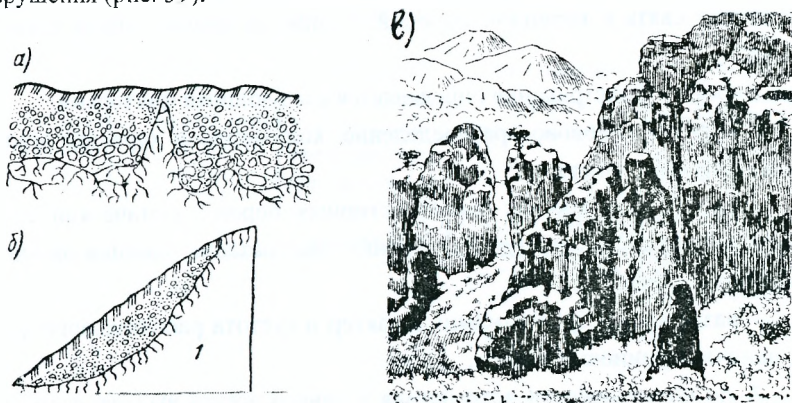


Рис. 39 Схема образования элювиальных отложений и форм: а - элювиальная толща; б - конус осыпания; в - останцы; 1 - коренные породы.

На рис. 40 показан фотоснимок, отражающий схему образования элювиальных отложений на Новогрудской возвышенности.



Рис. 40 *Общий вид условий образования элювиальных отложений.*

Продукты выветривания горных пород, остающиеся на месте их образования, называются элювисом. Отличительным признаком элювия является его тесная связь с коренной породой. Одним из видов элювия являются почвы.

Характер выветривания определяется следующими факторами:

- климатом: годовое распределение, количество и характер осадков, распределение температур;
- свойствами породы (массива горных пород): химический состав, объем пор, расстояние между поверхностями раздела, ширина раскрытия трещин в массиве;
- различными организмами: характер и густота растительного покрова, наличие гуминовых кислот.

А по интенсивности воздействия главного агента выделяют три вида выветривания – физическое, химическое и биологическое. В табл. 20 при-

ведена связь между видами выветривания, их причинами, формой проявления и способами защиты от них.

*Виды выветривания пород и рекомендации
по способам защиты*

Таблица 20

Выветривание		Причина	Процесс, формы проявления	Способы защиты
1	2	3	4	5
Ф И З И Ч Е С К О Е	Темпера- турное	Обусловлен- ная климатом разность температуры (инсоляция)	Разрыхление и разрушение структуры, обра- зование щебня или дресвы, шелушение, растрескивание породы	Защита породы с помощью покры- тия из песков, су- глинков бетона или искусствен- ных материалов, биологические мероприятия
	Морозное	Увеличение объема воды на 9% в про- цессе замерза- ния	Разрыхление, растрескивание породы	Водоотталки- вающие средства
	Соляное	Увеличение объема и кри- сталлизацион- ного давления при кристалли- зации солей из растворов	Разрыхление породы, выцветы солей	

продолжение таблицы 20

1	2	3	4	5
ХИМИЧЕСКОЕ	Выщелачивание	Растворение минералов и пород, увеличение объема за счет водопоглощения (гидратации)	Формы выщелачивания (блюдцеобразные углубления, карстовые колодцы, полости) вторичные признаки опускания поверхности и провалы, складчатость, связанная с разбуханием гипса	Отвод воды, искусственная нейтрализация, введение определенных веществ для снижения растворимости породы, покрытие суглинком, бетоном, инъекции
ХИМИЧЕСКОЕ	Углекислосое От действия дымовых газов Окислительное Силикатное	Содержание в воде углекислоты Образование CO_2 и SO_2 при сгорании угля Реакция O_2 воды с Fe^{2+} Реакция силикатов с ионами вода (гидролиз)	Карстовые явления (карры, пещеры, долины) Образование агрессивных кислот Образование бурого и красного железняка (налеты на поверхностях трещин) Образование глинистых минералов, силлитовое выветривание в гумидных областях, аллитовое выветривание в тропических гумидных областях, образование почв	Удаление выветрелых пород

продолжение таблицы 20

1	2	3	4	5
БИОЛОГИЧЕСКОЕ	Биофизическое	Размокание пород от корней растений, утолщения корней	Разрыхление структуры, растрескивание породы	Удаление растений и насаждение более благоприятных видов
	Биохимическое	Выделение растениями CO_2 и гуминовой кислоты	Образование почв	

Как видим из таблицы 20 физическое выветривание выражается в механическом дроблении пород, без существенного изменения их минерального состава. Основной причиной выветривания являются температурные явления, то есть неравномерное и попеременное нагревание и охлаждение пород.

Особенно сильно физическое выветривание проявляется у полиминеральных пород, так как слагающие их минералы имеют различные тепловые свойства и соответственно их контактное сцепление сильно ослаблено.

Иногда говорят о морозном выветривании, которое наблюдается в микротрещиноватых породах. Вода, проникая в микротрещины, при замерзании увеличивается в объеме на 9-12% и развивает за счет этого боковое давление до 240 МПа, что приводит к расширению и углублению трещин.

Многие породы разрушаются при намокании и высыхивании (мергели), а также под действием механической силы и ударного действия песчинок при ветре.

Степень выветривания пород обычно определяется по характерным внешним признакам – изменению цвета и наружного вида пород, образованию трещин выветривания, уменьшению плотности и прочности, образованию вторичных минералов.

По степени выветривания (выветрелости) различают породы: очень выветрелые ($B_c > 0,9$, где B_c - степень выветривания), выветрелые ($B_c = 0,7 - 0,9$), средневыветрелые ($B_c = 0,3 - 0,7$) и слабовыветрелые ($B_c < 0,3$).

Физическое выветривание воздействует и на искусственные строительные материалы. Особенно интенсивно выветриваются наружные части зданий и сооружений.

Химическое выветривание проявляется в разрушении горных пород путем растворения и изменения их состава. Главные агенты процесса - вода, кислород, уголекислота и органические кислоты.

Кроме растворения в породах протекают реакции окисления, обмена, замещения, гидратации и дегидратации.

В результате этих реакций разрушаются первичные минералы и образуются вторичные (хлориды, карбонаты, сульфаты, гидрослюда, каолинит, монтмориллонит).

Простейшим видом химического выветривания является растворение в воде. Легко растворяются гипс и каменная соль.

Не менее разрушительное действие имеют процессы гидратации (переход ангидрита в гипс) и окисления (превращение пирита в гидрат окиси железа, полевых шпатов в каолинит и т.д.).

Интенсивность химического выветривания зависит от площади воздействия воды и растворов, их температуры и степени устойчивости минералов.

Наиболее устойчивы – роговая обманка и кальцит.

Особое значение химическое выветривание имеет в условиях влажного и теплого климата.

Биологическое (органическое) выветривание проявляется в разрушении горных пород в процессе жизнедеятельности живых организмов и растений.

Этот процесс проходит в два этапа - сначала механическое дробление, а затем воздействие органических кислот. Механическое разрушение производят растения своей корневой системой и землеройные животные. Бактерии, микробы и низшие растения (водоросли, мхи и лишайники) выделяют различные кислоты, которые активно взаимодействуют с минералами, разрушая их и формируя минеральные новообразования.

Биологическое выветривание происходит повсеместно и оно является основным в образовании почв.

С инженерно-геологической точки зрения, основная направленность процесса выветривания состоит в изменении физического состояния и физико-механических свойств горных пород, что приводит к снижению устойчивости пород в основании зданий и сооружений, склонах, откосах и подземных выработках. При этом свойства выветрелых пород зависят от степени выветрелости, минерального состава и структуры исходной породы.

Глубинные магматические породы при выветривании быстро теряют свою прочность и превращаются в “рухляки”, состоящие в основном из кварца и полевого шпата. Временное сопротивление сжатию колеблется в пределах от $0,9 \cdot 10^3$ до $10 \cdot 10^3$ кПа.

При разрушении “рухляков” образуются крупнообломочные элювиальные грунты, физико-механические характеристики которых зависят от механической прочности обломков пород.

Так, например, щебнистые грунты кислых пород имеют расчетное сопротивление около 1000 кПа, а основных – 700 кПа.

Элювиальные песчаные грунты, для которых характерна вторичная цементация, в зависимости от коэффициента пористости, имеют расчетное сопротивление в пределах 150-250 кПа.

Свойства глинистого элювия зависят от состава глинистых минералов, дисперсности и влажности. Их характерная особенность – набухание, представляющее собой увеличение объема породы при увлажнении, и осадка – уменьшение объема при высыхании.

Как набухание, так и усадка – значительно ухудшают условия строительства и эксплуатации.

Элювий метаморфических пород по своим свойствам близок к элювию основных и ультраосновных магматических пород.

Выветривание осадочных пород отличается своеобразием, то есть наибольшему разрушению подвергаются породы химического и органогенного происхождения и сцементированные обломочные. Они могут полностью растворяться в воде или быстро дробиться до частиц песчаных (2-0,5 мм) и глинистых (<0,005 мм) размеров.

В цементированных породах в первую очередь разрушается цемент, и песчаник снова превращается в песок, а конгломерат – в гальку и гравий, с песчаным или глинистым заполнителем.

При выветривании глинистых пород происходит образование и раскрытие трещин, увеличение пористости и образование вторичных минералов. Все это повышает сжимаемость пород и снижает сопротивляемость их сдвигу.

Отсюда видно, что процессы выветривания могут настолько изменить свойства грунтов и в целом инженерно-геологические условия строительной площадки, что строительство зданий и сооружений без проведения специальных мероприятий невозможно, или, по крайней мере, очень сложно.

Рассмотрим основные меры борьбы с процессами выветривания.

Во-первых, при выборе оснований кору выветривания необходимо прорезать фундаментом до невыветренной породы, либо укреплять ее способами технической мелиорации.

Во-вторых, процесс выветривания необходимо учитывать и на период эксплуатации зданий и сооружений. Породы и строительные материалы, не защищенные от агентов выветривания, постепенно будут разрушаться, снижая прочность и устойчивость зданий и сооружений. На рис. 41 даны основные принципы стабилизации (технической мелиорации грунтов).

Основными мероприятиями по предотвращению выветривания и улучшению свойств являются:

- а) покрытие горных пород непроницаемыми материалами;
- б) пропитывание пород различными веществами;
- в) нейтрализация агентов выветривания;
- г) планировка территорий и отвод воды.

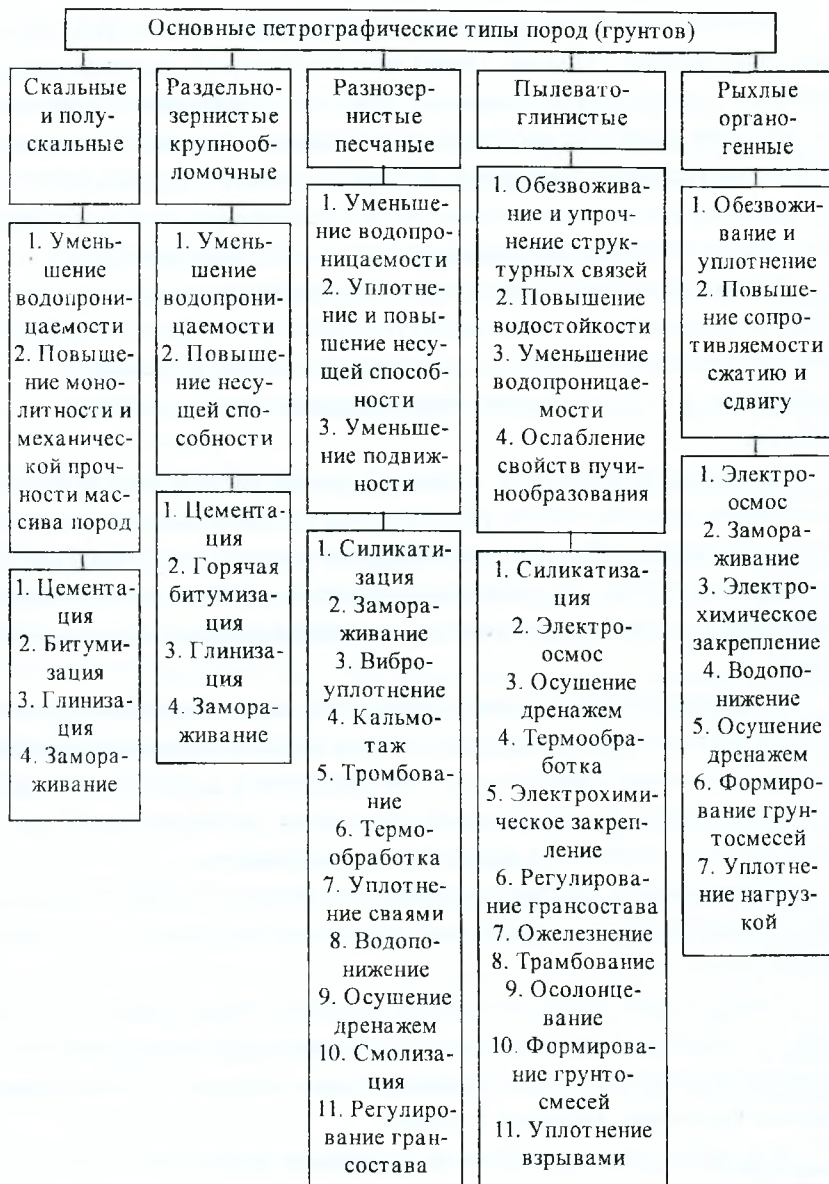


Рис. 41 Принципы стабилизации (технической мелиорации) грунтов.

Покрытие горных пород различного вида материалами (гудрон, бетон, цементный раствор, суглинок, глина) зависит от главных факторов выветривания и глубины их проникновения. При этом если гудронное и цементное покрытия защищают породы от проникновения воды, но не защищают от влияния колебания температур, то слой уложенного суглинка является как хорошим водонепроницаемым, так и теплоизолирующим покрытием. При этом суглинок сам мало изменяется под воздействием выветривания.

Широко применяют и различные меры гидроизоляции котлованов, если они должны находится в открытом состоянии долгое время. В ряде случаев дно котлованов не доводят до проектной отметки, а оставшийся слой (мощностью 0.2-0.3 м) снимают непосредственно перед устройством фундаментов.

При высокой пористости и сильной трещиноватости породы можно пропитывать жидким стеклом, расплавленным гудроном, цементным и глинистым растворами. Жидким стеклом хорошо укреплять песчаные и песчано-глинистые грунты, расплавленным гудроном – щебенистые отложения, цементным и глинистым растворами – песчаные и скальные трещиноватые породы.

Нейтрализация агентов выветривания из-за высокой стоимости применяется в практике сравнительно редко. Таким методом является насыщение фильтрующей воды солями, которые она растворяет в данной горной породе. В этом случае фильтрационный поток теряет растворяющую способность, то есть способность к химическому выветриванию.

Нейтрализовать действие подземных вод можно и устройством дренажей, а поверхностных – устройством ливнеотоков, нагорных канав, планировкой местности.

Защиту строительных материалов и изделий осуществляют их изоляцией от воздействия агентов влияния, с помощью различных покрытий – штукатуркой, жидким стеклом, органическими пленками, кремнийорганическими растворами, красками и лаками.

А в целом, при строительстве желательно использовать материалы наиболее устойчивые к выветриванию.

4.5.2 Геологическая деятельность ветра

На земной поверхности постоянно дуют, с различной скоростью и силой, ветры. При этом они могут переходить в ураганы, когда скорость ветра достигает 70 м/с и более. Для сравнения, ветер при скорости 20-25 м/с вырывает деревья с корнями.

Ветер совершает следующую геологическую работу:

- а) разрушение земной поверхности (выдув, дефляция, обтачивание, коррозия);
- б) перенос продуктов разрушения;
- в) отложение (аккумуляция) продуктов разрушения в виде скоплений различной формы.

Все эти процессы называются эоловые, а продукты выветривания – эоловые отложения.

Выдувание (дефляция) возникает в результате воздействия механической силы ветра, обуславливающей отрыв отдельных частиц и их унос. Особенно сильно этот процесс проявляется в районах, сложенных рыхлыми или мягкими породами. При этом ветер может выдуть котловины, борозды и траншеи в пылеватых суглинках, песках и солончаках. В Казахстане имеется котловина длиной более 150 км, шириной до 10 км и глубиной до 150 м.

Очень интенсивно выдуваются почвенные слои после нарушения дернового покрова, вырубки деревьев и кустарников.

Движение ветра обычно сопровождается переносом пыли, песка, а иногда и гравия. Ударяясь о поверхность пород они перетирают, сверлят и обтачивают их поверхность. Это приводит к появлению на поверхности борозд, желобов, углублений и других форм микрорельефа. Такой процесс микрорельефного обтачивания называется коррозией. За счет коррозии приходят в негодность столбы и провода, фасады зданий, поверхностные инженерные коммуникации.

Перенос продуктов выдувания может совершаться как во взвешенном состоянии, так и путем перекачивания в зависимости от их размеров и скорости ветра.

Во взвешенном состоянии переносятся обычно тонкопесчаные, пылевые и глинистые частицы. Они могут переноситься на сотни и даже тысячи километров. Крупные песчаные частицы перемещаются в основном перекатываясь по земле или перемещаясь на небольшой высоте.

При уменьшении скорости ветра или других благоприятных условиях происходит отложения (аккумуляция) переносимого материала. Так формируются эоловые (ветровые) отложения (*eol Q_{IV}*).

В своем большинстве они представляют собой накопления песка и пыли. По степени закрепления они делятся на подвижные (дюны и барханы) и закрепленные (грядовые и бугристые пески). Дюны образуются по берегам рек и морей в результате наиветания песка ветром возле препятствия (кустарник, дерево, столб, здание) (рис. 42).

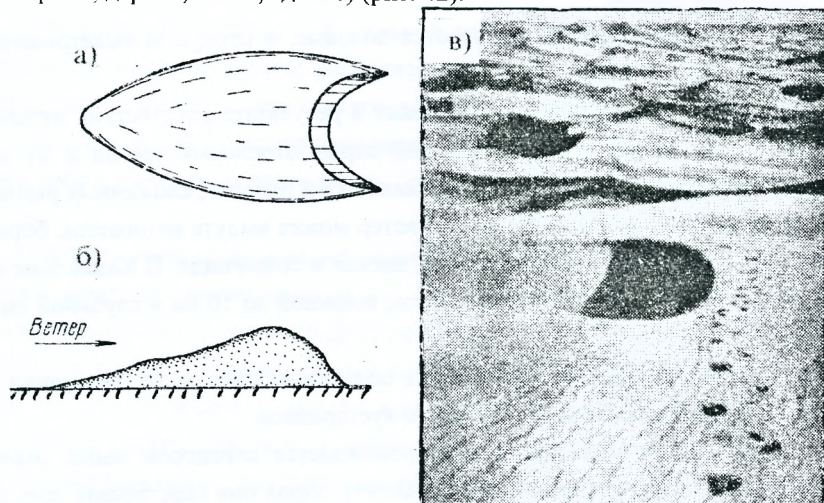


Рис. 42 Барханы: а - план; б - разрез; в - общий вид.

Обычно дюна представляет собой холмовидное накопление песка высотой 20-40 м и более. Характерной их особенностью является движение за счет перекатывания ветром песчинок с одной стороны холма на другую. Дюны обычно образуют цепь холмов, скорость движения которых определяется силой господствующих в данной местности ветров и колеблется в пределах 1-25 м/год.

В Беларуси эоловые отложения образовались в результате накопления перенесенных ветром частиц рыхлых осадочных пород – аллювия, озерных, флювиогляциальных и др. отложений. Эоловые отложения распространены в Белорусском Полесье, на террасах Немана, Березины и всех низинах.

Под воздействием ветра происходит дифференциация осадочных материалов: мелкие частицы выносятся, а крупные остаются на месте. Для них характерна ярко выраженная косая слоистость. Эоловые пески, образовавшиеся на переувлажненных озерно-ледниковых отложениях содержат более 70% частиц размером менее 0,1 мм. Минералогический состав их формирует кварц (85-90%) и полевые шпаты (5-10%). Часто эоловые отложения образуют доны, небольшие холмы и бугры.

На рис. 43 показан фотоснимок перевеваемых песков (д. Хомичи Калининковского района).

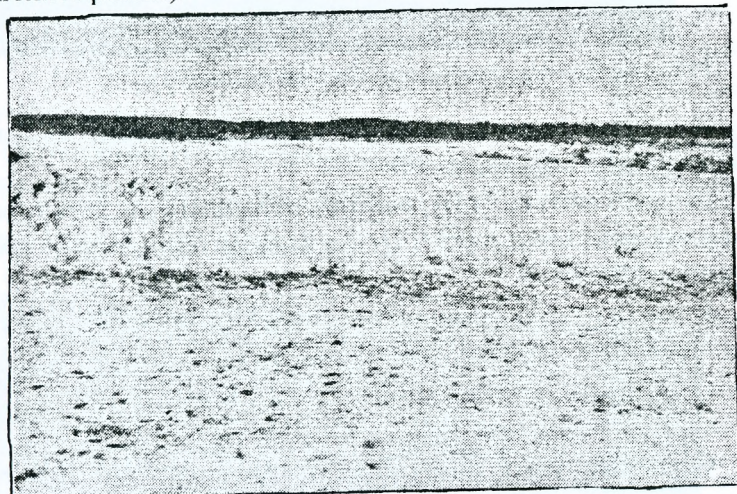


Рис. 43 *Общий вид перевеваемых песков.*

Если на местности постоянно дуют ветры в одном направлении, то могут сформироваться барханы. Бархан – это песчаный холм серповидной и асимметричной формы. Наветренный откос всегда пологий ($\varphi=12-15^\circ$), а подветренный более крутой с углом откоса до $30-40^\circ$. Их высота может достигать до 200 м, а ширина до 300-500 м и более.

Барханы сложены обычно подвижными песками. Скорость их передвижения обычно до 70 м/год. Но при этом иногда они в сутки могут переместиться на 5-10 м.

Перемещаясь, барханы заносят песком поля, каналы, дороги, оазисы, здания, селения и даже города (рис. 44).

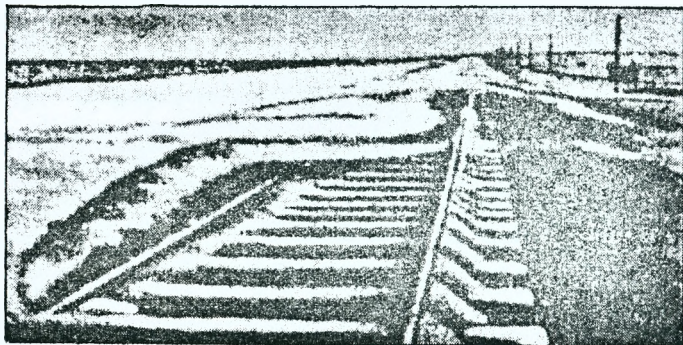


Рис. 44 Железная дорога, засыпанная песком.

Эти отложения характерны для пустынь (Каракумы, Кызылкумы) и Прибалтийского побережья.

Следует отметить, что в последние десятилетия и в нашей республике появились подвижные пески. Сегодня площадь опустыненных земель уже превышает 200 тыс. га.

Строительство и эксплуатация зданий и сооружений в таких местностях требует постоянной борьбы с подвижными песками.

С этой целью применяют следующие методы:

- а) установку на пути движения песков щитов;
- б) биологическое закрепление, путем посадки растительности (кустарников, деревьев, травы);
- в) создание поверхностной защитной пленки, путем обработки поверхности различными веществами и растворами (битум, цемент, жидкое стекло, глинистые суспензии);
- г) проектирование “безаккумуляционных” форм сооружений, не допускающих скапливания песка в его пределах.

Кроме этих форм в местах постоянного проживания выделяют — закрепленные пески, грядовые пески и бугристые пески, для которых характерна вытянутая форма распространения высотой до 10 м, неподвижность и относительно постоянный растительный покров.

С геологической точки зрения пылеватые накопления более древнего возраста способствовали формированию лессовых образований, мощность которых колеблется от 1 до 100 м. Они имеют специфические строительные свойства, которые мы рассмотрим позже.

4.5.3 Геологическая деятельность атмосферных вод

Ежегодно на земную сушу выпадает до 112 тыс. км³ атмосферных вод в виде дождя, снега и льда. Вода растекаясь по поверхности в сторону уклона, разрушает горные породы, переносит и откладывает продукты разрушения. Такой вид геологической деятельности называется эрозией (лат. — размывание).

В зависимости от характера движения эрозия может быть плоскостной (при образовании сплошного поверхностного потока и действии воды по всей поверхности) и струйчатой (при образовании отдельно движущихся струй и ручьев). При этом если плоскостная эрозия выполаживает местность, смывая верхний плодородный слой почвы, то струйчатая — способствует образованию промоин, оврагов и т.п. Но любой вид эрозии формирует элювиальные отложения. При этом, если на склонах и у их подошвы накапливается делювий (делювиальные отложения), то в понижениях — пролювий (пролювиальные отложения). Эти отложения широко распространены и почти сплошным покровом покрывают коренные породы.

Делювий (*dQ*) покрывает все склоны и их подошвы, за исключением обрывистых участков и пустынных районов. Его состав очень разнообразен и, в отличие от элювия, он не схож с составом подстилающих коренных пород. По минералогическому составу делювий соответствует породам, расположенным выше по склону.

Литологически он может быть представлен суглинками, супесями, песками с включениями щебня и крупных обломков скальных пород. Осо-

бенно большое развитие имеют делювиальные суглинки, очень сходные по структурным и химико-минералогическим характеристикам с лессовыми породами, поэтому их чаще называют лессовидными суглинками.

Схема образования наносов дана на рис. 45.

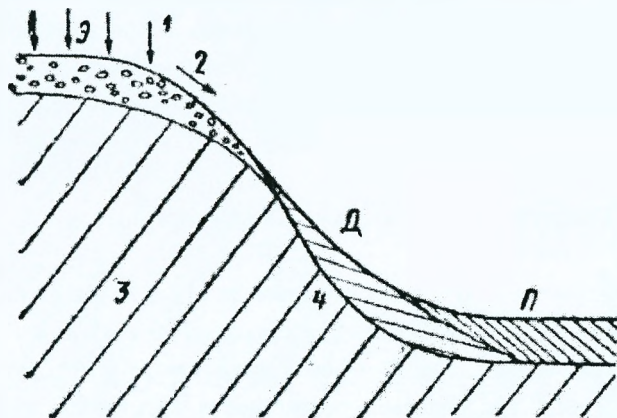


Рис. 45 Схема образования наносов: Э - элювий; Д - делювий; П - пролювий; 1 - атмосферные осадки; 2 - плоскостной смыв; 3 - коренные породы; 4 - первоначальная поверхность склона.

На рис. 46 дан разрез полого-волнистой водно-ледниковой равнины, где четко видны слои наносов различного происхождения.



Рис. 46 Разрез полого-волнистой водно-ледниковой равнины (г. Бобруйск).

По схеме образования видно, что делювий не может иметь в своем строении правильной слоистости, а мощность может колебаться от нескольких метров до десятков метров.

С точки зрения строителя, делювий — это основание с большой пестротой физико-механических и физико-химических свойств и имеющее такое отрицательное свойство, как способность к сползанию вниз по склону.

Пролувий (*plQ*) представляет собой комплекс рыхлых образований неоднородного состава, особенно по вертикали. Пролувий обычно формируется в виде отложений конусов выноса рек. Его формирование характерно и для горных подошв (предгорные шлейфы) и для мест выхода на равнину селевых (грязекаменных) потоков. Поэтому литологически пролувий обычно представлен толщей суглинков и супесей с прослойками крупнозернистых материалов (песков, гравия, валунов).

Струйчатая эрозия в конечном итоге приводит к образованию вытянутых депрессий рельефа - оврагов, которые со временем переходят в балки.

Наиболее интенсивно овраги возникают в условиях расчлененного рельефа и сухого климата, при котором осадки выпадают в виде коротких и сильных дождей.

Наиболее легко размываются лессовые породы особенно в местах, где отсутствует растительный покров. Поэтому, в районах распространения лессовых пород овраги имеют широкое развитие.

Схема оврагообразования дана на рис. 47.

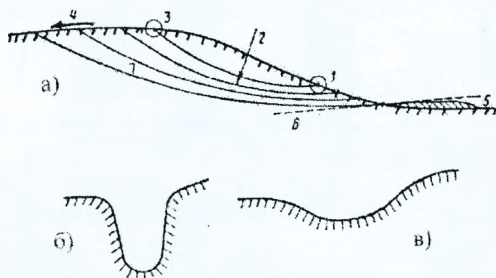


Рис. 47 Продольный разрез (а) и поперечные сечения (б и в) оврага: 1- устье; 2 - ложе; 3 - вершина; 4 - направление роста оврага; 5 - конус выноса; 6 - базис эрозии; 7 - предельный профиль равновесия.

В овраге различают вершину, ложе и устье. Обычно он растет вершиной вверх по склону, с одновременным углублением и расширением, что приводит к образованию отвершков (боковых ответвлений).

Предельной отметкой, до которой возможен размыв ложа оврага, является уровень бассейна (река, озеро, водохранилище), в который впадает водоток оврага. Этот уровень называется базисом эрозии.

Если проанализировать динамику развития оврага, то нужно отметить, что в начале своего развития овраг имеет небольшую ширину при большой глубине и обрывистые без растительности борта, то есть он является активным.

При достижении оврагом предельного профиля равновесия процесс оврагообразования затухает, и он переходит в стадию пассивного, то есть не развивающегося. Склоны его зарастают, и он превращается в балку.

Размеры балок и оврагов самые различные: длина от десятков метров до 200 км, а глубина от 1-2 м до 150 м. Скорость роста зависит от активности водотока и характера коренных пород и может достигать 15-40 м/год. Размывающая деятельность овражных водотоков обуславливает формирование овражного аллювия.

Оврагообразование наносит значительный ущерб народному хозяйству страны, так как сокращает полезные площади, нарушает дорожные полотна, приводит к авариям зданий, сооружений и инженерных коммуникаций (рис. 48).

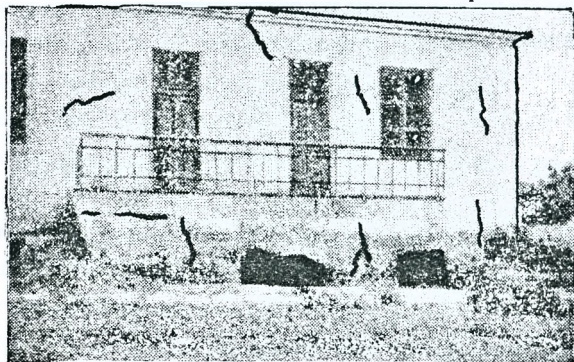


Рис. 48 Деформация здания, расположенного на участке с развивающимся оврагом.

В борьбе с оврагообразованием большое значение имеют профилактические мероприятия: недопущение распахивания склонов; сохранение на склонах древесно-кустарниковой растительности и дернового покрова; регулирование стока атмосферных вод системой нагорных канав и водоотводящих валов. При возникновении и росте оврага необходимо применять комплекс инженерных мероприятий, направленных на ослабление силы размывающего потока и укрепление грунта русла и склонов оврага. Обычно это достигается с помощью устройства продольных и поперечных стенок, а также лотков и водоотводов.

Если временные водные потоки формируются в горных местностях, то они по ходу движения переходят в грязекаменные потоки, называемые селями. Сель – это горный, быстросекущий поток, представляющее собой грозное явление природы катастрофического характера.

Они делятся на турбулентные (несущие немного обломочного материала) и грязекаменные (твердого материала может быть до 50% объема). Средняя скорость движения селевых потоков может достигать до 4-8 м/с.

Для развития селя необходимы три условия: накопление рыхлых продуктов выветривания; ливневые дожди; значительные уклоны поверхности стока.

При инженерно-геологических изысканиях под строительство в обязательном порядке необходимо выявление районов, где наблюдаются сели или возможно их появление. Исследования проводятся во всех зонах селевого бассейна (рис. 49) – зоне питания, зоне транзита и зоне формирования конуса выноса.

Главным в исследованиях является – определение свойств селевого потока и их количественных показателей (плотность, скорость движения и ударная сила).

При этом по плотности можно судить о насыщенности селя твердым материалом, а по ударной силе – о количестве воды и твердого материала.

Для борьбы с селями используются как профилактические мероприятия, так и строительство инженерных сооружений. Профилактические мероприятия могут как предотвратить появление селя, так и ослабить его действие в самом начале процесса.

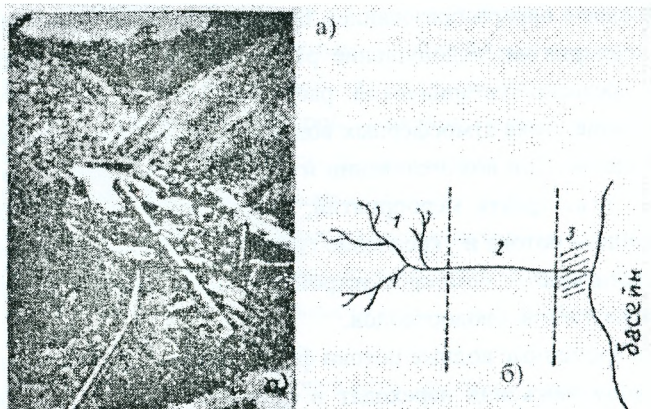


Рис. 49 Последствия селевого потока (а) и его зоны: 1- площадь водосбора; 2 - канал стока; 3 - район конуса выноса.

Самым радикальным является лесонасаждение на селеопасных горных склонах. Лес регулирует сток, уменьшает массу воды в потоке, рассекая его на отдельные ручейки, а также способствует закреплению элювия и ослаблению процесса его размывания. Не менее эффективно и террасирование склона, а также перехват и отвод воды нагорными каналами и земляными валами.

В качестве инженерных сооружений эффективны запруды, устанавливаемые поперек русла, и селеулавливатели в виде котлованов, бассейнов и селехранилищ. В некоторых случаях эффективны и направляющие дамбы, берегоукрепительные и подпорные стенки.

Для защиты населенных пунктов и отдельных сооружений широко применяют отводные каналы, направляющие дамбы и селеспуски в виде железобетонных лотков и каналов.

Селеопасность особенно необходимо учитывать при проектировании дорог, инженерных коммуникаций и других больших и ответственных сооружений.

В районах с крутыми горными склонами могут наблюдаться и снежные лавины, представляющие обрушение больших масс снега. Они могут быть сухими и мокрыми. Скорость их движения может колебаться от 20 до

400 км/ч. По мере своего движения вниз они захватывают массы снега и различного обломочного материала. Сила их удара может достигать до 600 кПа. И обычно снежная лавина образует перед собой воздушную волну, которая в свою очередь обладает не менее разрушительной силой.

По характеру движения они делятся на осовые, лотковые и прыгающие. Осовые лавины представляют собой сползающие снега на большой площади. Лотковые лавины движутся по ложбинам узкой полосой. Прыгающие лавины представляют собой быстрый сброс снежных масс с обрыва в долину.

При инженерно-геологических изысканиях обязательным является определение путей и границ движения снежных лавин, область действия воздушной волны и ее направленность.

Способы защиты очень разнообразны и зависят от характера движения лавины и местности. Самым радикальным является борьба с их образованием с помощью обстрела из орудий или обрушиванием взрывпакетами.

Инженерные мероприятия включают в себя как террасирование склонов и залесение, так и устройство специальных борозд, отбойных и направляющих стенок.

Для защиты зданий и дорог устраиваются специальные дамбы и железобетонные галереи.

4.5.4 Геологическая деятельность рек

Временные ручьи атмосферных осадков и подземные воды собираются в постоянные водопотоки, называемые реками. На пути своего движения реки совершают большую геологическую работу – разрушение горных пород (эрозия), перенос и отложение продуктов разрушения (аккумуляция).

Кроме того движущийся поток истирает породы обломками (водная коррозия) и оказывает растворяющее действие.

Перенос продуктов эрозии осуществляется в растворенном виде, во взвешенном состоянии и перекатывании по дну. При этом если во взвешенном состоянии передвигаются пылевато-глинистые и тонкопесчаные частицы, то перекатыванием по дну передвигаются твердые обломки. В гор-

ных реках могут передвигаться даже и валуны диаметром до 1 м. В растворенном состоянии река может переносить до 30% всех продуктов эрозии.

При аккумуляции продуктов эрозии образуются речные (аллювиальные - alQ) отложения.

За счет боковой и глубинной эрозии, а также аккумуляционной деятельности потока всегда формируются речные долины, которые представляют корытообразные, вытянутые углубления (рис. 50). Река, как и биологический объект проходит в своем развитии все стадии – зарождение, детство, отрочество, юность, зрелость, дряхлость и умирание.

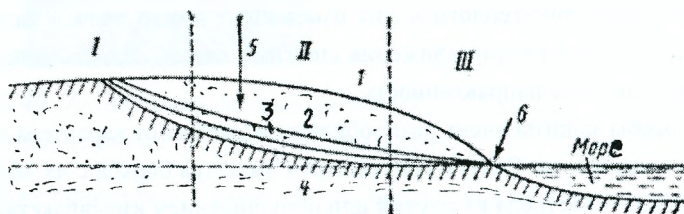


Рис. 50 Продольный профиль реки: I - верхнее течение; II - среднее течение; III - нижнее течение; 1, 2, 3 - последовательные стадии выработки профиля реки; 4 - продольный профиль; 5 - направление донной эрозии; 6 - базис эрозии.

На стадиях детства, отрочества и юности река имеет значительный уклон и большую скорость, что обуславливает интенсивное действие донной эрозии. Долина поэтому узкая и глубокая, а в горных районах формируются теснины и ущелья. В стадии зрелости формируется профиль равновесия, то есть долина достигает предельного продольного профиля, что обуславливает уменьшение уклонов и снижение скорости потока. Здесь глубинная эрозия сменяется на боковую. Поэтому наблюдается размыв берегов и меандрирование (блуждание) русла. При переходе в стадию дряхлости (старости) река мелеет, появляются отмели, перекаты и косы, которые формируются за счет осаждения продуктов эрозии.

Профиль равновесия реки, как и вся ее эрозионная деятельность зависит от базиса эрозии, под которым понимают уровень водного бассейна (река, озеро, море), куда впадает река.

Изменение базиса и нарушения земной коры (неотектоника) может привести к возобновлению активной геологической деятельности реки. Долина начнет углубляться и река снова повторяет все стадии своего развития.

Большое влияние на развитие рек оказывает производственная деятельность человека. Интенсивный забор воды для водоснабжения и орошения сельхозкультур усиливает аккумуляцию наносов на этом участке. Сброс же большого количества воды в реку (с орошаемых территорий, с систем водопонижения, подземных сооружений и т. д.) приводит к усилению эрозионной деятельности. Особо сильное влияние на базис эрозии всей речной системы оказывает строительство водохранилищ. Выше плотины усиливается аккумуляция наносов, а ниже – донная эрозия.

При инженерно-геологической оценке территории геологическую деятельность рек необходимо изучать как с точки зрения ее связи с естественными природными причинами, так и с учетом хозяйственной деятельности человека. При этом изучать необходимо особенности строения речных долин, процессы, обуславливающие размыв русел, аккумуляцию наносов, размыв берегов и способы эффективной борьбы с этими процессами.

Речные долины по формам, размерам и строению могут быть самые разнообразные. На рис. 51 дан поперечный разрез (строение) долины реки и формы поперечного сечения речных долин, а на рис. 52 – типы надпойменных террас.

Долина состоит из следующих элементов: дно долины, тальвег, русло, поймы и террасы.

Дно – это низкая часть долины, заключенная подошвами склонов.

Тальвег – условная линия, соединяющая самые глубокие точки дна долины.

Русло – часть долины, которая занята водным потоком, поперечный разрез которого называют живым сечением. Для русла не характерна устойчивость и оно часто меандрирует. Остатки старых русел, отделившихся от главного потока, называют старицами.

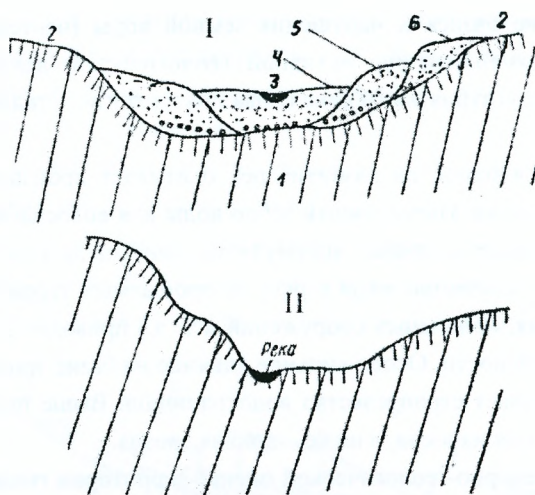


Рис. 51 Поперечные разрезы речных долин: I - симметричная; II - асимметричная; 1 - коренное ложе; 2 - коренной склон; 3 - русло; 4 - пойма; 5 - первая надпойменная терраса; 6 - вторая надпойменная терраса.

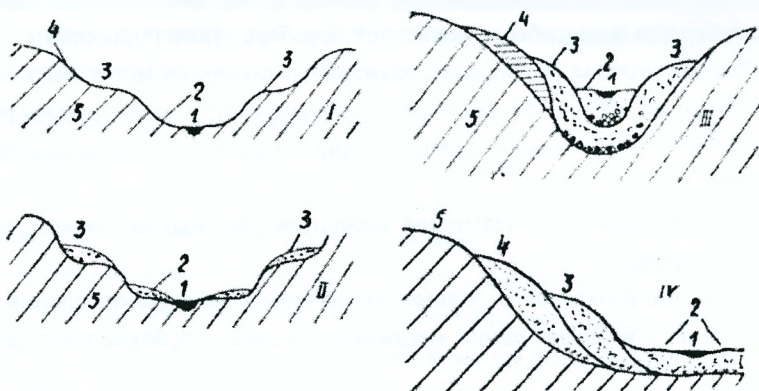


Рис. 52 Типы надпойменных террас; I - эрозионная; II - цокольная; III - аккумулятивная вложенная; IV - аккумулятивная наложенная; 1 - русло; 2 - пойма; 3 - первая надпойменная терраса; 4 - вторая надпойменная терраса; 5 - коренные породы.

На рис. 53 показана долина р. Ушичи (Гродненская обл.), а на рис. 54 – общий вид старицы в пойме р. Припяти (г. Мозырь).

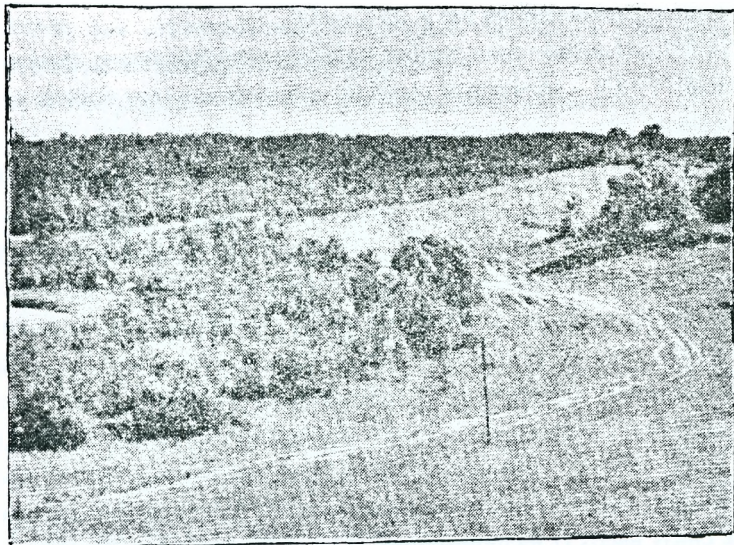


Рис. 53 *Общий вид долины р. Ушачи.*

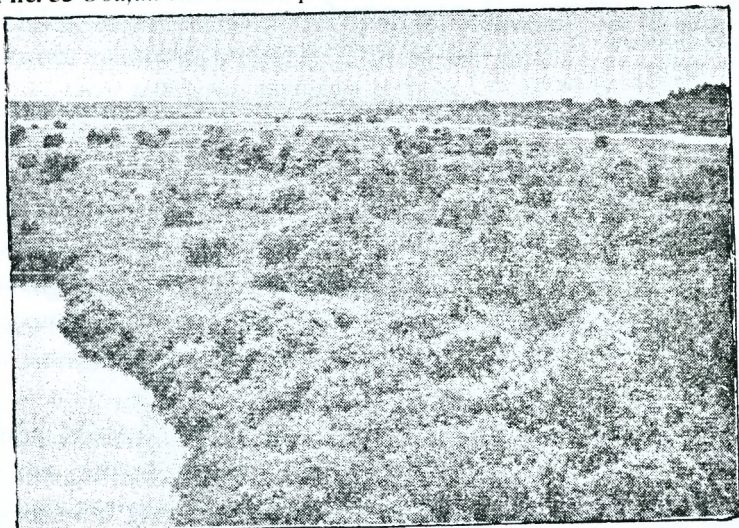


Рис. 54 *Общий вид старицы в пойме Припяти.*

Пойма - часть речной долины, затапливаемая водой в период паводка и половодья. Поймы могут быть низкими (затапливаемые ежегодно) и высокие (затапливаемые один раз в 10-15 лет).

Со строительной точки зрения, большое значение имеет уровень воды. Различают: *РГВВ* – расчетный горизонт высоких вод (средний из наибольших уровней воды, наблюдавшийся в течении многих лет); *НГВВ* – наивысший горизонт высоких вод; *МГВ* – меженный горизонт вод (самый низкий уровень).

Террасы - различные уступы в долинах рек. Они бывают поперечные и продольные. Поперечные террасы располагаются поперек долины и порождают водопады и пороги, а продольные террасы располагаются вдоль склонов в виде горизонтальных или слабо наклоненных площадок. Террасы обычно называют надпойменными. Каждая надпойменная терраса соответствует древним поймам реки, то есть каждая надпойменная терраса в свое время была поймой. Надпойменные террасы водой никогда не затапливаются. Отсчет надпойменным террасам ведут от более молодых к древним, то есть снизу вверх (*I* надпойменная, *II* надпойменная и т. д.). Общее количество может достигать 15, однако наиболее часто реки имеют 3-4 надпойменные террасы. Каждая терраса характеризуется высотой и шириной, при этом высота колеблется от 1 до 50 м, а ширина – от 100 м до 60 км.

По слагающему материалу террасы подразделяют на эрозионные, цокольные, аккумулятивно-вложенные и аккумулятивно-наложенные.

Эрозионные террасы вымываются рекой в коренных породах долины и они возникают на первых стадиях развития реки. Эрозионные террасы, перекрытые маломощным аллювием, называют цокольными. Если террасы полностью сложены из аллювиального материала, то они называются аккумулятивными. И по своему строению они делятся на вложенные и наложенные (прислоненные).

Вложенные террасы образуются при повторном усилении эрозионной деятельности реки после ее старения. Это приводит к тому, что каждая последующая новая терраса оказывается моложе предыдущей. При формировании наложенных террас аккумуляция новых наносов происходит поверх более древних аллювиальных отложений.

Геологическое строение речных долин имеет важнейшее значение при их инженерно-экологической оценке в целях строительства. Наиболее благоприятны для строительства эрозионные террасы, а наиболее сложно строительство на аккумулятивных террасах.

А сейчас рассмотрим особенности борьбы с эрозией рек.

Для зданий и сооружений, возведенных в речных долинах, подмыв берегов и террас, а также углубление дна реки представляет значительную опасность, так как эти процессы приводят к обрушению берега, появлению оползней, обвалов и других нежелательных явлений.

С боковой эрозией наиболее эффективна борьба с помощью укрепления берегов и регулирования течения реки. В зависимости от геологического строения берега, характера и места размыва, укрепление проводят устройством набережных, подпорных стенок, укладкой железобетонных плит и фашинных тюфяков, а также наброской бутового камня (рис. 55). Следует отметить, что иногда интенсивная боковая эрозия заставляет переносить сооружения и здания подальше от берега.

Донная эрозия наиболее опасна опорам мостов и особенно в период ледостава и ледохода. Поэтому сооружения, расположенные на затапливаемых поймах, необходимо защищать земляными дамбами, отсыпкой камня и другими способами, позволяющими нейтрализовать эрозионную силу паводкового потока.

С инженерной точки зрения не меньшее значение имеют и строительные свойства аллювиальных отложений, которые формируются как в руслах рек, так и на их поймах. Их мощность может быть от 1-2 м до 25-30 м. Состав отложений зависит в основном от скорости речного потока и стадии развития реки. В состав аллювия могут входить валуны, галечник, гравий, пески, суглинки, глины, илы и органические вещества.

По характеру осадков и месту их скопления речные отложения разделяют на дельтовые, русловые, пойменные и старичные. Дельтовые отложения формируются в дельтах и состоят из песчано-глинистых несортированных осадков. В руслах рек откладываются русловые отложения, состоящие из песков, галечников, гравия и валунов.

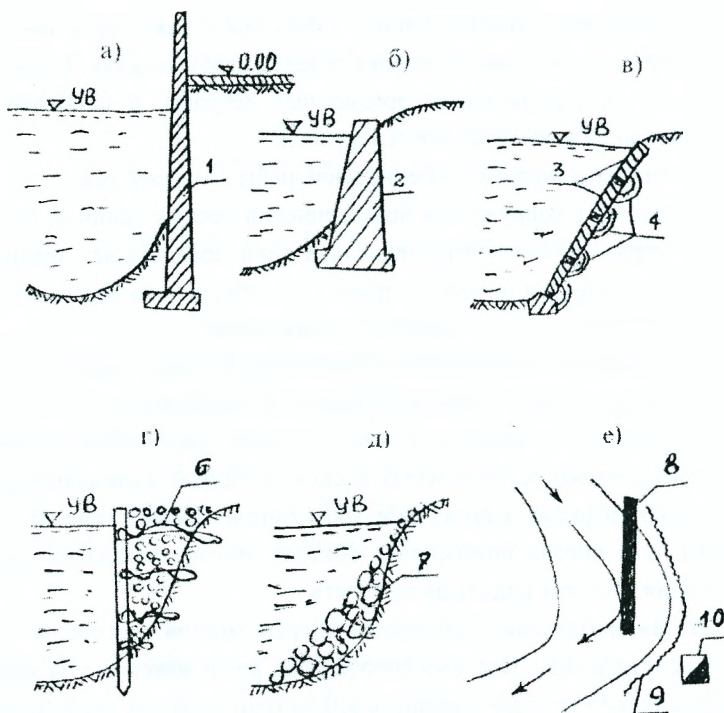


Рис. 55 Способы укрепления берегов реки от размыва: а - устройством набережной; б - устройством подпорной стенки; в - укладкой плит; г - устройством фашинных тюфяков; д - наброской камней; е - устройством струенаправляющей стенки; 1 - набережная; 2 - подпорная стенка; 3 - плиты; 4 - фильтры; 5 - бетонный упор; 6 - фашины; 7 - наброска; 8 - струенаправляющая стенка; 9 - размываемый берег; 10 - здание.

Пойменный аллювий откладывается в период паводка и состоит из суглинков различного состава, супеси, глины, мелкозернистых песков, обогащенных органическими веществами. Старичный аллювий формируется в старицах в виде линз и в своем составе содержит тонкозернистый песок, ил и органические вещества.

Иногда в пределах речных долин залегают и отложения неаллювиального характера: делювий, конусы выноса пролювиальных наносов и золовые накопления.

Так как речные долины являются местом активной производственной деятельности человека, то аллювиальные отложения очень часто служат основанием зданий и сооружений.

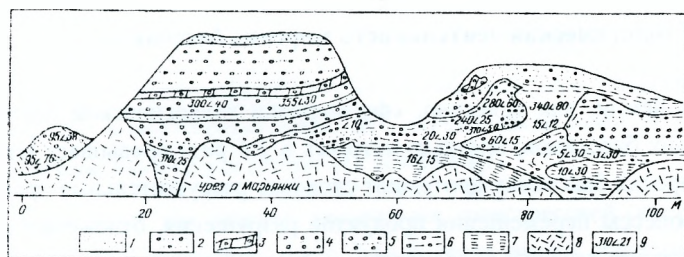


Рис. 56 Пример залеганий отложений ледникового комплекса (р. Марьянка, Шкловский район): 1 - песок разнотернистый; 2 - песок разнотернистый гравелистый; 3 - супесь моренная; 4 - песчано-гравийно-галечные отложения; 5 - песчано-гравийно-галечные отложения с прослоями песка; 6 - супесь моренная с линзами песка и тонкой супеси; 7 - песок мелко и тонкозернистый; 8 - осыпь; 9 - азимут и угол падения слоев.

Поэтому при строительстве крупных объектов, передающих значительные нагрузки на грунт (элеваторы, речные вокзалы, портовые сооружения, гостиницы) в качестве оснований необходимо принимать древний уплотненный аллювий или русловой аллювий. Если в основании располагается пойменный или старичный аллювий, то необходимо использовать свайные фундаменты.

Древний пойменный аллювий в виде твердых суглинков и глин также является хорошим основанием, если он не обладает просадочностью.

Наиболее слабыми из аллювиальных отложений являются иловатые старичные и современные пойменные.

И в заключение следует отметить, что для аллювиальных песчаных отложений характерна плавучность, а для глинистых — набухаемость различ-

ной степени. При этом не меньшую проблему для строительства создает и многослойность отложений с наличием линз и пропластов, которая обуславливает различную деформируемость сжимаемой толщи. На рис. 56 приведен пример залеганий многослойных отложений ледникового комплекса.

Особенно неблагоприятным для зданий и сооружений является опирание различных частей фундамента на грунты с различной сжимаемостью.

4.5.5 Геологическая деятельность морских бассейнов

Облик Земли, как известно, сформирован геологической деятельностью морских бассейнов, площадь которых в 2.4 раза превышает площадь суши. В морских бассейнах протекают сложные разрушительные процессы, а также процессы перемещения продуктов разрушения, отложения и формирования из них различных осадочных пород.

На рис. 57 приведен вертикальный разрез склона морского бассейна, который позволяет видеть, что наиболее интенсивно все эти процессы будут проявляться в прибрежной мелководной зоне (зоне шельфа), глубина которой не превышает 200 м. Площадь шельфа составляет до 8% площади морей и океанов. На глубинах от 200 до 2000 м располагается материковый склон, от 2000 до 6000 м – океаническое ложе, глубже 6000 м – глубоководные впадины. На глубинах свыше 200 м волнения, происходящие на поверхности воды, уже не проявляются. Эта глубина также является предельным распространения донных растительных организмов.

Горные породы (морские осадки) в этой зоне формируются как за счет продуктов разрушения берегов, так и за счет приноса материала реками и ветром. Так как в морских бассейнах обитает много организмов с твердыми скелетами, а морская вода богата солями, то значительное распространение имеют здесь горные породы органического и химического происхождения.

Вследствие вертикальных колебаний земной коры море может наступать на берег, что приводит к его энергичному размыву и погружению под воду, или отступать, что обуславливает формирование новой суши.

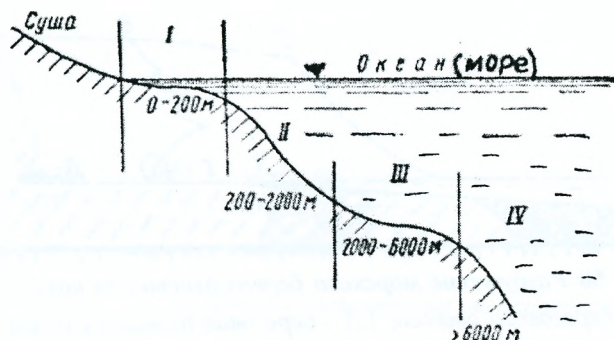


Рис. 57 Вертикальный разрез склона морского бассейна: I - зоны шельфа; II - материковый склон; III - океаническое ложе; IV - глубоководные впадины (пропорции глубин не соблюдены).

В геологии эти явления называются трансгрессией (наступлением) и регрессией (отступлением) моря. Эти явления имеют существенное значение для строительства. Например, при строительстве на берегу наступающего моря необходимо предусматривать мероприятия по борьбе с размывом берега, учитывать скорость опускания берега ниже уровня моря и т. д.

При проведении инженерно-геологических исследований морских побережий особое внимание необходимо уделять определению особенностей геологических и континентальных процессов и изучению устойчивости береговых склонов.

В основном геологическая деятельность моря проявляется в процессах абразии (от латинского соскабливать), под которыми понимают разрушение горных пород, дна и берегов.

Основную разрушительную работу совершает морской прибой. В меньшей мере этому способствуют прибрежные и донные течения, а также приливы и отливы.

При морском прибое на берег постоянно действуют волны. Под силой удара морские берега разрушаются, образуются обломки пород, которые подхватываются волнами и "бомбардируют" берега.

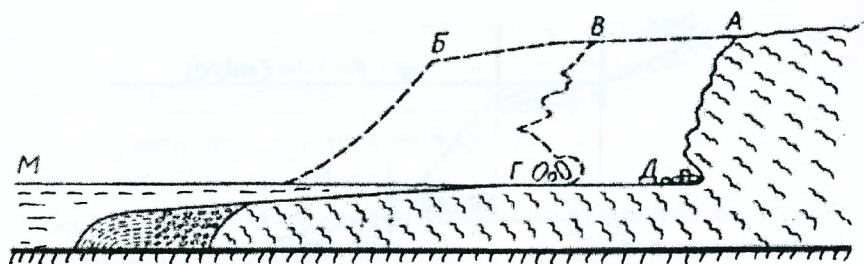


Рис. 58 Разрушение морского берега действием волн: АБ - линия начального берегового откоса; ГД - береговая площадка (пляж), образованная после разрушения берега; М - линия уровня моря; часть пляжа (слева) сложена обломками разрушенного берега.

Сила удара морской воды довольно значительна. Так у берегов Черного моря она достигает 70 кПа и более. Во время бурь волны способны перекатывать валуны массой до 40 т на расстояние до 20 м и более. Высота волн может достигать 15-20 м. По глубине действие волн ослабляется, и уже на глубине, равной половине длины волны, то есть расстоянию между двумя соседними гребнями, оно не существенно (рис. 58).

В результате подмыва морские берега разрушаются со скоростью от 3-5 см до 4-15 м в год. Характеристики разрушения берега зависят от характера напластования пород, происхождения и вида пород, составляющих берег, интенсивности и направления дующих ветров, особенностей движения водных потоков и т.д.

На рис. 59 приведена схема устойчивости морского берега в зависимости от напластования пород. Минимальная устойчивость характерна для берегов, сложенных породами с пологим углом падения от моря. Если берег имеет пологий угол падения в сторону моря, то волны только скользят по их поверхности, причиняя им незначительные разрушения. Достаточно устойчивы берега и с горизонтальным залеганием слоев. Наиболее медленно разрушаются участки берега, сложенные скальными породами типа гранита, гнейса и базальта. Быстрее всего разрушаются берега, сложенные рыхлыми осадочными отложениями (песок, суглинок, супесь).

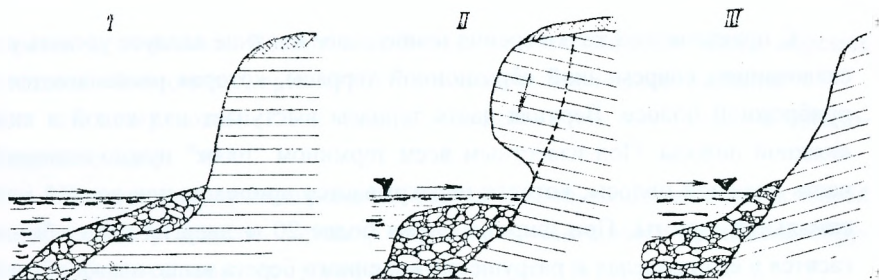


Рис. 59 Устойчивость берега в зависимости от характера напластования пород: I - средняя; II - минимальная; III - максимальная.

Разрушительная работа волн особенно значительна у крутых, обрывистых берегов, где глубина моря сравнительно большая. При пологих берегах ударная сила волны быстро гасится абразия проявляется в меньшей степени.

Но в любом случае абразия приводит к образованию волноприбойных террас (рис. 60). Террасы могут быть сложены как коренными породами, так и морскими отложениями. Террасы могут располагаться выше уровня моря или находиться под водой. Надводные террасы называют морскими и они показывают поднятие берега и отступление береговой линии в сторону моря. Подводные же террасы свидетельствуют о наступлении моря и опускании берега ниже уровня воды.

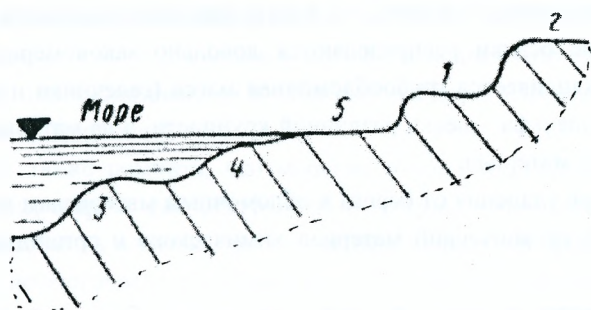


Рис. 60 Схема строения морского берега. Террасы: 1, 2 - надводная; 3 - подводные; 4 - современная; 5 - с пляжем.

С практической точки зрения наибольшее влияние следует уделять исследованиям современной абразионной террасы, которая располагается в прибрежной полосе. Верхняя часть террасы выступает над водой в виде пляжной полосы. Под известным всем термином “пляж” нужно понимать часть пляжной полосы, которая перекрывается приливом или волной максимальной высоты. При ширине пляжа более 20 м энергия волн обычно гасится в его пределах и разрушение коренного берега выше пляжа обычно не происходит. При отсутствии пляжа берег будет разрушаться очень интенсивно.

Кроме механического разрушения морская вода оказывает и химическое воздействие, то есть она способна растворять многие породы.

Значительное разрушительное воздействие оказывают также многие морские организмы и растения (планктон).

Не меньшее разрушительное воздействие оказывают прибрежные и донные морские течения, а также приливы и отливы. Так как скорость этих течений не более 0,5-0,8 м/с, то их действие будет не столько разрушительным, сколько транспортирующим. Эти течения способствуют транспортировке растворенных веществ, песчано-глинистых частиц и мелких обломков пород. Наибольшей транспортирующей способностью обладают волны, которые направлены к берегу под некоторым углом. Перенос обломков пород вдоль берегов способствует увеличению или уменьшению пляжа.

Следует также отметить, что в силу транспортирующего действия волны, морские осадки распределяются довольно закономерно. У берегов обычно накапливается грубообломочная масса (галечники и крупные пески), в зоне шельфа – пески различной крупности, а на материковом склоне – глинистый материал.

По мере удаления от берега к обломочным материалам все более примешивается органический материал химического и органогенного происхождения.

На берегах за пляжной зоной формируются береговые валы из песка, ракушки и гальки. Высота береговых валов до 1-5 м, а ширина – 10-12 м. Между валом и берегом располагаются пляжные отложения из песка, ила,

гравия и галечника. В зоне шельфа осаждается основная масса морских осадков обломочного, органогенного и химического происхождения.

На материковом склоне и океанском ложе более всего развиты органогенные осадки.

Поэтому при проектировании зданий и сооружений на берегах морей необходимо учитывать характер абразии, интенсивность процессов обрушения берега и характер трансформации пляжа и береговых валов.

Для борьбы с этими негативными процессами используют берегоукрепительные сооружения, которые делятся на активные и пассивные.

К активным сооружениям относят буны и волноломы. Буны задерживают наносы, перемещаемые волнами вдоль берега. Они представляют собой поперечные железобетонные стены, устанавливаемые нормально или под углом к линии берега. Под действием бун волны теряют скорость и переносимые ими наносы откладываются между бун.

Волноломы создают параллельно береговой линии на расстоянии 30-40 м от берега и на глубине 3-4 м (рис. 61). Расстояние между волноломами зависит от состава пород берега и наличия волноотбойной стенки. Верх волнолома устраивается на глубине 0,3-0,5 м от низкого уровня моря.

Как волноломы, так и буны могут выполняться из монолитного бетона или железобетонных коробов, заполненных бетоном и бутобетоном.

В последнее время для защиты берегов применяют железобетонные тетраподы, представляющие собой железобетонную глыбу самой различной конфигурации, но с ответвлениями в форме усеченных конусов. Благодаря такой форме они заклиниваются в каменной наброске или грунтах и хорошо держатся на крутых склонах.

Следует также помнить, что морские отложения, образовавшиеся в морской среде, широко распространены и на суше. Они занимают огромные пространства на континентах в виде отложений большой мощности и различного литологического состава (рис. 62). Древние морские отложения на суше принято называть коренными породами.

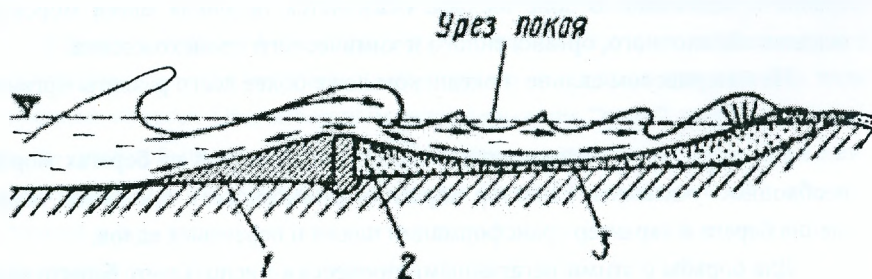


Рис. 61 Принципиальная схема волнолома.

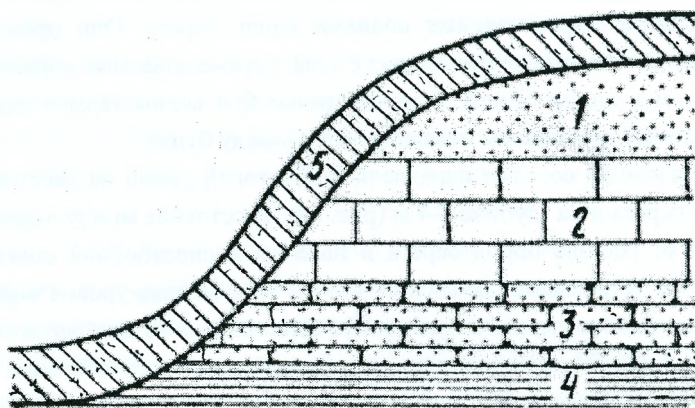


Рис. 62 Осадочная толща морского происхождения (коренные породы), перекрытые современными наносами (делювий): 1 - песок; 2 - известняк; 3 - песчаник; 4 - глины; 5 - делювиальный суглинок.

Строительная оценка пород морского происхождения определяется условиями их образования. Например, глубоководные отложения в отличие от мелководных имеют более выдержанный литологический состав, однородность, значительную мощность и т. д.

Большинство древних морских отложений являются хорошим основанием под сооружения. Однако если в морских породах присутствуют вредные примеси, то такие основания являются ненадежными, слабыми. Наибо-

лсе слабыми основаниями являются современные прибрежные илы и лагунные образования.

4.5.6 Геологическая деятельность озер и водохранилищ

Под озерами понимаются замкнутые углубления на поверхности земли, заполненные водой и не имеющие непосредственной связи с морем. Озера занимают около 2 % поверхности суши. В Белоруссии имеется около тысячи озер. Берега многих из них широко используются для промышленного и гражданского строительства, поэтому важно знать инженерно-геологические условия озерных районов.

Озера могут иметь самое различное происхождение: тектоническое, эрозийное, карстовое, плотинное и запрудное.

Как и моря, озера и водохранилища совершают геологическую работу разрушительного и созидательного характера, только в неизмеримо меньших масштабах.

Разрушительная работа озер проявляется в абразионной деятельности волн, нагоняемых ветром. Волны действием прибоя подмывают берега и создают озерные и аккумулятивные абразионные террасы. Вместе с тем, каждое поднятие или опускание уровня воды в озерах вызывает абразионные процессы. Все изменения уровня воды обуславливаются либо тектоническим движением земной коры, либо производственной деятельностью человека.

Борьба с разрушительной работой озер проводится теми же методами как и с морской абразией, но волноотбойные и подпорные стенки, а также волноломы и буны проектируются значительно меньших размеров.

Созидательная работа озер заключается в формировании озерных отложений. Большинство озерных отложений представлены комплексом различных накоплений обломочного, химического и органического происхождения. Вдоль побережий озера откладывают в основном грубые обломки и пески различной крупности. Такой же материал, но в виде валов, накапливается и при впадении в озера рек.

В донной части озер накапливаются глинистые осадки, пылеватые пески и илы.

В озерах, кроме того, формируются и такие специфические образования как сапропель, торф, озерный мергель, озерный мел и трепел.

Для большинства мелководных озер характерна способность в определенных геологических и физико-географических условиях переходить в стадию заболачивания, с формированием таких типичных отложений, как ил и торф.

Водохранилища, в отличие от озер, имеют искусственное происхождение, но по своим размерам они не уступают самым крупным озерам.

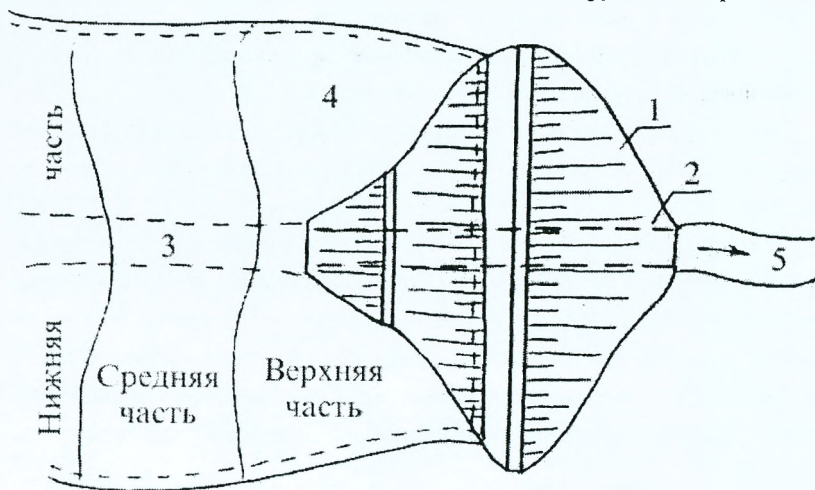


Рис. 63 Схема водохранилища в плане: 1 - плотина; 2 - водосброс; 3 - река; 4 - верхний бьеф (ВБ) водохранилища; 5 - нижний бьеф (НБ) водохранилища.

В них так же как в морях и озерах, наблюдается интенсивная абразионная работа по выработке нового профиля берега и размыву береговой линии, то есть разрушение и переработка берегов.

Интенсивная абразионная деятельность водохранилищ часто создает непосредственную угрозу жилым кварталам поселков и городов, промышленным и транспортным сооружениям.

Нужно помнить, что переработка берегов водохранилищ очень сложный процесс, но определяющим, и самым активным, является гидрологический фактор. Его действие проявляется в волнах, течениях и периодических колебаниях уровня воды в водохранилище.

В нижней части водохранилищ (рис. 63) примыкающей к плотине, течение слабое, поэтому абразия здесь определяется действием ветровых волн и колебаниями уровня воды.

В средней части, кроме них, действуют и паводковые течения, а в верхней – действует только речная эрозия.

Переработка берегов в целом зависит от морфологии склонов, их геолого-литологического строения и свойств пород, слагающих их.

По морфологическим особенностям следует выделять приглубные берега с крутизной склонов $> 6^\circ$ и отмельные – $\leq 6^\circ$. Наиболее сильно разрушаются приглубные берега, а на отмельных, обычно образуются косы и отмели за счет отложения наносов.

Скорость переработки берегов водохранилищ зависит от высоты берегового откоса и устойчивости пород против размыва.

Средняя скорость разрушения береговой полосы за сезон изменяется от 1 м – для глинистых пород и до 8 м – для лессовых пород.

Особенно сильно размываются берега, сложенные породами континентального происхождения, а наиболее слабо – сложенные коренными скальными породами.

Дополнительное воздействие на склоны оказывает подпор грунтовых вод, который резко увеличивает гидродинамическое давление. Это обуславливает появление оползней, обвалов, осыпей, а также засоление и заболачивание территорий.

При проектировании строительных объектов инженерно-геологические исследования должны дать обоснованный прогноз по переработке берегов водохранилища. Прогноз должен дать ответ на два вопро-

са: какая ширина полосы возможного размыва берегов; какой характер динамики интенсивности процесса переработки берегов в ближайшие 50 лет.

Созидательная работа водохранилищ заключается в формировании и накоплении осадков обломочного происхождения, дельтовых отложений рек и делювиально-пролювиальных осадков. В литологическом отношении отложения водохранилищ представлены илами, суглинками, глинами и т. д.

Так как в зону переработки берегов часто попадают здания, сооружения и сельскохозяйственные угодья, то необходимо переносить их в безопасное место, или ограждать от влияния волн, разрушающих берег.

Против переработки берегов водохранилищ можно применять те же сооружения, что и в борьбе с абразией морей и озер. Однако так как для водохранилищ характерны большие колебания уровней воды, вследствие периодической сработки горизонта воды, то для защиты берегов целесообразнее применять различного рода покрытия из камня, асфальта и железобетонных плит.

Следует отметить, что переработка берегов наиболее интенсивно происходит в первые 2-3 года, когда береговая линия продвигается на 20-50 м в год. Затем этот процесс сильно затухает и продвижение береговой линии обычно не более 1-1,5 м в год.

При выборе типа одежды покрытия следует исходить из динамики процесса переработки берегов. Асфальтовые покрытия следует применять в местах, где согласно прогнозу, переработка берегов будет развиваться в ближайшее десятилетие. Наиболее надежны и долговечны каменные покрытия. Основным их достоинством является приспособляемость к деформациям откосов, а недостатком – слабая механизация и трудоемкость работ. Наибольшей надежностью отличаются железобетонные покрытия. При этом плиты покрытия могут изготавливаться как в монолитном варианте, то есть производиться на месте, так и в сборном варианте, то есть доставляться с заводов железобетонных изделий.

4.5.7 Геологическая деятельность болот и заболоченных земель

Болото – это избыточно увлажненный участок земной поверхности, с развитой на них специфической (болотной) растительностью и покрытые торфяным слоем (торфяником) мощностью более 30 см. Если же торфяного слоя нет, или его мощность менее 30 см, то такие участки называют заболоченными землями. В Беларуси болота и заболоченные земли занимают более 30% всей площади. Однако на сегодня более 60% из них осушены (мелиорированы).

По происхождению и условию водного питания болота делят на низинные, переходные, верховые, ключевые и пойменные (рис. 64).

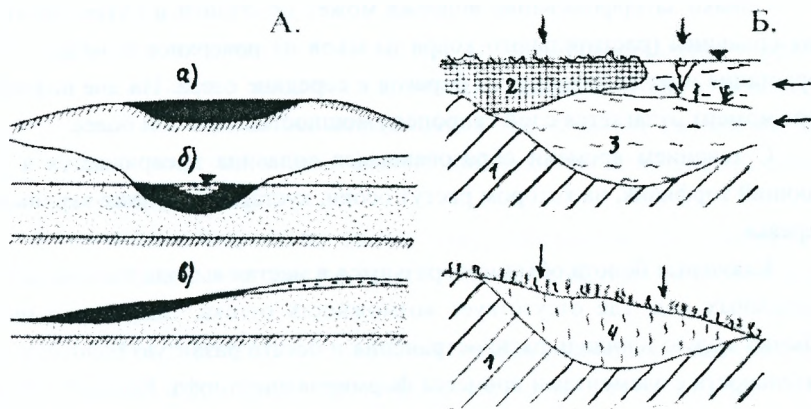


Рис. 64 Типы болот (А) и общий их вид (Б): а - низинное; б - верховое; в - переходное; 1 - минеральное дно; 2 - торф; 3 - ил; 4 - заболоченный грунт (стрелки показывают источники питания болот).

Низинные болота питаются грунтовыми, речными или озерными, а также дождевыми и тальными водами, содержащими минеральные соли. Для верховых болот основной источник питания – атмосферные осадки и талые воды, а для переходных болот характерно смешанное питание.

Наиболее часто низинные болота образуются заторфовыванием (зарастанием) водоемов и водотоков, а верховые болота – при заболачива-

нии суши. Следует отметить, что при соответствующих условиях реален переход низинных болот в верховые, через стадию промежуточных.

Заторфовывание обычно начинается с берегов мелководного озера или медленно текущей речки. На этих участках появляется болотная растительность (гидрофильная – водолюбивая), которая при отмирании скапливается в воде и из-за недостатка кислорода не гнивает, а трансформируется (гумифицируется) в торф. Постепенно водоем мелеет, открытая водная поверхность заторфовывается. Под слоем торфа обычно образуется сапропель, то есть озерный гниlostный ил.

Наиболее распространенными видами болотной растительности обычно являются – осока, тростник, кувшинка, водяной хвощ и мхи.

Однако заторфовывание водоема может произойти и путем образования сплавины (растительного ковра из мхов на поверхности воды). Тогда зарастание идет постепенно от берегов к середине озера. На дне водоема в этот момент отлагается слой сапропеля мощностью до 4 м и более.

С течением времени образовавшаяся сплавина превращается в плавающий торфяник, на котором растут осоки, кустарники и даже карликовые деревья.

Ключевые болота обычно образуются в местах выхода на поверхность подземных вод, где отсутствует возможность оттока. Эти болота имеют обычно малую площадь распространения и богато развитую болотную растительность с элементами процесса формирования торфа. Когда эти болота располагаются на средней и верхней части склонов они называются висячими.

На поймах образуются пойменные болота, для которых характерен торфяной слой значительной мощности.

Заболоченные земли формируются на тех участках земной поверхности, для которых характерна малая водопроницаемость грунтов и неудовлетворительные условия испарения воды, подземного дренирования и поверхностного стока. На этих участках грунтовые воды постоянно сохраняют свой высокий уровень, и их зеркало находится на поверхности земли. Для заболоченных земель характерна моховая растительность (сфагнум – белый мох и гипнум – зеленый мох).

С инженерной точки зрения болота являются неблагоприятными местами для строительства.

Для определения возможности строительства на болотных отложениях необходимо в процессе инженерно-геологических изысканий определить происхождение болота и его основные характеристики (площадь, рельеф минерального дна, мощность торфяного слоя и т. д.). Знание о происхождении болота позволяет оптимизировать мероприятия по его осушению.

Знание глубины торфяно-болотных отложений позволяет правильно выбрать глубину заложения и тип фундамента. При строительстве на болотах с мощностью торфяной залежи до 2 м, большое значение имеет рельеф дна болота. Наиболее благоприятным является болото с горизонтальным минеральным дном.

Болотные отложения в большинстве случаев представлены торфами, под которыми обычно залегают сапропели. Малая несущая способность торфяноболотных отложений определяется его сильной сжимаемостью, большой влагоемкостью, низкой водопроницаемостью и небольшим сопротивлением сдвигу.

В строительной практике оценку этим отложениям, как основаниям сооружений, производят обычно по степени их устойчивости и состоянию их консистенции.

Но обычно строительные свойства торфов исключают возможность какого-либо строительства без устройства искусственных оснований. Такие основания могут устраиваться в виде песчано-гравийных подушек или буронабивных свай. Иногда всю торфяную толщу прорезают железобетонными или буронабивными сваями, заглубляя их в минеральное дно, а по верху свай устраивают ростверк-фундамент. Не менее проблематично и строительство на илах и сапропелях.

4.5.8 Геологическая деятельность ледников

В древние времена оледенение Земли было значительным. За последние 500 тыс. лет на территории Европы и, естественно, Беларуси, было

около десяти крупных оледенений. Между оледенениями наступало потепление, так называемая межледниковая эпоха.

Последнее оледенение четвертичного возраста было около 10-12 тысяч лет назад, то есть проходило на глазах человека. Отсюда следует иметь в виду, что оледенение охватывает не всю поверхность Земли, в только определенные ее участки.

Ледники в основном надвигались из района Скандинавии.

В настоящее время ледники занимают 10 % поверхности всей суши. При этом 98,5% ледниковой поверхности приходится на полярные области и 1,5% – на высокогорные районы.

В зависимости от их местоположения различают три типа ледников – горные, плоскогорные и материковые.

Горные ледники образуются высоко в горах и располагаются на вершинах, в ущельях, впадинах и различных углублениях. Здесь лед образуется за счет перекристаллизации снега. Он обладает способностью к пластическому течению, образуя протоки в форме “языков”. Их движение вниз по склонам ограничивается высотой, где солнечного тепла достаточно для таяния льда. В среднем эта высота составляет 2,5-3,0 км. Скорость же движения горных ледников может колебаться от 0,04 до 4 м/сут и более (Кавказ, Памир, Урал).

Плоскогорные ледники образуются в горах с плоскими вершинами. Здесь лед залегают сплошной нераздельной массой. Из этой массы вдоль ущелий формируются ледники в виде “языков”.

Материковые ледники распространены в Гренландии, Антарктиде и других районах, где в настоящее время протекает современная эпоха оледенения.

Льды здесь залегают сплошным покровом мощностью до 4 км и более. Скорость их движения в сторону океана достигает 40 метров в сутки. На побережье из ледника формируются айсберги, которые во время дрейфа по океану тают.

Геологическая деятельность ледников очень велика и обусловлена главным образом их движением. При своем движении ледник истирает и вспахивает поверхность земли, формируя котловины, рывины и борозды.

Эта разрушительная работа совершается под действием гравитационных сил, то есть силы тяжести льда. Ведь стометровая льдина способна создать давление до 900 кПа (9 т/м²). Вмерзшие в лед обломки пород в свою очередь оказывают механическое действие на поверхность земли.

Двигаясь по ущельям и склонам ледники захватывают продукты разрушения путем вмораживания их в лед.

При таянии ледников весь обломочный материал, передвигаемый вместе с ними, отлагается, образуя ледниковые отложения (*glQ*).

Нужно иметь в виду, что весь обломочный материал, который находится в движении с ледниками, или уже отложился, называется мореной. При этом из отложившихся материалов формируются береговые и конечные морены, а из движущегося — поверхностные, внутренние и донные морены (рис. 65).

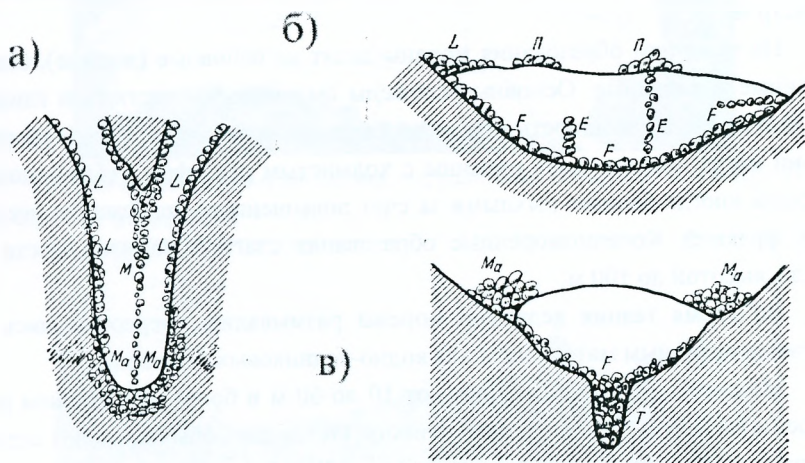


Рис. 65 Виды морен: а - ледниковый язык в плане; б - то же, в разрезе; в - поперечный разрез конечной морены ледникового языка; М и Е - срединные морены; L и М_а - боковые морены; F - донная морена; Т - подледниковая морена.

Моренные отложения представляют собой грубый, неоднородный, неслоистый, неотсортированный обломочный материал.

Чаще всего это опесчаненные валунные суглинки и глины или разнo-зернистые глинистые пески с валунами. Морены залегают покровами, мощностью до трех-четырёх десятков метров. Кроме покровов отложения могут формировать и конечноморенные гряды высотой до 40 м. Состав гряд самый разнообразный и среди отложений можно найти обломки всех пород, по которым прошёл ледник.

Моренные отложения (морены) – наиболее характерный генетический тип ледниковых отложений в Беларуси. Образовались в результате таяния ледников или перенасыщения его нижней части обломочным материалом. Моренные толщи сформированы в основном за счёт местных пород, ибо перенос большей части захваченного материала не превышал десятки километров.

По условиям образования морены делят на основные (донные), абляционные и конечные. Основные сложены смешанными частицами глины, пыли и песка. Их мощность может достигать до трёх-пяти десятков метров и они могут образовывать равнины с холмистым рельефом. Абляционные морены иногда бывают рыхлыми за счёт повышенного содержания песчаных фракций. Конечноморенные образования слагают возвышенности и гряды высотой до 100 м.

Во время таяния ледников морены размывались, пересотлагались и служили исходным материалом для водно-ледниковых отложений.

Мощность моренной толщи – от 10 до 60 м и более. По долинам рек морены выходят на дневную поверхность. Отложения обычно имеют серый и красно-бурый цвет с разными оттенками. Текстура обычно массивная, но может быть и чешуйчатой и плитчатой. Среди конечных морен встречаются коренные породы в виде гляциодислокаций. Сложены морены обычно валунными супесями и суглинками, в которых частиц размером более 1 мм 7-10%, а частиц размером менее 0,01 мм 20-30%. Основной состав – песчано-алевритовые фракции.

Карта завалуненности территории Беларуси приведена на рис. 66, а на рис. 67 приведен фотоснимок крупнейшего валуна, который является ре-

ликтовой ценностью республики и называется "Великий камень", представляющий собой уютнообразную глыбу крупнозернистого гранита длиной 11м, шириной 5,6м и высотой 2,8м.

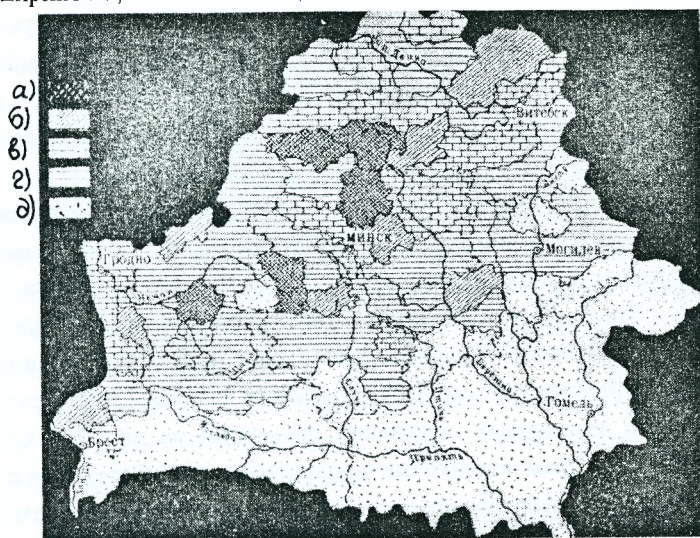


Рис. 66 Карта завалуненности территории Беларуси: а – более 40%; б – 40-20%; в – 20-10%; г – 10-1%; д – < 1%.



Рис. 67 Общий вид "Великого камня" (Шумилинский район).

При таянии ледника образуются постоянные потоки талых вод, которые размывают донную и конечную морену. Размываемый материал выносятся потоком за пределы ледника и, отлагаясь, формирует водноледниковые (флювиогляциальные) отложения (*flQ*). При этом (рис. 68) вблизи границ ледника откладываются крупные обломки (крупнообломочные флювиогляциальные отложения), дальше – пески (песчаные) и, наконец, – глинистые материалы (глинистые и флювиогляциальные отложения).

Так как движение ледника происходит последовательно, то при его наступлении или отступлении, последовательно смещаются и зоны накопления материалов отложений по крупности. Например, если на глины наложены пески и более крупные обломки – это означает, что ледник наступал, расширяя зону оледенения. Наложение на пески и крупные обломки глинистых осадков характеризует период отступления ледника. Наиболее характерные разрезы ледниковых отложений приведены на рис. 68. Хотя по строительным свойствам ледниковые и водноледниковые отложения схожи, но при инженерно-геологических исследованиях их необходимо четко разграничивать.

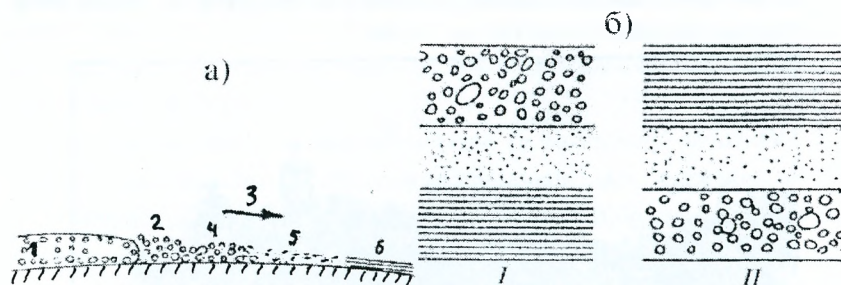


Рис. 68 Схема образования флювиогляциальных отложений (а) и характерные разрезы ледниковых отложений (б): I - при наступлении, II - при отступлении ледника; I - ледник; 2 - конечная морена; 3 - направление потока талых вод; 4, 5, 6 - флювиогляциальные отложения (крупные обломки, пески, глины).

Для флювиогляциальных отложений характерны отсортированность и относительная слоистость. Они обычно представлены толщами песка, гравия, галечника, глинами и покровными суглинками. Их мощность достигает многих метров.

Флювиогляциальные отложения создают характерные формы рельефа – озы, камы и зандровые поля. Озы – это накопления обломочного материала (пески, гравий) в виде высоких узких валов. Их длина колеблется от 100 м до 100 км, а высота – от 5 до 50 м. Камы представляют собой беспорядочно разбросанные холмы, состоящие из слоистых отсортированных песков, супесей, суглинков с примесью гравия и прослоек глины. Зандровые поля представляют собой широкие пологоволнистые равнины, расположенные за границами конечных морен и сложенные слоистыми песками, гравием и галькой.

В озерах обычно накапливаются мелкозернистые осадки и ленточные глины, состоящие из чередования темных глинистых прослоек и более светлых прослоек из песчаных глин.

С точки зрения строителя моренные и флювиогляциальные отложения являются надежными основаниями.

Сооружения различного типа, возведенные на валунных суглинках и глинах испытывают малую осадку, так как их пористость не более 10-30%, а расчетное сопротивление – не менее 600-800 кПа. Обычно эти грунты слабо водонепроницаемы и часто служат водопором для подземных вод.

Отрицательным свойством всех глинистых ледниковых отложений является вкрапление отдельных валунов. Это может привести к неравномерной осадке и деформации сооружений.

Высокими прочностными свойствами обладают и практически все разновидности моренных отложений. Валунник с песком и валунные пески с гравием и галькой обычно водоносны и водопроницаемы. Это, в некоторой мере, отрицательно влияет как на строительство, так и эксплуатацию объектов, но вместе с тем эти подземные воды можно использовать для технических и питьевых целей.

Многие отложения успешно использует как строительный материал (камень, пески, глины).

Глава 5 ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОМОРФОЛОГИИ

5.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОМОРФОЛОГИИ

Дословный перевод этого слова означает – наука (логос) о внешней форме (морфос) Земли (гео).

С научной же точки зрения геоморфология – это наука, изучающая рельеф земной поверхности, его происхождение и развитие.

Рельеф – это совокупность всех форм земной поверхности, (возвышений, равнин и углублений). Эти неровности на поверхности Земли очень динамичны, ибо они находятся в состоянии непрерывного превращения и изменения как под действием эндогенных (внутренних), так и экзогенных (внешних) сил.

Известно, что рельеф является одним из основных факторов на Земле в перераспределении влаги и тепла, передвижении и циркуляции воздушных масс, переформировании верхних геологических слоев и формировании режима поверхностных и грунтовых вод.

А все это, вместе взятое, оказывает большое влияние на размещение, характер и устойчивость гражданских и промышленных зданий и сооружений, трассирование дорог, каналов, путепроводов и т.д. Чтобы правильно оценить влияние рельефа на проектирование, строительство и эксплуатацию строительных объектов, инженеру-строителю необходимо знать основные положения науки о рельефе – геоморфологии.

5.2 ЭЛЕМЕНТЫ И ФОРМЫ РЕЛЬЕФА

Под элементами рельефа нужно понимать поверхности, линии и точки, составляющие формы рельефа (рис. 69).

Поверхности образуют форму рельефа и они могут быть горизонтальными, наклонными, выпуклыми и сложными. Пересечения поверхностей образуют линии и следует различать водораздельные, водосливные, подошвенные линии и линии бровки. При этом водораздельная линия разделяет поверхностный сток противоположных склонов, а водосливная – образует-

ся при пересечении двух поверхностей-склонов и проходит по дну долин, балок и оврагов.

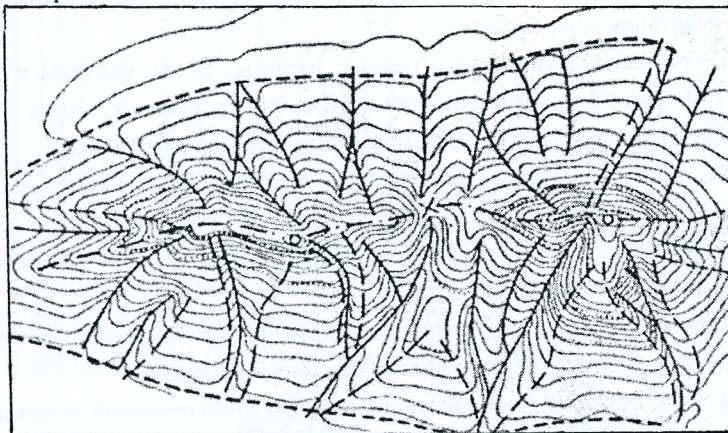


Рис. 69 Основные формы рельефа: О - вершина; Х - седловина (перевал); - · - - линия водораздела; — - линия тальвегов; ······ - линии вгибов и бровок; ---- - линии подошвы склонов.

Подошвенная линия ограничивает основания склонов различных форм рельефа; бровка – это линия, по которой проходит резкий перегиб склона, то есть резкая смена его крутизны.

К характерным точкам рельефа относят вершинные (наибольшая высота на данном участке местности), перевальные (дно понижений гребней хребтов), устьевые (устья рек) и донные (наиболее низкая точка понижений рельефа).

Формы рельефа образуются из различных сочетаний элементов рельефа. Различают две группы: положительные - выпуклые по отношению к плоскости горизонта, и отрицательные – вогнутые.

По своему происхождению формы рельефа подразделяют на тектонические, эрозионные и аккумулятивные.

Тектонические возникают в процессе движения земной коры. Это крупные формы, образующие основной облик рельефа земли (горные хребты, равнины, морские понижения и т.д.)

Эрозионные формы связаны с разрушительной работой текучих вод (атмосферных, речных, подземных и т.д.), и поэтому они активно меняют свои очертания во времени.

Аккумулятивные формы (речные террасы, дюны, барханы и т.д.) являются следствием накопления продуктов процесса выветривания.

Проанализируем основные положительные формы рельефа:

Нагорье – обширная возвышенность, состоящая из системы горных хребтов и вершин.

Горный кряж – невысокий горный хребет с пологими склонами и плоской вершиной.

Горный хребет – вытянутая возвышенность с относительной высотой более 200 м, с крутыми, нередко скалистыми, склонами.

Гора – изолированная возвышенность с относительной высотой более 200 м.

Плоскогорье – нагорная равнина, обширная по площади, с плоскими обширными поверхностями и хорошо выраженными склонами.

Плато – приподнятая равнина, ограниченная хорошо выраженными, нередко обрывистыми, склонами.

Гряда – узкая вытянутая возвышенность с крутизной склонов более 20° и плоскими вершинами.

Увал – вытянутая возвышенность значительной длины с пологими склонами и плоскими вершинными поверхностями.

Холм – обособленная куполообразная или коническая возвышенность с пологими склонами. Относительная высота менее 200 м.

Курган – искусственный холм.

Бугор – изолированная куполообразная возвышенность с резко выраженной подошвенной линией. Крутизна склонов не превышает 25°, вершина обычно плоская.

Конус выноса – невысокая возвышенность, располагающаяся в устье русла водотоков и имеющая вид усеченного конуса с о слабо выпуклыми пологими склонами.



ГРАНИЦЫ ОЛЕДЕНЕНИЙ

- поозерского
сожского

- Грядово-холмистые краевые ледниковые образования поозерского оледенения
- Грядово-холмистые и холмисто-увалистые краевые ледниковые образования сожского оледенения
- Холмисто-увалистые и увалистые краевые ледниковые образования днепровского оледенения
- Холмистые и волнистые моренные равнины поозерского оледенения
- Увалистые и пологоволнистые моренные равнины сожского оледенения
- Пологоволнистые моренные равнины днепровского оледенения
- Мелкохолмистые и пологоволнистые флювиогляциальные равнины и низины поозерского оледенения
- Волнистые и пологоволнистые флювиогляциальные равнины и низины сожского оледенения
- Пологоволнистые флювиогляциальные равнины и низины днепровского оледенения
- Плоские и пологоволнистые ледниково-озерные равнины и низины поозерского оледенения
- Холмисто-западинные камовые массивы поозерского оледенения
- Холмисто-западинные камовые массивы сожского оледенения
- Плоские озеро-аллювиальные низины поозерского возраста
- Аллювиальные низины и долины рек поозерско-голоценового возраста

- Заболоченные поверхности
 Поверхности, перекрытые лессовидными отложениями

ФОРМЫ РЕЛЬЕФА

- Краевые ледниковые гряды
- Камы
- Озы
- Флювиогляциальные дельты
- Золовые холмы и гряды
- Овраги, балки

Рис. 70 Геоморфологическая карта Беларуси.

Разновидностей отрицательных форм рельефа значительно меньше. К ним относятся:

Котловина – понижение значительной глубины с крутыми склонами. Неглубокие понижения с пологими склонами называют впадиной.

Долина – вытянутое углубление, имеющее уклон в одном направлении, со склонами различной крутизны и формы (террасы, оползни, промоины и др.)

Балка – вытянутое углубление значительной длины. С трех сторон имеет пологие задернованные или покрытые растительностью склоны.

Овраг – вытянутое углубление с крутыми и местами отвесными обнаженными склонами. Глубина и длина оврагов различны.

Промоина – небольшое вытянутое мелкое углубление, имеющее с трех сторон крутые, незадернованные склоны.

Лощина или ложбина стока – вытянутое углубление с пологими склонами, покрытое растительностью. Глубина не превышает нескольких метров.

На рис. 70 приведена геоморфологическая карта Беларуси, отражающая все особенности аккумулятивности и эрозионно-аккумулятивной поверхности рельефа.

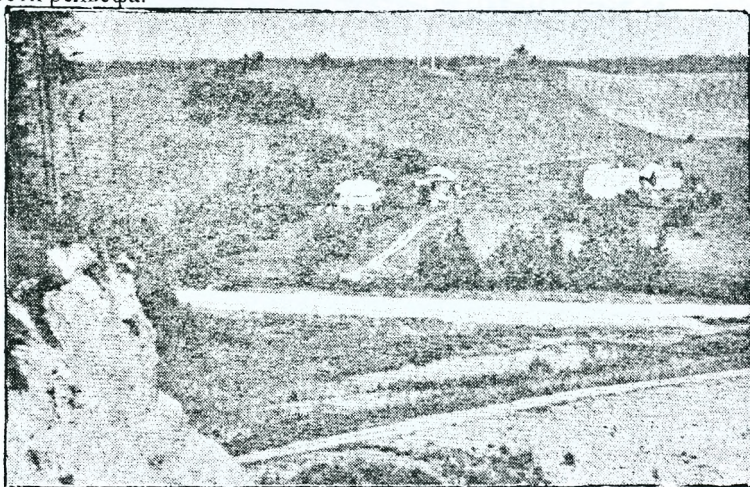


Рис. 71 Камы и камовые террасы (Молодеченский район).

Для полного представления наиболее специфичных форм рельефа на рис. 71, 72, 73 и 74 приведены фотоснимки озов, камов, балок и золовой гряды.

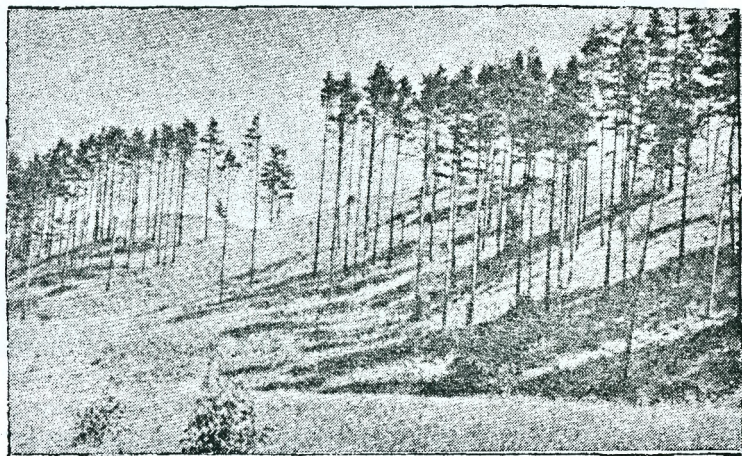


Рис. 72 Общий вид озов (Браславский район).

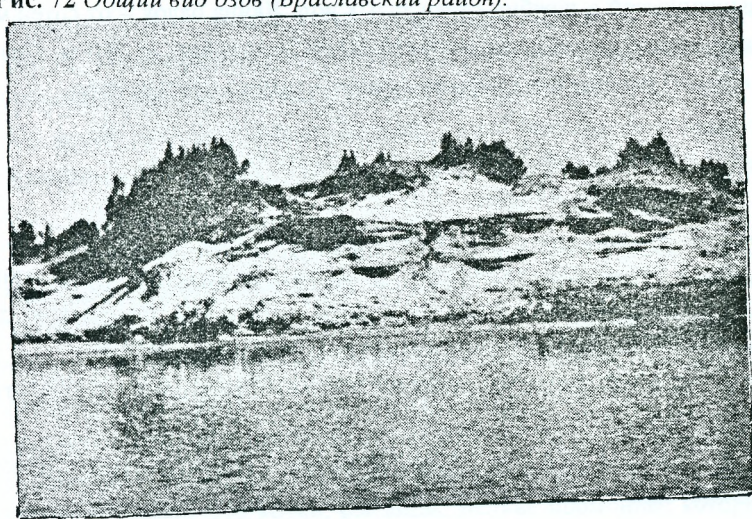


Рис. 73 Общий вид золовой гряды.



Рис. 74 *Общий вид балки (Мстиславский район).*

В Беларуси большинство балок возникло из оврагов во время оледенений и после них, когда растительность не успела закрепить крутые склоны возвышенностей и ложбин стока талых вод. Длина балок – от сотен метров до нескольких километров, глубина 10-20 м, ширина до 100 м. Склоны и дно обычно задернованы и часто покрыты лесом и кустарником.

5.3 ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ФОРМ РЕЛЬЕФА

По своему происхождению формы рельефа подразделяют в зависимости от преобладающего фактора – силы, вызвавшей образование данной формы. Прежде всего их подразделяют на две большие группы:

- 1) формы рельефа, обусловленные деятельностью эндогенных (внутренних) сил;
- 2) формы рельефа, обусловленные деятельностью экзогенных (внешних) сил.

Первые подразделяют на обусловленные движениями земной коры (горообразующими, колебательными) и обусловленные магматическими (вулканическими) процессами.

Вторые -- на формы, обусловленные процессами выветривания: деятельностью текучих вод, подземных вод, морей, снега, льда и ветра; развитием вечной мерзлоты; деятельностью живых организмов; деятельностью человека. Большинству агентов свойственно разрушение, перенос и отложение вещества. Перенос и отложение осуществляются совокупностью внешних геологических агентов, или денудацией, при этом формы рельефа называют денудационными. Эти формы подразделяют затем на эрозионные, вызванные деятельностью текучих вод, и абразионные, обусловленные разрушительной деятельностью моря.

Формы рельефа, образованные в результате накопления переносимого материала, называют аккумулятивными. Среди них выделяют аллювиальные, озовые, ледниковые и т.д.

По своим размерам формы рельефа могут быть весьма разнообразны -- от нескольких сантиметров до десятков и сотен тысяч квадратных километров. Размеры форм рельефа могут существенно влиять на условия строительства, а также указывать на наличие тех или иных природных геологических явлений и инженерно-геологических процессов.

По своей величине формы рельефа делят на семь основных групп: мельчайшие, очень мелкие, мелкие, средние, крупные, крупнейшие и величайшие.

1. Мельчайшие формы рельефа размером до нескольких сантиметров по высоте и имеющие площадь в несколько квадратных сантиметров (песчаная рябь, борозды на полях и т.п.) обычно не имеют существенного значения для строительства. На топографических картах мельчайшие формы рельефа не наносятся.

2. Очень мелкие формы рельефа, высота которых измеряется несколькими дециметрами, редко 1-2 м, наносятся на карты крупного масштаба условными знаками. Это кочки, рывины, мелкие промоины, которые указывают на значительную активность плоскостной и струйчатой эрозии, что

необходимо иметь в виду при планировке поверхности на строительных площадках.

3. Мелкие формы рельефа, которые называют обычно микрорельефом, занимают сравнительно небольшие участки в несколько квадратных метров, реже в несколько десятков и иногда сотен квадратных метров, высота их не более нескольких метров. Эти формы рельефа проектируются на карты масштабов 1:10000, 1: 5000 и крупнее.

Изучение микрорельефа дает богатую информацию о природной обстановке и об инженерно-геологических условиях строительной площадки.

4. Средние формы рельефа, или мезорельеф, характеризуются значительным протяжением, до нескольких десятков километров и измеряются сотнями, тысячами реже сотнями тысяч квадратных метров в плане, при глубине расчленения до 200 м. Положительный мезорельеф – это холмы, бугры, курганы, гребни, уступы, террасы в долинах рек и озер, гряды невысоких возвышенностей. Отрицательный – короткие и неглубокие овраги, балки, большие карстовые воронки, ложбины и т.д. Этот рельеф хорошо изображается на картах масштаба 1:50000 и дает возможность оценить природные и инженерно-геологические условия целых поселков и микрорайонов на предварительных стадиях проектирования.

5. Крупные формы рельефа, или макрорельеф, характеризуется десятками, сотнями и реже тысячами квадратных километров в плане и расчленением по глубине до 200 и даже 2000 м. Такой рельеф изображается на картах масштаба 1:100000 и 1:1000000.

Изучение рельефа помогает дать инженерно-геологическую оценку крупных территорий при планировании размещения строительных объектов.

6. Крупнейшие формы рельефа, или мегарельеф, занимает площади в десятки и сотни тысяч квадратных километров, причем разница в отметках между положительными и отрицательными формами может достигать 500-4000 м. Эти формы передаются на картах масштаба 1:10000000, к ним можно отнести, например, Приволжскую возвышенность и Бразильскую котловину.

7. Величайшие (планетарные) формы рельефа измеряются миллионами квадратных километров, разница в отметках уровней отрицательного и положительного достигает 2500-6500 м, а максимальная – 20000 м. Положительные формы рельефа – материки, отрицательные – океанические впадины.

На рис. 75 представлена физическая карта Беларуси, которая полно характеризует ее рельеф, т.е. его средние и крупные формы.

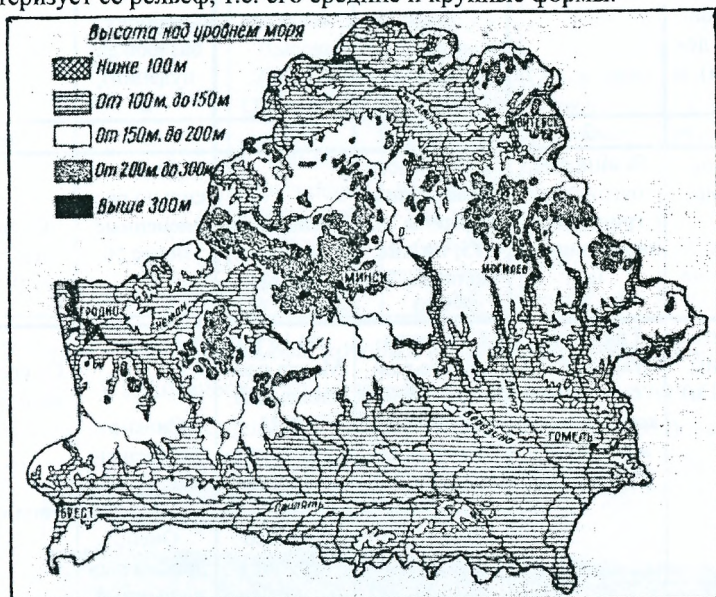


Рис. 75 Физическая карта Беларуси.

Как видно по карте территория республики расположена в западной части Русской равнины с абсолютными высотами от 346 м (Минская возвышенность) до 80 м (долина р. Немана). Глубина расчленения наиболее пониженных междуречий обычно не превышает 5 м, а наиболее повышенных участков – 40 м и более. Густота расчленения (длина эрозионной сети на 1 км² территории) колеблется от 0,2 до 3,5 км/км².

В нижеследующей таблице (табл. 21) дана характеристика основных морфологических комплексов рельефа.

Морфологические комплексы рельефа

Таблица 21

Основные категории (превышения над ближайшими базисами 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
1	2	3	4	5	6
Плоские равнины	Волнистые, бугристые, гривистые, западинные и пр.	Низменности: очень низкие равнины, 0-75, низкие равнины, 75-150	Очень мелко расчлененные,	Очень сильно расчлененные, менее 50	С очень пологими, 0-1
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, > 3000	до 10 м Мелко расчлененные, 10-25 Средне расчлененные, 10-25 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	Со среднепологими, 1-2 С пологими, 2-4 С пологопокатыми, 4-6 С покатыми, 6-8 С крутопокатыми, 8-10

1	2	3	4	5	6
Горы (более 100 м)	Островные, расчленен- ные на хреб- ты и верши- ны, с плоско- ми, округлы- ми, острыми ребнями и пр.	Очень низ- кие, до 500 Низкие, 500-1000 Средневы- сотные, 1000- 2000 Высокие, 2000-3000 Очень высо- кие, 3000-5000 Высочайшие, более 5000	Очень мелко расчленен- ные 100-250 Среднерас- члененные 250-500 Глубоко (крупно) расчленен- ные 500-750 Очень глу- боко рас- члененные 750-1000 С глубочай- шими болес 1000	Слабо расчле- ненные, 1000-2000 Очень слабо расчле- ненные, более 2000	С умеренно крутыми, 10- 15 С крутыми, 15-30 С очень крутыми, 30- 45 С обры- вистыми, более 45

Равнина – это тип рельефа, который отличается колебаниями высот не более 200 м. С практической точки зрения существенное значение имеет их классификация по отношению к уровню моря, общей форме поверхности, глубине, степени и типу расчленения и происхождению. (табл. 22).



Рис. 76 Общий вид моренной равнины (Волковская возвышенность).

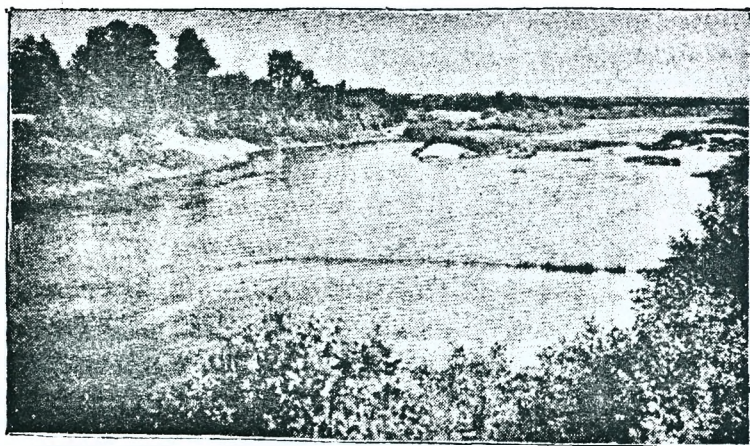


Рис. 77 *Общий вид долины (р. Западная Двина).*

На рис. 76 приведен характерный вид моренной равнины, а на рис. 77 — общий вид речной долины.

Структурная (столовая равнина) обычно образуется древними лавовыми потоками вулканического происхождения. Аккумулятивные равнины образуются в результате накопления осадочных материалов в море или на суше. Среди них выделяют аллювиальные, образовавшиеся в результате накопления отложений в речных потоках. Для них характерен сложный микрорельеф, представленный старицами, прирусловыми валами, плесами и перекатами.

Кроме аллювиальных равнин широкое распространение имеют ледниково-моренные, аккумулятивно-лессовые, морские аккумулятивные, межгорные равнины (котловины) и предгорные наклонные равнины.

Предгорные наклонные равнины образовались в результате аккумуляции отложений конусов выноса, аллювия, пролювия и делювия. По генезису распространенных отложений они могут быть весьма сложными.

Аналогичное строение и состав отложений имеют и межгорные равнины. Однако в них преобладают озерные накопления.

Морские аккумулятивные равнины представляют собой обычно участок морского дна, поднявшегося над уровнем моря (Прикаспийская низменность). Ледниковые моренные равнины образовались в результате дей-

ствия ледников, и поэтому для них характерен сложный рельеф и разнообразие отложений. Если по границе моренные отложения сложены флювиогляциальными отложениями, то они обычно переходят в аллювиальные равнины.

Структурная классификация равнин

Таблица 22

Классификационный признак	Группы и разновидности	Количественная характеристика группы
1	2	3
1. По отношению к уровню моря	а) отрицательные (депрессии, впадины) б) низменные в) возвышенные г) нагорные	Ниже уровня 0-200 м над уровнем 200-500 над уровнем >500 м над уровнем
2. По общей форме поверхности	а) горизонтальное б) наклонное в) вогнутые г) выпуклые	
3. По глубине, степени и типу расчленения	см. табл. 19	
4. По происхождению	а) структурные б) аккумулятивные в) скульптурные	

Аккумулятивно-лессовые равнины, распространенные в Средней Азии, образовались за счет накопления пустынной пыли, из которой и сформировались мощные толщи лесса с идеально ровной поверхностью. Для лессов характерны просадочные явления, способствующие развитию таких форм микрорельефа как “блюдца”, “западины” и “просадочные трещины”.

Скульптурные равнины возникают в результате разрушения горных пород рельефообразующими агентами, как за счет эндогенных, так и экзогенных сил.

При этом следует отличать абразионные и денудационные равнины. Абразионные равнины образуются при разрушении побережья морскими

волнами, а денудационные – за счет разрушения коренных пород, выходящих на поверхность (Полесская низменность).

Равнины наиболее пригодны для заселения, и поэтому на них наиболее сильно проявляется воздействие инженерно-строительной деятельности.

Горный рельеф, в отличие от равнин, представляет собой крупные возвышенности (горы и хребты) и понижения (долины, впадины, котловины) с относительной высотой более 200 м.

По происхождению горы делят на тектонические, вулканические и эрозионные.

Тектонические горы образовались в результате сложных тектонических нарушений земной коры (складки, разломы и надвиги).

Вулканические горы возникли в результате проявления вулканических процессов, и поэтому они приурочены к строго определенным местам. Однако большая часть вулканических гор поднимается над дном океана.

В отличие от тектонических и вулканических гор – эрозионные горы образовались в результате глубокого эрозионного расчленения аккумулятивных равнин из-за поднятия их над базисом эрозии.

Не менее существенным классификационным признаком является и высота гор. Высокими считаются горы с абсолютной отметкой более 3 км с относительным превышением в 1000 м на 2 км протяженности. Для них характерны такие геологические процессы как сели, лавины, обвалы и снежные лавины.

Горы средней высоты имеют абсолютные отметки от 700 до 2000 м и относительное превышение 500-700 м на 2 км протяженности.

Для них характерны эоловые формы выдувания, осыпи и курумы.

Низкие горы имеют абсолютные отметки до 800 м с относительным превышением не более 450 м на 2 км протяженности. Склоны низких гор очень пологие, поэтому геологические процессы типа осыпей и обвалов – проявляются редко.

5.4 СВЯЗЬ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОМОРФОЛОГИИ

Анализ вышеизложенных сведений о геоморфологии и динамической геологии показывает, что правильное и оптимальное решение большинства инженерно-геологических задач требует проведения полного цикла геоморфологических исследований, и особенно, в области проявления экзогенных сил.

Практика показала, что инженерное проектирование требует соответствующего обоснования не только с позиции механики грунтов и общей оценки геологического строения местности, но и с позиции инженерной геоморфологии.

Поэтому под инженерной геоморфологией мы будем понимать науку, которая занимается исследованиями и оценкой рельефообразующих процессов и форм рельефа для поиска оптимального варианта размещения инженерных объектов, обеспечения их рациональной и эффективной эксплуатации и защиты от разрушительных стихийных процессов (бедствий).

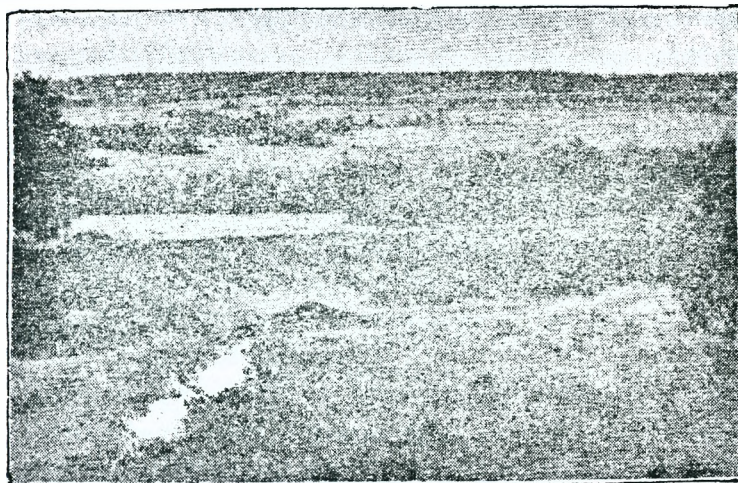


Рис. 78 Общий вид увалистого рельефа (Минская возвышенность).

Как мы уже поняли, рельеф по своей природе очень динамичен, но в какой-то момент он обычно достигает состояния динамического равновесия. Однако это равновесие неполное и непостоянное и оно может измениться как под влиянием природных процессов, так и под воздействием инженерно-строительной и хозяйственной деятельности человека.



Рис. 79 Общий вид овражно-балочного (Мозырский район) и грядово-холмистого рельефа (Минская возвышенность).

Отсюда, основной задачей инженерной геоморфологии является изучение состояния динамического равновесия рельефа, выявление степени его устойчивости и прогнозирование изменений его форм в результате строительства.

О значимости этой проблемы для инженера-строителя говорит разнообразность рельефов и разнообразие типов элементов рельефа (рис. 78 и 79).

Глава 6 ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД

6.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭКОЛОГИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Изучив основы динамической геологии, мы научились в своей деятельности учитывать все региональные геологические процессы. Однако, не меньшее влияние на инженерные сооружения (выбор и место их расположения, выбор способа производства работ) оказывают и современные природные инженерно-геологические и антропогенные инженерно-геологические процессы. Областью действия этих процессов являются массивы горных пород.

Под массивом горных пород, мы будем понимать геологическое тело, образовавшееся в определенной геолого-структурной и тектонической обстановке и характеризующееся присущими только ему геологическими, гидрогеологическими и инженерно-геологическими закономерностями.

Инженерно-геологические особенности массива зависят от многих факторов. Важнейшими из них, при взаимодействии с инженерными сооружениями, являются структура массива (слоистость, трещиноватость, неоднородность, анизотропность, обводненность) и напряженное состояние (степень воздействия гравитационных и тектонических полей Земли).

Но следует отметить, что в практике часто под инженерно-геологическими процессами понимают геологические процессы, не характерные для данной местности и возникшие в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Следует также помнить, что инженерно-хозяйственная деятельность может вызвать изменения и изменить любые региональные геологические (эндогенные и экзогенные) процессы.

Взаимосвязь природных геологических (инженерно - геологических) и антропогенных инженерно-геологических процессов дана в таблице 23.

Таблица 23

№ п/п	Природные геологические процессы	Антропогенные инженерно-геологические процессы
1	2	3
1	Абразия берегов рек и морей	Переработка берегов водохранилищ
2	Оползни, обвалы, осыпи	Деформация искусственных откосов
3	Образование карстовых пустот	Сдвигка горных пород при подземных работах
4	Наледи, ледяные бугры, термокарст	Мерзлотные деформации пород в основании сооружений. Образование пучин в насыпях дорог и других земляных сооружениях
5	Образование блюдц	Просадочные явления в лессах вследствие утечек из систем водоснабжения
6	Гравитационные уплотнения пород под действием ледника и др.	Уплотнение пород в основании сооружений

При изучении этих процессов особое внимание следует уделять причинам их возникновения, развитию во времени, количественной оценке и выбору мероприятий, устраняющих их вредное влияние на строительство и нормальную работу возведенных зданий и сооружений.

В таблице 24 представлена наиболее типовая схема инженерно-хозяйственного воздействия на геологическую среду в городах республики, а в таблице 25 – рекомендации по инженерной защите от опасных инженерно-геологических процессов.

*Инженерно-хозяйственное воздействие
на геологическую среду*

Таблица 24

Источ- ник воз- мущения	Механизм воздействия	Результат воздействия	
		виды полей	инженерно- геологические процессы
1	2	3	4
Жилая застройка	Статические нагрузки Отепляющее воздействие зданий Конденсация влаги под сооружениями и асфальтом Скопление атмосферных вод на участках неправиль- ной планировки Взаимное влияние зданий при плотной застройке и барражный эффект свайных фундаментов Утечки водопроводных и канализационных вод	Статическое (напряжение) Тепловое Влажности	Изменение свойств грунтов Морозное пучение Подтопление Наледи Заболачивание
Промыш- ленная зона	То же, но интенсивнее Утечки и инфильтрация сточных технических вод и растворов, в том числе и горючесмазочных и химически активных веществ Динамические нагрузки	Химическое и электромагнитное Вибрационное	Увеличение агрес- сивной активности вод и грунтов Изменение свойств грунтов, оползнеобразова- ние
Коммуналь- но-складс- кая зона	Утечки горючесмазочных и химически активных веществ	Химическое	Физико-химичес- кие процессы в водоносных гори- зонтах и грунтах
Незастро- енная тер- ритория	Искусственные поливы	Влажности	Заболачивание

*Рекомендации по инженерной защите от
опасных инженерно-геологических процессов*

Таблица 25

Вид	Основные причины		Рекомендации
	природные	техногенные	
1	2	3	4
Подтопление	Избыточное увлажнение, уплощенный рельеф, слабопроницаемые грунты	Утечки вод из водонесущих сетей, подпор свайными полями	Для естественно подтопленных - защитная гидроизоляция, пристенные дренажи; для техногенно-подтопленных - устранение утечек из водонесущих коммуникаций, организация поверхностного стока
Заболочивание	Затрудненный поверхностный сток, близкое залегание водоупора	Утечки техногенных вод, участки карьеров	Осушение
Оврагообразование	Расчлененный рельеф, наличие легко размываемых лессовидных пород	Отсутствие организованного стока поверхностных вод	Планомерная отсыпка вершин оврагов. Исключить сброс сточных вод
Оползнеобразование и осыпи	Высота и крутизна склона, два структурных этажа, разгрузка на склоне двух водоносных горизонтов	Утечка воды из водопроводов, застройка прибалочной части склона	Горизонтальный и вертикальный дренаж для перехвата подземных вод, выполаживание склона и его террасирование, буронабивные сваи в средней части склона, организация поверхностного стока, благоустройство и озеленение
Морозное пучение	Состав пород: пылеватые, иловатые, суглинки, глина, супеси; близкое залегание грунтовых вод	Недоброкачественное проведение строительных работ	Осушение пучинистых участков с помощью дрена, замена пучинистых грунтов на хорошо проницаемые
Наледи	Разгрузка подземных вод	Утечка воды из водонесущих коммуникаций	Осушение местности, отвод воды

Следует отметить, что сегодня в республике возникло и требует быстрого решения целый ряд сложнейших экологических проблем, связанных с влиянием инженерно-хозяйственной деятельности на геологическую среду. Наиболее "горячими" в геоэкологическом отношении являются Солигорский (засоление подземных вод и просадка поверхности земли, источник – Солигорский калийный комбинат), Микашевичский (загрязнение и истощение подземных вод, источник – Микашевичский гранитный карьер) районы, г. Минск (просадка и деформация объектов, источник – Минский метрополитен) и другие районы и города (Светлогорский, Старобинский, Рогачевский, г. Бобруйск, г. Могилев).

А сейчас детальнее взгляните на солигорскую "аномалию". За тридцать лет добычи калийной соли осело более 20 тыс. га земли (Солигорский, Любанский и Слуцкий районы) и 6,5 тыс. га превратились в болото. В солеотвалах, занимающих около 1500 га накопилось 500 млн. т. твердых и 70 млн. т. жидких отходов. О степени засоления грунтовых и подземных вод говорит тот факт, что водозаборы расположены в 40 км от Солигорска. Солигорское водохранилище сегодня по солености воды не уступает морям.

Следует отметить, что при этом ежегодно более 1,5 млн. \$ "Беларуськалий" вкладывает в решение этой геоэкологической проблемы (защита поверхности солеотвалов от развеивания, закачка соляных рассолов на глубину до 2 км и т.д.).

6.2 СКЛОНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

Горные породы, слагающие склоны, часто находятся в неустойчивом или слабоустойчивом состоянии.

Под действием силы тяжести (гравитационных сил) в определенных условиях они начинают смещаться вниз по склону. В результате этого возникают осыпи, курумы, обвалы и оползни.

Осыпи формируются на крутых склонах, сложенных скальными породами. Под действием физического выветривания они растрескиваются, и обломки скатываются и сползают вниз по склону до подножия.

Мощность осыпей колеблется от 1 до 100 м, и они могут образовывать крупные конусы или прерывистые валы-осыпи, состоящие из каменных глыб, камней, щебня и мелких обломков. От крупности обломков, преобладающих в осыпи, они делятся на крупнообломочные (глыбовые), среднеобломочные (щебеночные) и мелкообломочные (дресвяные). Осыпи, состоящие из сланцевых и осадочных пород (известняки, мергели, песчаники), формируют группу разнообломочных осыпей. Характерной особенностью осыпей является их подвижность. По подвижности осыпи подразделяют на действующие (находящиеся в стадии интенсивного движения), затухающие и неподвижные.

Действующие осыпи состоят из массы обломков в рыхлом состоянии, поверхность которых не покрыта растительностью. Эта масса может прийти в движение от любых сотрясений, сильного увлажнения и даже увеличения общей массы.

Интенсивность движения осыпей зависит от количества поступающего материала, угла естественного откоса материала, угла поверхности осыпи и может быть от 0,1 до 1 м в год.

Основной расчетной характеристикой является коэффициент подвижности осыпи $k_n=0,1-1,0$. По величине этого коэффициента выделяют четыре типа осыпей: подвижные (живые) – $k_n \geq 0,1$; достаточно подвижные – $k_n=0,71-1,0$; слабоподвижные (затухающие) – $k_n=0,5-0,7$; неподвижные уплотнившиеся – $k_n < 0,5$. Для затухающих осыпей характерно развитие на поверхности растительности (кустарник, слабый дерновый слой). Неподвижные осыпи полностью задернованы и покрыты кустарниковой и древесной растительностью.

Иногда осыпи, при насыщении их водой, трансформируются в осывы, представляющие собой разновидности оползней. Осыпи значительно усложняют строительство, так как они засыпают сооружения и прилегающие к ним территории.

Борьбу с осыпями ведут различными способами. Это – уборка обломочного материала, если осыпь небольшая щебеночная, или возведение инженерных сооружений (улавливатели, подпорные стенки, защитные ко-

зырьки и сетки). Иногда экономичнее вместо защитных сооружений строить объекты в галереях и тоннелях.

Обязательной является организация службы наблюдения на особо опасных участках.

Осыпи обломочно-щебенистого состава находят широкое применение как источник строительных материалов.

Курумы (каменные россыпи) – это скопления у подошвы склонов крупных обломков и глыб. Их мощность может достигать до 15-20 м. Характерной их особенностью является подвижность. Пространство между глыбами обычно заполнено суглинисто-щебеночным материалом или свободно. Когда курум формируется в области ложбин, то при смачивании водой подстилающего слоя, они переходят в каменные потоки, со скоростью движения от 0,1 до 1 м в год. В зависимости от подвижности они делятся на действующие, затухающие и затухшие. Действующие курумы очень подвижны, пустоты между глыбами не заполнены, растительность отсутствует. В затухших курумах никаких следов движения нет, россыпь задернована и покрыта растительностью.

При своем движении курумы разрушают сооружения, засыпают котлованы и полезные площади.

Бороться с ними можно разрушением наиболее крупных глыб (взрывные работы), осушением территории и устройством сооружений в галереях и в тоннелях.

Обвал – это обрушение более или менее крупных масс горных пород с опрокидыванием и дроблением.

Обвалы обычно возникают на крутых склонах, обрывах, строительных котлованах, траншеях и карьерах.

Наиболее часто обвалы связаны с трещиностойкостью пород, подмывом или подрезкой склонов, избыточным увлажнением пород, землетрясениями и перегрузками обрывов. Чаше всего обвалы проявляются в периоды дождей, таяния снегов и весенних оттепелей.

По объему и характеру обрушения обвалы весьма различны. Это могут быть как отдельные глыбы, так и масса пород в десятки и сотни м³, а иногда и миллионы м³. Одной из разновидностей обвалов являются вывалы. Вывал

– это обрушение отдельных глыб и камней из скальных пород в откосах выемок, полувыемок и отвесных склонов.

Первичными признаками обвалов являются глухой шум и треск, расширение существующих и появление новых трещин.

Все мероприятия по борьбе с обвалами сводятся к предупреждению их возникновения и осуществлению защитных мероприятий. Для предупреждения малых обвалов обычно проводят искусственное обрушение склонов при помощи взрывов. На скальных склонах широко практикуют тампонаж (забивка) трещин или общее цементирование трещиноватого массива, скрепление отдельных частей породы металлическими тяжами и скрепами. Иногда экономически целесообразно устройство подпорных и улавливающих стенок, рвов и траншей для отвода поверхностных вод.

Для предупреждения обвалов в строительных выемках не следует на длительное время котлованы оставлять открытыми, особенно в период дождей. При необходимости можно забивать временные шпунтовые стенки, крепить откосы облицовочными плитами и ставить щитовые крепления.

Наиболее часто в строительной практике встречаются такие процессы как оползни. Оползень – это скользящее смещение горных пород на склонах под действием силы тяжести и при участии поверхностных или подземных вод. Они приносят огромный вред, разрушая здания и сооружения на самих склонах и ниже их.

Внешний облик оползневых склонов имеет ряд признаков, позволяющих установить насколько устойчиво состояние склона. В месте возможного отрыва массы пород образуется серия концентрических трещин, ориентированных вдоль склона. При активном сползании на склонах хорошо видны смещенные земляные массы и террасированные уступы. Очень часто внешним признаком оползней является “пьяный лес” и разорванные стволы деревьев.

На оползневых склонах можно также наблюдать потерявшие вертикальность столбы линий связи и электропередач, заборы, стены и значительные деформации зданий и сооружений в виде трещин, имеющих наибольшее раскрытие в нижней части.

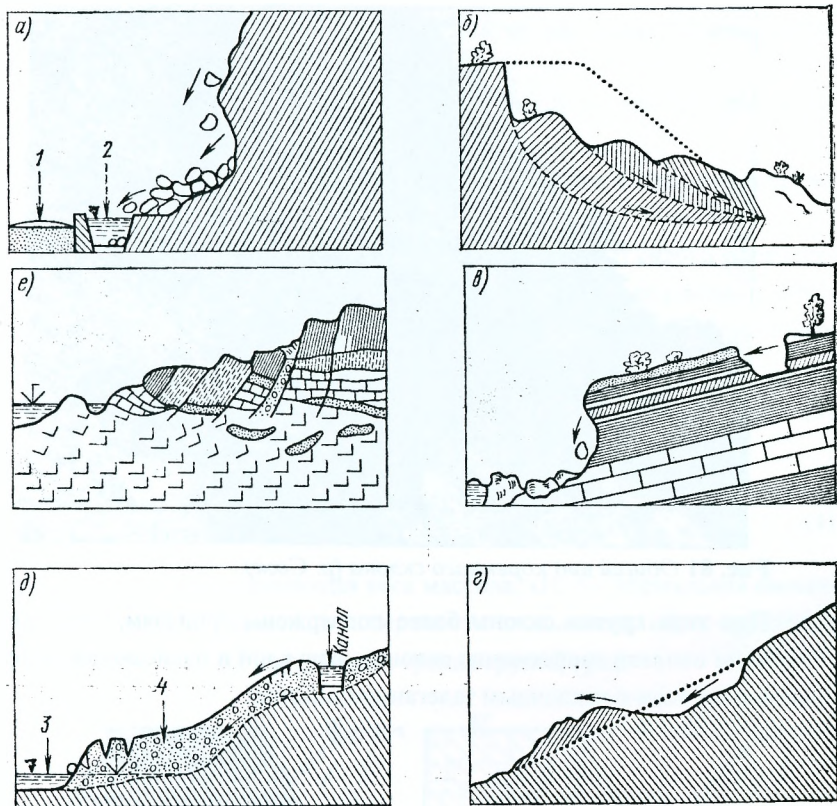


Рис. 80 *Формы нарушения устойчивости и деформации склонов: а - обвалы и вывалы; б - обрушение со срезом и вращением; в - скольжение; г - оплыв; д - покровные оползни; е - скол при просадке; 1 - дорога; 2 - канал; 3 - река; 4 - оползневой делювий.*

Возникновение и развитие оползней возможно в некоторых определенных условиях, характеризующих: высоту, крутизну и форму склона; его геологическое строение; свойства слагающих пород и геологические условия (рис. 80).

На рис. 81 приведен общий вид коренного склона долины р. Сожа, для которого характерны и обвалы, и вывалы и обрушения.



Рис. 81 Общий вид коренного склона (р. Сож).

При этом крутые склоны более подвержены оползням, чем пологие. Особенно оползни свойственны склонам выпуклой и нависающей конфигурации и склонам с наклонным залеганием пластов.

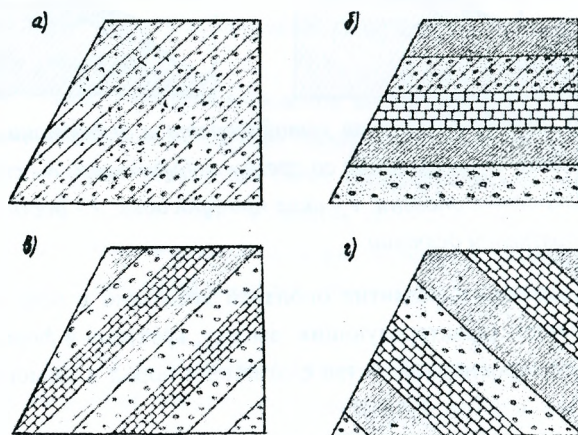


Рис. 82 Виды склонов: а - однородный; б - горизонтально-слоистый; в - падение слоев согласно склону; г - падение слоев несогласно склону.

На рис. 82 приведены наиболее характерные виды склонов по их строению.

Типичными оползневыми породами являются различные глинистые образования, для которых характерна ползучесть.

подавляющее большинство оползней приурочено к выходам подземных вод.

Механическая устойчивость (степень устойчивости) склона определяется соотношением сил, стремящихся столкнуть массу пород вниз по склону и сил, которые сопротивляются этому (рис. 83). Устойчивость грунтовых масс на склоне определяется зависимостью

$$N = N \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot F, \quad (3)$$

а степень устойчивости

$$k_{уст} = \frac{N \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot F}{T}, \quad (4)$$

где T - сдвигающая составляющая веса массива, кН; N - нормальная составляющая веса, кН; F - площадь поверхности скольжения, м^2 ; c - удельное сцепление, кПа; φ - угол внутреннего трения грунта, град.

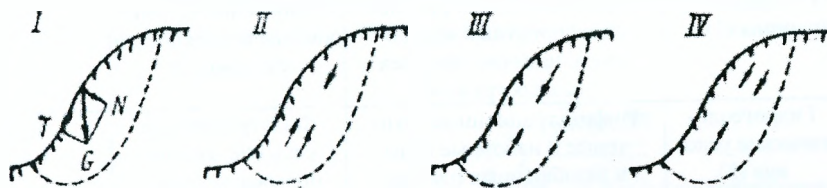


Рис. 83 Схема сил, действующих на склоне: I - параллелограмм сил; II - при $K_{уст} > 1$; III - при $K_{уст} = 1$; IV - при $K_{уст} < 1$.

Из уравнений видно, что к сдвигающим силам относят — вес грунтового массива, вес расположенных на массиве зданий и сооружений, гидростатическое и гидродинамическое давление подземных вод, а к удерживающим — силы сцепления и силы внутреннего трения.

Если $K_{уст} > 1$, склон находится в устойчивом состоянии, $K_{уст} = 1$ — в состоянии предельного равновесия, $K_{уст} < 1$ — в неустойчивом состоянии.

Оползни могут возникать как под действием природных процессов, так и производственной деятельности человека.

Основными причинами оползней являются три группы процессов:

- процессы, изменяющие внешнюю форму и высоту склона;
- процессы, ведущие к изменению строения и физико-механических строительных свойств пород, слагающих склон;
- процессы, создающие дополнительное давление на породы, слагающие склон.

Факторы, влияющие на устойчивость откосов

Таблица 26

Действующие факторы (номер)	Характер воздействия	Последствия	Связь с другими факторами
1	2	3	4
Ненарушенные рыхлые породы (1)	Изменение свойств	Увлажнение, уменьшение естественной плотности и сопротивления сдвигу	2, 3, 4, 7, 10
Условия залегания (2)	Переслаивание пород, неблагоприятный наклон слоев, наличие прослоек слабых грунтов	Увлажнение, формирование поверхностей скольжения	1, 3
Гидрогеологические условия (3)	Инфильтрационные грунтовые и напорные воды в разобренных пластах	Фильтрационное давление, явления оплывания грунта	1, 2, 4, 6, 9, 10
Выветривание (4)	Увлажнение атмосферными осадками, влияние колебаний температуры и ветра	Эрозия, увлажнение, воздействие мороза, дефляция	1, 5, 9
Профиль откоса (5)	Чрезмерно крутой откос, подмыв откоса	Возрастание усилий, вызывающих оползание	1, 2, 3, 4, 7, 8
Морфологические условия (6)	Крутое заложение откоса. Приток воды, экспозиция склона	Эрозия, увлажнение	1, 3, 4, 9

1	2	3	4
Нагрузки (7)	Статические и динамические нагрузки	Возрастание порового давления, явления оплыwania, осадка сооружения	1, 4, 8
Технические воздействия (8)	Вид и интенсивность разработки, способ и интенсивность укладки, толщина укладываемых слоев, водоотвод и уплотнение	Поровое давление	1, 2, 3, 4, 5, 6
Растительность (9)	Стабилизация, защита поверхности от размыва	Эрозия, увлажнение	1, 2, 3, 4, 10
Деятельность животных (10)	Образование пустот, разрыхление	Эрозия, увлажнение, осадки	1, 2, 9

В таблице 26 охарактеризованы факторы, влияющие на устойчивость склонов (откосов), последствия воздействия и их взаимосвязь.

Из классификационной таблицы видно сколь многообразны условия и причины возникновения оползней. В оползне следует выделять следующие элементы: оползневое тело; поверхность скольжения; бровки срыва; оползневые террасы (террасовидные уступы); вал выпучивания; подошва оползня (рис. 84).

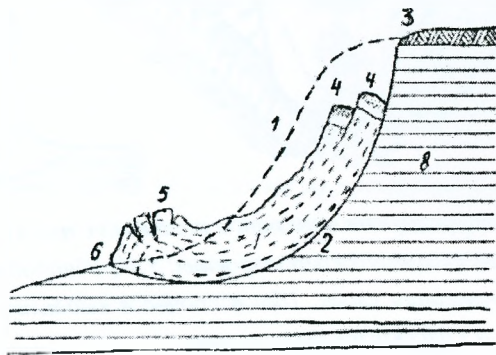


Рис. 84 Элементы оползня: 1 - оползневое тело; 2 - поверхность скольжения; 3 - бровка срыва; 4 - оползневые террасы; 5 - вал выпучивания с трещинами; 6 - подошва оползня; 7 - положение склона до оползня; 8 - коренной массив пород.

Оползневое тело в плане имеет вполне определенные и четко выраженные формы: оползневые цирки (для однородных пород); оползневые террасы (для склонов речных долин) и др.

Строение оползневых тел обычно сложное, так как на одном и том же участке может быть одна или несколько поверхностей скольжения, что определяется геологическим строением склона (рис. 85).

Принципиально все оползни делятся на соскальзывающие и постепенно сползающие, скорость движения которых от 0.00001 до 100 м/ч.

В практике нужно уметь выделять собственно оползни, сплывины и оползни-обвалы.

Собственно оползни происходят только путем скольжения грунтовых масс по склону, при этом плоскость скольжения находится на значительных глубинах.

Сплывины (сплывы) – это смещения грунтовых масс на небольшой площади, вследствие водонасыщения верхних слоев. Обычно сплывины наблюдаются в весенний период и глубина залегания плоскости скольжения не более 1-2 м.

Оползни-обвалы представляют собой смещения грунтовых масс по типу скольжения и обвала и они характерны в основном для крутых склонов.

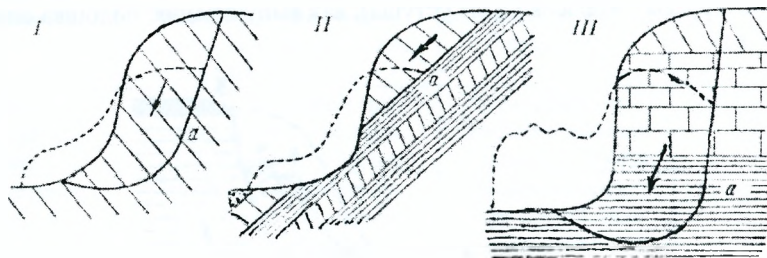


Рис. 85 Схема развития оползней и положение плоскости скольжения в зависимости от геологического строения: I - в однородных грунтах; II - при наклонном залегании слоев; III - в процессе выдавливания глин из-под скальных пород; а - плоскость скольжения.

Борьба с оползнями представляет трудную задачу, что связано с многообразием причин, порождающих оползневые процессы.

Меры борьбы с оползнями проектируют с учетом его активности. Различают оползни действующие и недействующие.

Недействующие оползни движений не проявляют, их поверхность сглажена геологической деятельностью атмосферных вод. Однако при переработке эти склоны могут придти в движение.

Действующие оползни требуют применения противооползневых мероприятий, зависящих от причин, которые порождают этот оползень.

Все меры борьбы делятся на активные и пассивные.

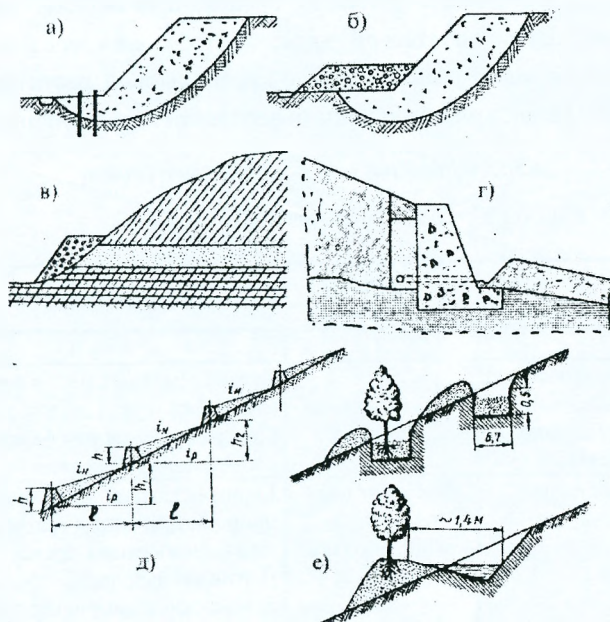


Рис. 86 Схемы укрепления оползней: а) железобетонными шпильками; б) отсыпкой контранбетков; в) устройством фильтрующей контрбанкетки; г) устройством подпорной стенки; д) устройством перегораживающих стенок; е) устройством террас.

Активные меры предусматривают необходимость устройства инженерных сооружений и специальных мер по закреплению пород оползневого склона или откоса выемки (рис. 86).

Активные меры делятся на четыре группы:

- борьба с процессами, вызывающими оползни;
- закрепление и удержание сползающих грунтовых масс;
- повышение сопротивляемости сдвигающему усилию;
- сьем (срез) оползневых масс до устойчивых пород.

Пассивные меры включают мероприятия профилактического порядка, запрещающие те или иные действия.

Запрещается в строительной практике: подрезка оползневых склонов; строительство на склонах и около их бровок; производство взрывных и горных работ вблизи оползневой зоны; быстрое движение транспорта в оползневой зоне; уничтожение травяно-кустарниковой растительности на склонах; сброс на оползневые склоны поверхностных и подземных вод.

Классификация мер борьбы с оползнями

Таблица 27

Активные причины, вызывающие оползни	Меры борьбы	
1	2	3
Изменение напряженного состояния глинистых пород (перепад давления)	Уполаживание откоса	Срезка земляных масс в верхней части откоса и укладка у подножия Пригрузка земляным банкетом в месте ожидаемого выпирания
Подземные воды	Перехват подземных вод выше оползня	Горизонтальный дренаж: сплошная прорезь; дренажная галерея; горизонтальные скважины-дрены Вертикальный дренаж: забивные фильтры, сквозные фильтры, колодцы, сифонный дренаж
Поверхностные воды	Защита берегов	от абразии Волноотбойные стены Волноломы подводные и надводные Буны Завоз пляжевого материала
		от боковой эрозии Мощение откоса Тюфяки Каменная наброска Струнаправляющие сооружения

1	2	3
Атмосферные осадки	Регулирование поверхностного стока	Микропланировка Лотки, кюветы, канавы, быстроток, дорожки, дороги
Выветривание	Защита грунтов поверхности склона	Одерновка, посев трав, древонасаждение Изоляция поверхности
Совокупность ряда активных причин	Механическое сопротивление движению земляных масс	Подпорные стенки Свайные ряды, шпонки Земляные контрбанкеты Замена грунтов поверхности скольжения
	Изменение физико-технических свойств грунтов	Подсушка и обжиг глинистых грунтов Электрохимическое закрепление грунтов
Некоторые виды деятельности человека	Специальный режим в оползневой зоне	Сохранение склонов в устойчивом состоянии Ограничения в производстве строительных работ Режим эксплуатации различных сооружений

В таблице 27 приведена классификация мер борьбы с оползнями.

6.3 СУФФОЗИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ

При движении подземных вод в грунтовых массивах (фильтрации) совершается большая разрушительная работа – вымыв мелких частиц или их растворение. Это сопровождается оседанием поверхности земли, образованием воронок, провалов и т.д. Этот процесс называют суффозией (от лат. подрывание) (рис. 87).

Различают два вида суффозии – механическую и химическую. При механической суффозии фильтрующая вода отрывает от породы и выносит во взвешенном состоянии песчаные, пылеватые и глинистые частицы. При химической суффозии вода растворяет частицы породы (карбонаты, соли, гипс) и выносит продукты разрушения.

Иногда может наблюдаться химико-механическая суффозия, то есть характерно одновременное действие двух видов суффозии. Это характерно для лессовых грунтов и разнородных песчаников с известковым цементом.

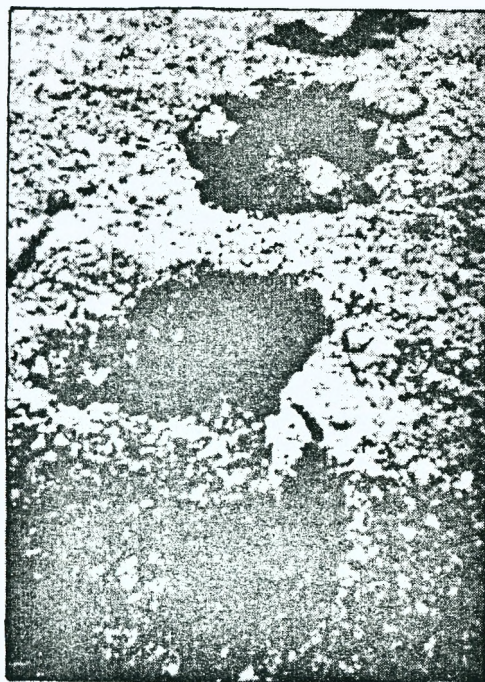


Рис. 87 *Общий вид суффозионных провалов.*

Основной причиной суффозионных явлений является возникновение в подземных потоках сил гидродинамического давления и превышение величины критической скорости воды. Это вызывает отрыв частиц и вынос их во взвешенном состоянии. Взвешивание частиц может произойти только при критическом градиенте

$$J_{кр} = (\rho - 1) \cdot (1 - n) + 0.5 \cdot n,$$

где ρ - плотность грунта, г/см³; n - пористость в долях единицы.

Суффозия наиболее свойственна гранулометрически неоднородным породам. При этом суффозия может происходить как в глубине массива пород, так и вблизи поверхности земли. Собственно процесс механической суффозии протекает следующим образом:

- крупные частицы создают скелет (каркас) породы;
- мелкие частицы под действием фильтрующейся воды двигаются по порам (пустотам) в скелете;
- перемещение мелких (глинисто-пылеватых и пылевато-песчаных) частиц приводит к изменению состава пород и соответственно изменению их физико-механических и строительных свойств.

Обычно суффозия возникает с момента появления критического напора (градиента) со значением $J_{кр} \leq 5$.

Нужно также иметь в виду, что суффозия может также происходить как в горизонтальном направлении (в пределах одного пласта пород), так и в вертикальном (из одних пластов в другие). При контактной (межпластовой) суффозии между слоями часто формируются прослои или пустоты. Формирование прослоев характерно на контакте глинистых и песчаных слоев, когда соотношение их коэффициентов фильтрации не менее 2÷3.

Пустоты обычно образуются на контакте лессовых пород и известняков-ракушечников. Размеры пустот (пещер) могут достигать до 10 м. Развитие пустот нередко сопровождается провалами поверхности земли, приводящими к повреждению, или даже разрушению зданий, сооружений и подземных коммуникаций.

В строительной практике наиболее часто приходится сталкиваться с химико-механической суффозией, активно проявляющейся вблизи поверхности земли при естественном или антропогенном изменении гидродинамических условий (колебание уровня поверхностных и подземных вод; формирование депрессионных воронок; откачка подземных вод; дренирование территории и т.д.).

Не менее часто суффозия возникает на склонах речных долин и откосах водохранилищ при быстром спаде паводковых вод, в местах выхода (выклинивания) подземных вод, на орошаемых землях и т.д.

Химическая суффозия, обусловленная растворением, в основном выщелачиванием карбонатов и кремнеземов, может перейти в карстовый процесс.

Следует отметить, что механическая суффозия возможна только в несвязных породах (пески, супеси), а в связных (суглинки, глины, торфы) она всегда отсутствует. Химическая суффозия возможна во всех категориях пород и, особенно, лессовых.

Суффозионные явления отрицательно сказываются на устойчивости зданий и сооружений и поэтому с ними следует вести активную борьбу.

Основой всех мероприятий является прекращение фильтрации воды. Это можно достичь следующими путями:

- регулированием поверхностного стока атмосферных вод;
- гидроизоляцией поверхности земли;
- тампонажем мест выклинивания подземных вод;
- устройством дренажей для осушения пород или уменьшения скорости фильтрации воды;
- упрочнением пород методами силикатизации, цементации и глинизации.

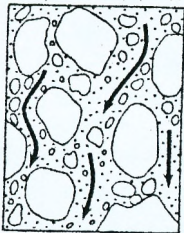
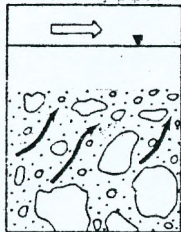
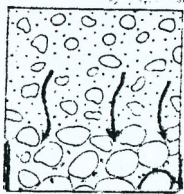
На рис. 88 показана схема образования суффозионной полости в лессовых породах, залегающих на известняках-ракушечниках.

Особенностью инженерно-геологических исследований массивов пород, в которых наблюдается или возможна фильтрация воды, является необходимость выявления их способности к суффозии.

При малом гидродинамическом давлении воды в породах происходит только фильтрация воды, при его повышении уже начинается суффозия, которая может перейти в пловун. Для выявления этих свойств необходимо определять критические градиенты и давление воды, при которых начинается процесс суффозии.

Классификация основных видов суффозии как фильтрационной деформации пород под влиянием подземных вод

Таблица 28

Процесс	Особенности процесса	Изменения свойств породы
1	2	3
Внутренняя суффозия 	Протекает внутри несвязной горной породы, кратковременный, короткий путь переноса	Увеличение объема пор, изменение гранулометрического состава, сцепления и угла трения, уменьшение плотности, увеличение коэффициента водопроницаемости, фильтрационного расхода и гидродинамического давления фильтрующейся воды
Внешняя суффозия 	Протекает на свободной поверхности независимо от направления фильтрационного потока и уклона свободной поверхности	
Контактная суффозия 	Протекает в контактной зоне рыхлых пород различного состава (в общем случае фильтрация идет от мелких зерен к крупным и по уклону)	Разрушение основания в результате длительной суффозии (например, в зоне подпорных сооружений, котлованов или при интенсивном понижении уровня грунтовых вод)

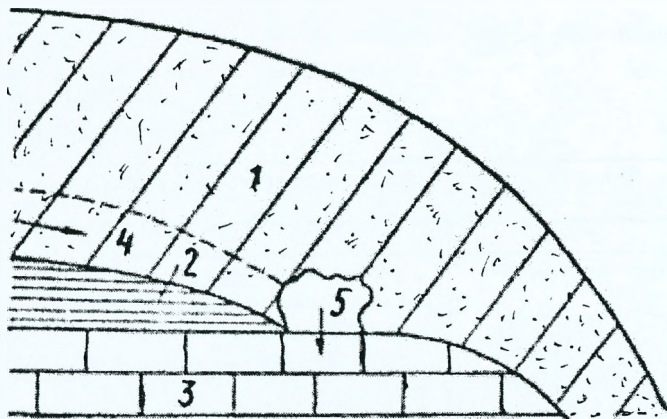


Рис. 88 Суффозионная полость в лессовых породах, залегающих на известняках-ракушечниках: 1 - лессовидный суглинок; 2 - водоупорная глина; 3 - известняк-ракушечник; 4 - поток грунтовой воды; 5 - суффозионная пещера.

Классификация основных видов суффозии как фильтрационной деформации пород приведена в табл. 28.

6.4 КАРСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

Карст (карстовый процесс) – это явление, связанное с выщелачиванием горных пород и сопутствующим образованием пустот и различных провалов земной поверхности (рис. 89).

Принципиальным отличием карстового процесса от суффозии является растворение пород и вынос из них веществ в растворенном виде.

Наиболее широко карст распространен в районах, где залегают известняки, доломиты и гипсы.

Интенсивность развития карста обусловлена способностью пород к полному растворению, наличием проточной воды и степенью ее минерализации, геологическим строением и рельефом местности, трещиноватостью пород, климатом и характером растительности.

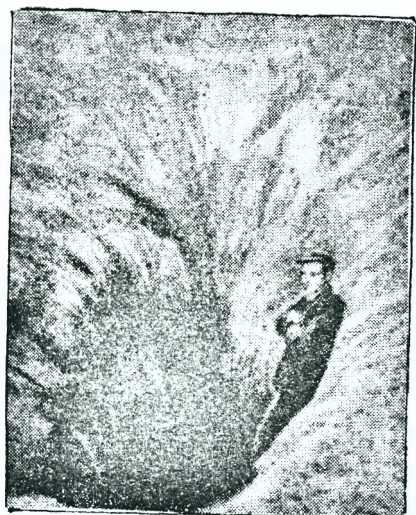


Рис. 89 *Общий вид карстовой воронки.*

Наиболее сильно подвержены растворению каменная и калийная соли (1:3), гипсы и ангидриты (1:500), а наиболее слабо – известняки (1:5000), доломиты и магнезиты (1:30000). Числа означают сколько частей воды необходимо для растворения 1 части породы.

Степень растворимости, как известно, определяется содержанием в воде CO_2 , температурой воды, крупностью частиц, составляющих породу, и энергией кристаллических решеток.

Очень важным условием развития карста является степень водопроницаемости пород, и при этом, чем выше водопроницаемость, тем интенсивнее процесс растворения. Наличие трещин и пор шириной не менее 1 мм обеспечивает свободную циркуляцию воды и постоянный переход трещин в каналы и пещеры. Этот процесс называется суффозионной коррозией.

У коррозионного процесса, аналогично с эрозионным, имеется нижний предел развития (базис), которым является уровень ближайшего водотока (река, озеро, море) или поверхность водоупорных пород.

Ниже уровня подземных вод, если они достаточно минерализованы и имеют малый градиент, карстообразование обычно не происходит. В этой зоне обычно происходит цементация трещин за счет отложения из водного

раствора кальцита и других веществ. Поэтому в карстующемся массиве следует различать зону карстообразования и зону цементации (рис. 90).

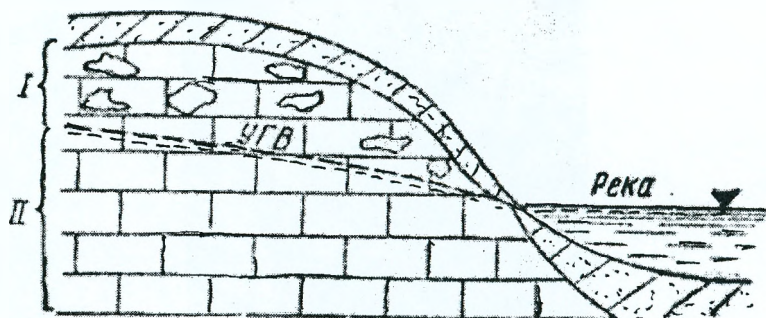


Рис. 90 Зоны карстующегося массива: I - зона развития карста; II - зона цементации; УГВ - уровень грунтовой воды.

Как отмечено выше, развитие карста во многом зависит от рельефа, растительности и климата.

При рельефе, который не обеспечивает поверхностного стока, развитие карста интенсифицируется, особенно поверхностных карстовых форм.

Влияние растительности на развитие карста двоякое. С одной стороны обогащение воды свободной H_2CO_3 усиливает ее растворяющую способность, а с другой – глинистый элювий, образующийся на покрытых растительностью поверхностях, уменьшает инфильтрацию и размывающую силу поверхностных вод. Но уничтожение леса и дернового покрова всегда способствует развитию поверхностных карстовых форм.

Следует иметь в виду, что процессы выщелачивания могут образовывать различные по своему положению карстовые формы (пустоты).

По отношению к земной поверхности различают два типа: открытый и скрытый карст.

При открытом карсте карстующиеся породы лежат на поверхности, а при скрытом – лежат на некоторой глубине, то есть перекрыты слоями нерастворимых водопроницаемых пород.

Из многочисленных карстовых форм наиболее распространенными являются карры, воронки, каверны и пещеры.

Карры – мелкие желоба, борозды и канавы на поверхности карстующихся пород, глубиной от 0,1 до 2,0 м.

Воронки – углубления различных форм и размеров. Диаметр и глубина их может колебаться от 1 до 50 м. При этом по происхождению воронки могут быть поверхностные и провальные. На дне воронок обычно располагаются трещины, по которым вода поступает в глубину массива пород. Иногда вытянутая серия воронок может трансформироваться в овраг.

Каверны образуются в результате растворения пород по многочисленным трещинам, что обуславливает формирование сотоподобной поверхности.

Пещеры – подземные пустоты, формирование которых связано с растворением пород и сопровождается эрозией и обрушением. Нередко происходит образование пещер, располагающихся в несколько этажей. Пещеры разнообразны по размерам и форме. Наиболее крупной является Мамонтова пещера (Северная Америка), общая длина которой 240 км, высота одного из залов 40 м при размерах в плане 170х90 м.

Строительство в карстовых районах связано со значительными трудностями, так как карстующиеся породы – очень ненадежные основания. Пустотность массивов пород может вызвать большие деформации зданий и сооружений или даже полное их разрушение.

При проектировании зданий и сооружений в карстовых районах необходимо проведение детальных и комплексных инженерно-геологических исследований. При этом объектами изучения должны быть – климат, растительность, геолого-геоморфологические и гидролого-гидрогеологические условия местности, а также оценка состояния инженерных сооружений объектов.

Результатом исследований являются карты закарстованности горных пород, на которых выделяются опасные участки, где капитальное строительство практически невозможно, а также районы распространения поверхностных и глубинных форм карста. Большое значение имеет и определение степени активности карстового процесса. В связи с этим различают – действующий карст, который развивается в современных условиях, и пас-

сивный карст, развитие которого уже завершилось и в котором отсутствует циркуляция воды.

Для оценки степени закарстованности территории и скорости развития карста в основном используются геофизические методы (электроразведка) и длительное инструментально-реперное наблюдение. По степени устойчивости карстовые районы делятся на пять категорий: весьма устойчивые; неустойчивые; средней устойчивости; устойчивые; весьма устойчивые.

При строительстве в карстовых районах необходимо осуществлять ряд мер, направленных на прекращение развития карстовых форм, повышения устойчивости и прочности пород:

а) предохранение растворимых пород от воздействия поверхностных и подземных вод с помощью планировки поверхности, устройства систем ливнеотводов, гидроизоляции и сооружения дренажно-осушительных систем;

б) упрочнение карстующихся пород с помощью цементации, битумизации, силикатизации или глинизации;

в) строительство зданий и сооружений малочувствительных к неравномерным осадкам.

Зоны проявления суффозионных и карстовых процессов в республике Беларусь хорошо просматриваются по карте литолого-генетических типов верхнепокровных отложений (см. раздел "Основы грунтоведения").

6.5 ПЛЫВУНЫ

Плывунами в строительной практике называют водонасыщенные рыхлые породы, которые при вскрытии различными выработками разжижаются, приходят в движение и ведут себя подобно тяжелой вязкой жидкости.

Плывунными свойствами, кроме песков, при определенных условиях обладают и другие породы, обладающие значительной пористостью – пылеватые суглинки, супеси, гравийно-песчаные отложения.

Основной причиной плывунных свойств является гидродинамическое давление поровой воды, которое создается в результате перепада

(градиента) давления грунтовых вод при вскрытии котлована, траншей и т.д.

Низкая водопроницаемость плавучих пород вызывает фильтрационное давление на частицы породы, обуславливая их движение по направлению градиента. В таком состоянии породы утрачивают всякие структурные связи и переходят во взвешенное состояние.

Отсюда интенсивность плавучих явлений будет определяться величиной градиента, гранулометрическим и минералогическим составом, формой основной массы частиц, плотностью пород.

Все плавучие разделяются на истинные и ложные (псевдоплавучие).

Истинные плавучие – породы с коагуляционными или смешанными связями (глинистые пески, супеси и суглинки). Переход этих пород в плавучее состояние определяется невысоким гидродинамическим давлением и присутствием гидрофильных (притягивающих к себе влагу) коллоидных и глинистых частиц. Вокруг этих частиц формируются пленки связанной воды, что и ослабляет структурное сцепление и уменьшает водопроницаемость пород до 0,005-0,0001 см/с. Плотность истинных плавучих в безводном состоянии обычно в пределах 1,8-2,2 г/см³. Их разжижение происходит при влажности меньшей полной влагоемкости.

Характерным является и то, что при высыхании истинные плавучие, вследствие склеивающего действия коллоидных частиц, могут образовывать сильно сцементированные массы, обычно необратимые. Особенностью истинных плавучих является и слабая отдача воды, за счет ее физической связанности.

Ложные плавучие – это породы, не имеющие структурных связей (пески и гравелистые материалы), переход которых в плавучее состояние обусловлен действием высокого гидродинамического давления потока подземных вод. В таких условиях коэффициент фильтрации может достигать 2 м/сут и более, что обуславливает полное взвешенное состояние и нулевое трение частиц.

Плотность ложных плавучих в безводном состоянии обычно не превышает 1,5-1,75 г/см³. Характерной их особенностью является довольно

легкая отдача ими воды. При высыхании они образуют рыхлую или слабо-цементированную массу.

При определенных условиях взвешивающее действие воды может формировать массивы зыбучих песков (зыбунов), поверхность которых не выдерживает даже самой малой нагрузки (ветка, камушек, птица, человек).

В строительной практике важно уметь определять способность породы переходить в плавунное состояние и вид плавуна. Для этого используется визуальный и лабораторный анализы.

В полевых условиях способность к плавунности устанавливают по образованию водопесчаных пробок при бурении скважин. В лабораториях о плавунности судят по величине водоотдачи, пористости ($n \leq 43\%$), по содержанию мелких частиц ($P \geq 2-4\%$), коэффициенту неоднородности, гидрофильности коллоидных и глинистых частиц.

Наиболее сложно определяется вид плавуна. Для этого необходимо изучение большого комплекса инженерно-геологических и гидрогеологических условий. В практике обычно используют некоторые внешние признаки. Истинный плавун в котлованах дает скопление воды в виде цементного молока. Помешенный в сосуд с водой истинный плавун дает устойчивую суспензию.

Плывуны осложняют строительство, создавая большие трудности в проходке строительных выработок.

При условии замкнутого пространства плавунуны могут быть надежными основаниями. Однако создание замкнутого контура технически трудно, и особенно, против выпирания плавунунов из-под фундаментов.

Иногда в практике используют подрезку склонов и открытый водоотлив не подозревая, что этим самым интенсифицируется плавун. Плавун также чувствителен к вибрации и динамическим нагрузкам (работа сваебойных установок, вибраторов, движение строительной техники и т.п.).

На рис. 91 показан пример формирования плавуна при откачке воды из котлована.

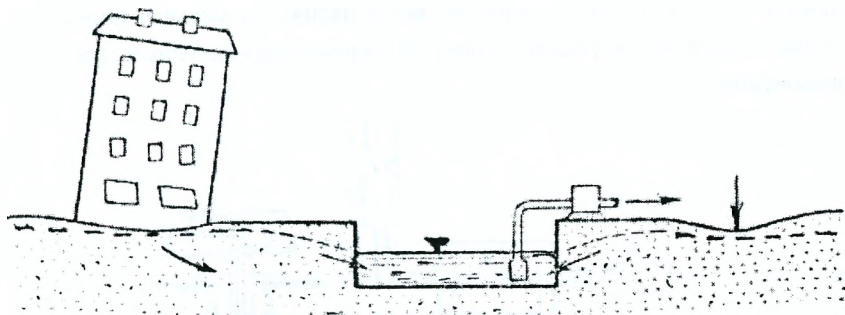


Рис. 91 *Схема формирования сложного плывуна, приводящего к опусканию поверхности и деформации здания.*

Борьба с плывунами сложна и не всегда принятые меры дают должный эффект.

Все способы борьбы с плывунами делятся на три группы:

а) искусственное осушение плывунных пород в период строительства (открытый водоотлив, установка иглофильтров и т.д.);

б) крепление плывунов путем ограждения (устройство шпунтовых стенок);

в) закрепление плывунов путем изменения их физических свойств (замораживание, силикатизация, цементация, глинизация, электрохимическое закрепление).

Для ложных плывунов применимы все способы борьбы, а для истинных – только ограждение, замораживание и электрохимическое закрепление.

Возможность осушения плывунов зависит от их коэффициента фильтрации. При коэффициенте фильтрации – $K_f < 0,2$ м/сут применяют иглофильтры в сочетании с электродренажем, $K_f = 0,2-1,0$ м/сут – иглофильтры, и при $K_f > 1$ м/сут – откачку воды из скважин.

Строительный котлован от плывуна можно защитить и шпунтовой стенкой (крепью), которая перерезает слой плывунной породы и воспринимает давление плывунного потока. Обычно используют деревянный шпунт глубиной до 6-8 м и металлический – глубиной до 20 м. Ограничением

применения шпунтовых стенок является наличие в массиве пород уплотненных грунтов (мергелей, опок) и галечниково-валунных прослоек и включений.

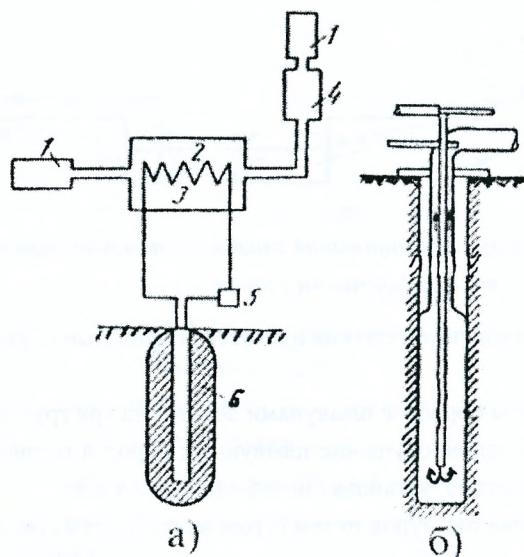


Рис. 92 Схема установки для искусственного замораживания: а - морозильная камера; б - схема установки; 1 - баллон с аммиаком; 2 - холодильная камера; 3 - змеевик; 4 - компрессор; 5 - насос; б - замораживающий слой грунта.

Замораживание пьвунов является временным мероприятием и может применяться в любое время. Но при этом в зимнее время проходку котлована осуществляют поэтапно (на глубину 20-30 см, то есть по мере промерзания), а в летнее время — с помощью искусственного замораживания грунтов вокруг котлованов, путем циркуляции в скважинах раствора CaCl_2 , охлажденного до - (20-40°C) (рис. 92).

Силикатизация и другие виды закрепления пьвунов весьма эффективные, но дорогостоящие мероприятия. Осуществляется путем нагнетания в пьвунный массив закрепляющих агентов — жидкое стекло, цементный раствор, глинистую суспензию и др.

6.6 ПРОСАДОЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Для лессовых пород изменение влажности по сезонам года сильно влияет на основные строительные свойства – сжимаемость, просадочность и сопротивление сдвигу.

При этом по характеру влияния на них увлажнения различают: набухающие, просадочные и непросадочные грунты.

Просадочность – это явление, связанное с воздействием воды на структуру грунта с последующим ее разрушением и уплотнением под действием веса самого грунта или суммарном давлении собственного веса грунта и веса сооружения.

Набухаемость – это явление, обратное просадочности, при котором наблюдается существенное увеличение грунта при его замачивании, обусловленное увеличением пленок связанной воды и их расклинивающим действием.

Лессовые породы очень широко распространены как на территории СНГ (15% общей площади), так и территории Беларуси (Могилевская, Витебская и Минская области). Подстилаются лессовые толщи разнообразными по возрасту и литологии отложениями. Мощность лессовых отложений колеблется от нескольких метров до 100 м и более. Максимальная мощность, характерна для водоразделов и понижений рельефа.

Карта распространения лессовидных отложений представлена на рис. 93.

Лессовые породы, как правило, представлены суглинками, реже – супесями и глинами. Следует различать типичный лесс (первичное образование) и лессовидные суглинки (переотложенные первичные образования). Так как гранулометрический состав их очень сходный, то в строительной практике пользуются единым термином – “лессовые грунты”. Окраска их может быть от палевой до желто-бурой, но для всех них характерны следующие особенности: способны сохранять вертикальные откосы в сухом состоянии; быстро размокают в воде; высокая (до 50% и более) пылеватость; невысокая природная (до 15-17%) влажность; пористая (до 40%) структура.

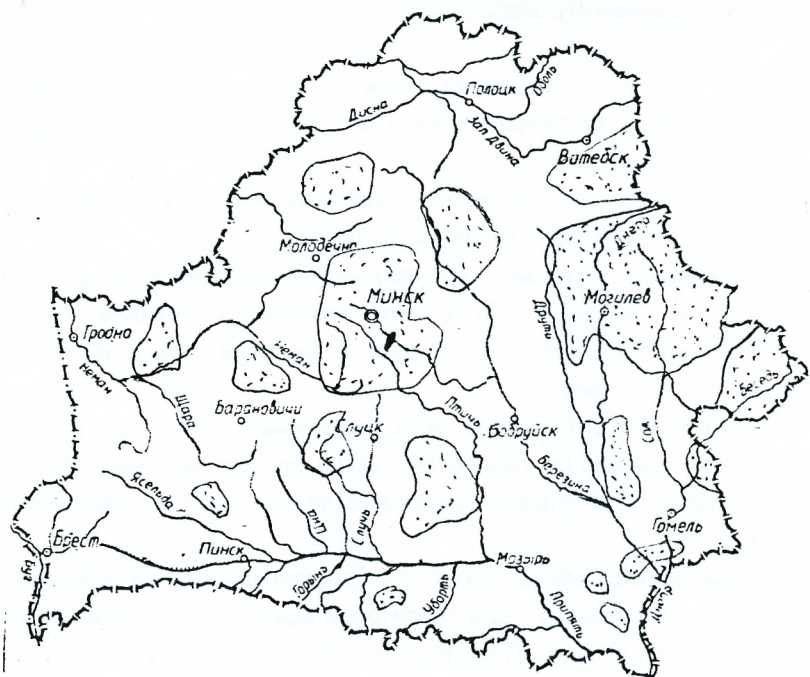


Рис. 93 Схематическая карта распространения лессовидных отложений на территории Беларуси.

В лессовых толщах обычно природная влажность распределяется довольно закономерно. У поверхности характерно формирование зоны сезонных колебаний, в средней части – зоны относительно постоянной влажности, а у подошвы – зоны высокой или низкой влажности, в зависимости от характера подстилающих пород.

Просадка обычно сопровождается уплотнением грунта по вертикали и частичными боковыми смещениями. Поверхность земли в месте замачивания водой лессовой толщи опускается, при этом форма опускания зависит от источника замачивания. При точечных источниках (прорыв водопроводной или канализационной сети) образуются блюдцеобразные понижения. Инфильтрация воды через траншеи и каналы способствует продольному

оседанию поверхности. Площадные источники замачивания приводят к понижению поверхности земли на значительных территориях.

Вследствие опускания поверхности земли здания и сооружения претерпевают деформации, характер и размер которых определяется величинами просадок (рис. 94). Величина просадки может быть от 3 до 100 см и более.

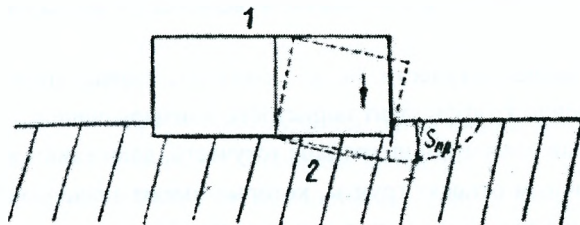


Рис. 94 Схема деформации здания на лессовых грунтах в результате просадки: 1 - здание; 2 - лессовые грунты; $S_{пр}$ - величина просадки.

Просадочные свойства проявляются чаще всего в верхней части лессовой толщи. В зависимости от величины просадочности лессовые грунты делятся на два типа: I тип – просадка от собственного веса грунта отсутствует или не превышает 5 см; II тип – просадка от собственного веса грунта превышает 5 см.

Просадочные свойства I типа грунтов с глубиной снижаются и на какой-то глубине они утрачивают способность к просадке. В грунтах II типа просадочность сохраняется на всей толще.

Важное значение в развитии просадочного процесса имеет структурная прочность лессовых грунтов. При слабых и легко водорастворимых структурных связях просадка развивается быстро (через 3-10 часов от начала замачивания). Это очень характерно для грунтов II типа, так как для них начальное просадочное давление составляет 80-120 кПа.

Так как структурные связи для грунтов I типа более прочны (начальное просадочное давление превышает 150-200 кПа), то просадка у них развивается длительно (3-20 дней).

Количественный анализ просадочных свойств требует определения критериев просадочности – степень влажности (S_r) и показатель просадочности (J_{ss}), которые определяются по следующим зависимостям:

$$S_r = \frac{0.01 \cdot W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w}; J_{ss} = \frac{e_L - e}{1 + e}, \quad (5)$$

где $e_L = \frac{0.01 \cdot W_L \cdot \rho_s}{\rho_w}$; W и W_L – соответственно естественная влажность и

влажность на границе текучести, %; ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³; e и e_L – соответственно коэффициент пористости в ненарушенном состоянии и соответствующий влажности на границе текучести, доли единицы.

К просадочным относят грунты, которые имеют значение $S \leq 0.8$, а величину J_{ss} больше значений, приведенных в табл. 29.

Значение предельных величин J_{ss}

Таблица 29

Число пластичности J_p	$0,01 < J_p \leq 0,1$	$0,1 < J_p < 0,14$	$0,14 \leq J_p \leq 0,22$
Показатель J_{ss}	-0,1	-0,17	-0,24

В качестве количественной характеристики просадочности принимают величину относительной просадочности грунта (δ_{np}), определяемую по результатам компрессионных испытаний

$$\delta_{np} = \frac{h_2 - h_1}{h_0}, \quad (6)$$

где h_0 – высота образца при давлении, равном природному, см; h_2 и h_1 – соответственно высота образца при принятом давлении и в замоченном состоянии, но при том же давлении, см.

При значениях $\delta_{np} > 0,01$ грунт считают просадочным.

По величине δ_{np} отдельных слоев определяют общую величину просадки и

$$S_{np} = \sum_{i=1}^n \delta'_{np,i} \cdot h^i \cdot m, \quad (7)$$

где h_i – толщина отдельных слоев просадочной толщи, см; m – коэффициент условий работы основания; n – число просадочных слоев.

В полевых условиях общую величину просадки (S_{np}) определяют штамповым методом.

Однако, при определении величин просадочной деформации грунта необходимо иметь ввиду, что просадка проявляется уже как дополнительное к осадке уплотнение. Осадка сооружений, обуславливается уплотнением грунта под весом сооружений и она в значительной мере зависит от влажности грунта. Чем больше влажность, тем сильнее он сжимается и тем больше осадка.

Таким образом, деформация грунта складывается из осадки и просадки, и для конкретных условий эта величина обычно постоянная.

При замачивании ряда глинистых грунтов, в основном маловлажных, происходит существенное увеличение их объема, то есть набухание.

Способность грунтов к набуханию оценивается в результате доувлажнения грунта в компрессионных приборах по величине относительного набухания, определяемой как

$$\epsilon_{sw} = \frac{(h_{наб} - h)}{h}, \quad (8)$$

где $h_{наб}$ – высота образца после его замачивания, см; h – высота образца до замачивания при действующей на него нагрузке, см.

К набухающим обычно относят глинистые грунты, которые в условиях свободного набухания (без нагрузки) имеют $\epsilon_{sw}=0,04$. Относительное набухание возрастает с увеличением плотности частиц грунта и уменьшением влажности грунта до замачивания. С повышением сжимающей нагрузки деформации набухания уменьшаются.

Величина набухания составляет 1-7%, а давление набухания – 100-180 кПа. Большие значения характерны для плотных глинистых разностей, содержащих в своем составе фракции $\varnothing < 0,002$ мм гидрофильных минералов типа монтмориллонита.

В состоянии природной влажности и ненарушенной структуры лессовые грунты являются достаточно устойчивым основанием. Однако потенциальная возможность проявления просадки требует осуществления комплекса мероприятий, не допускающего деформаций зданий и сооружений.

Выбор мероприятий производят на основе технико-экономического анализа следующих параметров: тип грунтовых условий; мощность просадочных грунтов; величина просадки; конструктивные особенности зданий и сооружений.

Все методы подразделяют на три группы: 1) водозащитные; 2) конструктивные; 3) устраняющие просадочные свойства грунтов.

Конструктивные мероприятия рассчитаны на приспособления объектов к возможным неравномерным осадкам, с помощью повышения жесткости стен и прочности стыков, армирование зданий поясами или применения свайных и уширенных фундаментов.

Водозащитные мероприятия предусматривают планировку строительных площадок для отвода поверхностных вод, гидроизоляцию поверхности земли, устройство водопроницаемых полов, покрытий и отмосток, защиту зданий от утечек воды из инженерных коммуникаций и т. д.

Однако наиболее часто применяют методы, связанные с преобразованием лессовых просадочных оснований. При этом лессовые грунты улучшают применением механических методов или физико-химических способов.

Механическими методами преобразуют грунты либо с поверхности (поверхностное уплотнение трамбовкой, послойная укатка, вибрация, замачивание грунта под собственным весом или весом сооружения), либо в глубине толщи (устройство песчаных свай, замачивание через скважины, устройство песчаных или грунтовых подушек и грунтово-цементных опор).

На рис. 95 даны схемы мероприятий по борьбе с просадками лессовых грунтов.

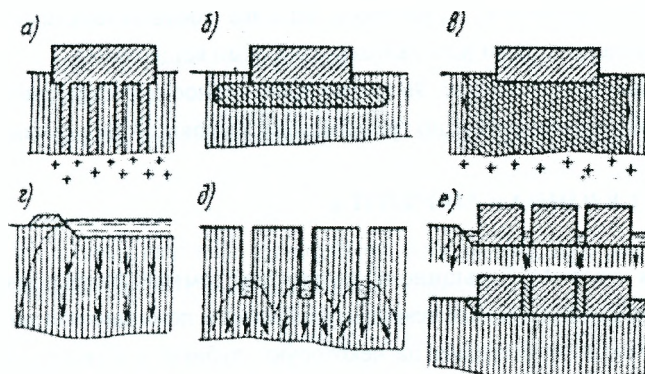


Рис. 95 Схемы мероприятий по борьбе с просадками лессовых грунтов: а - сваи; б - подушка из уплотненного лесса; в - уплотнение или закрепление лессовых грунтов основания; г - предварительное замачивание основания; д - глубинное замачивание через скважины и траншеи; е - устройство временных осадочных швов с последующим замачиванием основания.

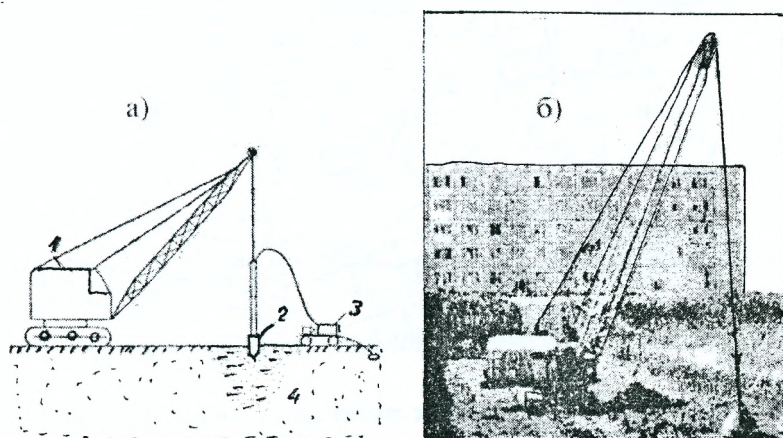


Рис. 96 Схема глубинного (а) и поверхностного уплотнения (б) грунтов: 1 - кран; 2 - гидровибратор; 3 - насосная установка; 4 - уплотняемый слой грунта.

К физико-химическим свойствам относят – обжиг грунтов через скважины, силикатизацию, цементацию, глинизацию, битумизацию, то есть пропитку и обработку грунтового массива соответствующими органическими, минеральными или синтезированными веществами.

Приведенные на рис. 96 схемы дают полное представление об особенностях технологии работ по трамбованию лессовых просадочных грунтов.

6.7 СЕЗОННАЯ МЕРЗЛОТА

Как известно, большинство территорий земного шара подвержено воздействию отрицательных температур. Почвы и лежащие под ними грунты в зимнее время промерзают на некоторую глубину, а в теплое время оттаивают. Это явление и называют сезонным промерзанием.

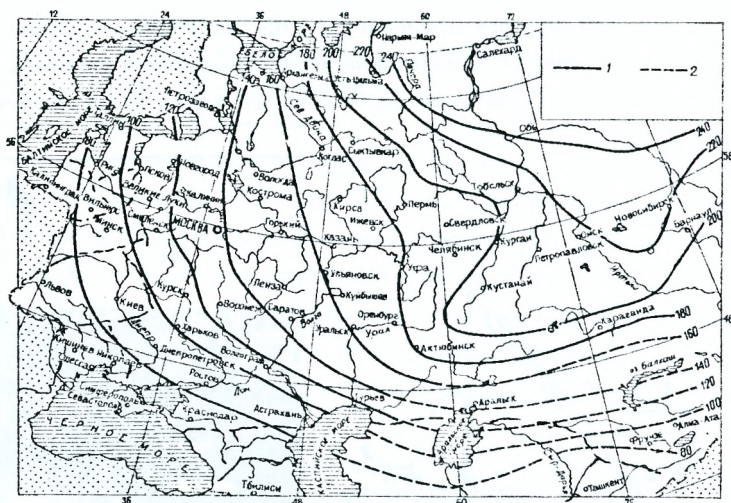


Рис. 97 Схема нормативных глубин сезонного промерзания пород: 1 - изолинии нормативных глубин промерзания суглинистых грунтов; 2 - то же, для малоисследованных территорий; цифры у изолиний – глубина промерзания, см.

Глубина промерзания самая различная – от 10 см до 3-4 м и более. При этом в одном и том же регионе она может сильно изменяться в зависимости от климатических условий года, состава и состояния пород, характера снежного покрова, состояния растительного покрова, ориентации и наклона местности и т.д.

Однако при всех прочих условиях наибольшее промерзание характерно для рыхлых пород (пески, песчано-гравийные и галечниковые отложения), а наименьшее – для глинистых пород.

Для определения глубины промерзания используют либо карты сезонного промерзания (рис. 97), либо расчетную формулу

$$h_p = d_0 \cdot \sqrt{m_z}, \quad (9)$$

где d_0 – глубина промерзания при $\sum T_i = 1^\circ\text{C}$, принимая в пределах от 0,28 до 0,34 м; m_z – безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за зиму в данном районе.

Сезонно промерзающие грунты относятся к неустойчивым основаниям, так как при промерзании они подвергаются морозному пучению, а при оттаивании – поверхность земли может несколько понижаться.

Морозное пучение происходит за счет влаги, которая находится в порах грунта, или воды, которая подсасывается из более глубоких слоев. Увеличение объема воды и обуславливает физическое увеличение объема грунтового массива.

Эти вертикальные и особенно неравномерные колебания опасны для зданий и сооружений, так как обуславливают их существенную деформацию.

Наиболее сильно морозное пучение проявляется в пылеватых суглинках и супесях.

Влияние морозного пучения на устойчивость и прочность зданий обычно устраняют заложением подошвы фундаментов на глубину, превышающую зимнее промерзание грунтов. Ниже глубины промерзания необходимо размещать и все водоводы, во избежание их от замерзания.

Влияние морозного пучения можно устранить и конструктивными способами: устройство свайных фундаментов; замена пучинистого грунта на непучинистый (песчано-гравийная смесь; шлак); дренирование участка и др.

6.8 ВОДНАЯ ЭРОЗИЯ ПОЧВ И ГРУНТОВ

Изучая геологическую деятельность атмосферных осадков, мы ознакомились с проявлениями и методами защиты от водной эрозии. Однако водная эрозия почв и грунтов на стройплощадках и отдельных участках имеет свои специфические особенности.

Условиями, благоприятствующими проявлению водной эрозии и образованию элементов овражной сети, являются: ливневый характер выпадения атмосферных осадков; бурное весеннее снеготаяние; наличие легкоразмываемых грунтов, залегающих у поверхности; низкий базис эрозии; значительный уклон местности; незащищенность поверхности.

На такой территории весьма затруднительно выбрать участок для строительства, поскольку овражная сеть, разрастаясь может пересекать дороги, улицы и нарушать устойчивость уже построенных сооружений.

Уничтожение древесно-травянистой растительности, устройство незакрепленных продольных водоотводных канав, кюветов и выемок, а также зимние морозы и летняя жара, приводящие к образованию трещин в грунтах, также способствуют развитию водной эрозии.

Рекомендуемые меры борьбы делятся на две категории. К первой относятся профилактические мероприятия (биологическая защита, укрепление кюветов и водоотводных канав), а ко второй – активные (строительство несложных инженерных сооружений, уменьшающих размывающую силу воды). Наибольшее распространение имеют железобетонные лотки (быстротоки) и водозадерживающие земляные валы.

Строителю нужно помнить, что наиболее эффективным в борьбе с эрозией является укрепление и озеленение территории, прилегающей к объекту.

6.9 ПОДТОПЛЕНИЕ ТЕРРИТОРИЙ

Для любой строительной площадки и региона в целом, характерны определенные гидрогеологические условия, которые определяют условия залегания и действия подземных вод на грунтовый массив. Отсюда соответственно всегда необходимо проведение гидрогеологических изысканий, устанавливающих возможное влияние подземных вод на здания и сооружения, как в период строительства, так и эксплуатации.

Согласно СНиП 2.02.01-83 прогнозирование изменения гидрогеологического режима должно исходить из наличия или возможности образования верховодки, естественных сезонных и многолетних колебаний уровня подземных вод и возможного антропогенного изменения их уровня.

Все застраиваемые территории делятся на неподтопляемые и естественно- и техногенноподтопляемые.

Подтопление территории – специфический гидрофизический процесс, происходящий в приповерхностной зоне при сложном взаимодействии техногенных и природных факторов, который приводит к ухудшению гидрогеологических и инженерно-геологических условий использования территории.

В целом подтопление характеризуется следующими признаками: подъем уровня подземных вод; переувлажнение почвенного покрова; обводнение оснований зданий и сооружений; коррозия подземных конструкций; ухудшение строительных свойств грунтов; затопление подземных сооружений.

Интенсивность процесса подтопления зависит от гидрогеологических условий, фильтрационных свойств водовмещающих пород, мощности грунтовых массивов и интенсивности притока воды.

Подтопляемые территории разделяются на потенциально подтопляемые и потенциально неподтопляемые.

При строительстве основными факторами подтопления являются: изменение условий поверхностного стока воды при вертикальной планировке (засыпке естественного дренажа); большой разрыв между земляными и

строительными работами; инфильтрация утечек производственных вод; уменьшение атмосферного испарения под зданиями и покрытиями и т.д.

Следует также помнить, что повышение уровня подземных вод и влажности грунтов возможно на площадках, застроенных предприятиями как с “мокрым”, так и с “сухим” технологическим процессом. Поэтому все объекты делятся по удельному расходу воды (типу технологических процессов) на пять групп А, Б, В, Г и Д. Однако потенциальная возможность подтопления во многом зависит от природных условий. Для практических целей выделены пять типовых схем природных условий и соответственно пять типов подтопляемости. Тип подтопляемости определяет скорость подъема подземных вод в расчетные периоды – до 10; 10-15; 15-20 и более 20 лет.

Расчетной характеристикой является критерий потенциальной подтопляемости

$$P = \frac{h_c - \Delta h}{H_c}, \quad (10)$$

где h_c – уровень подземных вод до начала подтопления, м; Δh – величина прогнозируемого подъема подземных вод, м; H_c – критический подтопляющий уровень подземных вод, м.

Величина прогнозируемого подъема подземных вод зависит от причин, вызывающих этот подъем.

При антропогенном местном подъеме эта величина определяется по зависимости

$$\Delta h = V \cdot t, \quad (11)$$

а при подъеме за счет влияния внешних источников

$$\Delta h = h_0 \cdot \operatorname{erfcf} \sqrt{\frac{x}{2 \cdot a \cdot t}}, \quad (12)$$

где V – годовая скорость подъема подземных вод, изменяющаяся в пределах от 0.01 до 1.5 м/год; t – расчетный период, лет; h_0 – подъем уровня воды в водоисточнике, м; erfcf – интеграл вероятности; x – расстояние от водоисточника до объекта, м; a – уровеньпроводность фильтрующего массива, м²/сут.

Все методы борьбы с подтоплением должны быть направлены на недопущение повышения уровня подземных вод и избыточного обводнения. Этого можно достичь:

- 1) устройством дамб обваловывания вокруг открытых водоисточников;
- 2) устройством нагорно-ловчих каналов;
- 3) организацией вертикальной планировки с водосточной сетью;
- 4) искусственным дренированием территории;
- 5) созданием противофильтрационных экранов;
- 6) устранением и недопущением утечек воды из водопроводно-канализационных систем.

6.10 МЕХАНИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Любая горная порода состоит из минеральных частиц и пустот (пор), полностью или частично заполненных водой. Однако если в скальных породах содержание поровой воды очень мало и практически не имеет значения, то в полускальных – поровая вода формирует размягченность и тем самым снижает прочность. В нескальных породах степень заполнения пор водой определяет все их инженерно-геологические условия и строительные свойства. При этом вода может находиться как в состоянии покоя, так и в состоянии движения. Находясь в состоянии покоя, поровая вода обуславливает возникновение гидростатического давления, приводящего к взвешиванию частиц (по закону Архимеда). При этом взвешивающее действие воды в несвязных грунтах следует учитывать при степени влажности более 0,5, а в связных (глинистых) – при показателе консистенции более 0,25.

Плотность породы во взвешенном состоянии определяется зависимостью

$$\rho_{sb} = \frac{\rho_s - \rho_w}{1 + e}, \quad (13)$$

где ρ_s и ρ_w – соответственно плотность частиц грунта и воды, г/см³; e – коэффициент пористости, доли единицы.

Явление взвешивания частиц породы водой необходимо учитывать при определении величины природного давления в самой породе. При определении давления породы на ограждения необходимо отдельно учитывать давление воды и давление породы, взвешенной водой. При наличии напорных вод и устройстве выработок в верхнем водоупорном слое также необходимо принимать во внимание гидростатическое давление, действующее снизу вверх. При этом возможно как пучение дна котлована, так и прорыв в котлован напорных вод.

Расчетным условием для исключения этих возможностей являются следующие зависимости

$$h_1 = \frac{\rho_w \cdot (\eta \cdot H - h_a)}{\rho}, \quad h_2 = \frac{\eta \cdot \rho_w \cdot H}{\rho}, \quad (14)$$

где ρ и ρ_w – соответственно плотность пород и плотность воды, г/см³; H – пьезометрический уровень напорных вод, м; h_a – глубина поверхностного потока, м; η – коэффициент устойчивости и $\eta=1,1-1,3$.

Расчетная схема действия напорных вод на котлован дана рисунке 98.

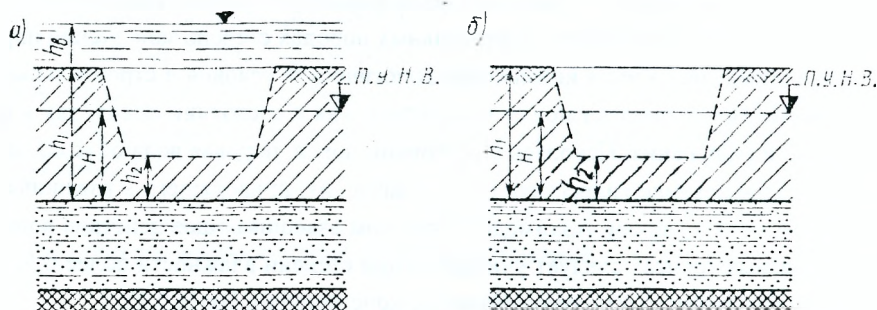


Рис. 98 Давление напорных вод на дно котлована: а - в случае наличия поверхностных вод; б - при отсутствии поверхностных вод; П.У.Н.В. - пьезометрический уровень напорных вод.

Когда подземная вода находится в движении, кроме действия гидростатического давления возникает действие гидродинамического давления

воды на частицы грунта. Пренебрегая в расчетах скоростью фильтрации, величину гидродинамического давления можно определить по напорному градиенту и

$$P_{\text{гд}} = \gamma_w \cdot J, \quad (15)$$

где γ - удельный вес воды, кН/м³; J - величина напорного градиента.

Направление действия гидродинамического давления имеет очень большое значение для устойчивости грунтов. При действии давления снизу вверх -- грунт разрыхляется, а сверху вниз -- уплотняется. Так, например, открытый водоотлив, производимый из котлована разрыхляет дно котлована, а водопонижение при помощи иглофильтров, расположенных по периметру котлована, уплотняет грунт вокруг котлована и под ним.

В практике большое значение имеет знание критического градиента, который обуславливает состояние невесомости грунта и

$$J_{\text{к.р}} = \frac{\gamma_{\text{гс}}}{\gamma_w} \approx 0.8 \div 1.0, \quad (16)$$

где $\gamma_{\text{гс}}$ γ_w - соответственно удельный вес грунта во взвешенном состоянии и удельный вес воды.

6.11 ТИКСОТРОПНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Явление тиксотропии наблюдается в коллоидных системах и заключается в том, что под влиянием внешних воздействий (вибрация, динамические нагрузки, взрывы, действие ультразвука и т.д.) коллоидная система теряет свою структуру и разрушается, а после удаления внешнего воздействия снова восстанавливает свои первоначальные свойства.

Основными факторами определяющими степень проявления тиксотропии являются: температура; концентрация электролита; состав дисперсной фазы; размер дисперсных частиц; способность частиц к набуханию; толщина гидратных оболочек вокруг частиц.

Расчетными показателями тиксотропных свойств являются -- предел тиксотропии и время затвердения.

Время затвердения – это время, необходимое для обратного перехода системы из жидкого в твердое (гелеобразное) состояние, и оно может изменяться от нуля до нескольких суток.

Тиксотропными свойствами обладают породы, содержащие в своем составе коллоидно малые частицы. Чем больше этих частиц, тем более тиксотропна эта порода.

Поэтому, тиксотропными свойствами обладают породы, содержащие минералы группы монтмориллонита. Если в породе преобладают минералы группы каолинитов, то для них проявление тиксотропии малохарактерно.

Тиксотропные явления обуславливают чаще всего формирование тиксотропных (истинных) плывунов.

6.12 ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ И СДВИЖЕНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Горные породы в земной коре находятся в естественно напряженном состоянии, вызванном гравитационными силами (силами собственной тяжести).

Горные выработки (тоннели, штолки, штольни и др.) вызывают в массиве пород перераспределение напряжений, при этом в одних зонах возникают повышенные сжимающие силы, а в других – растягивающие. В целом горное давление зависит от коэффициента крепости пород. Значение этого коэффициента приведено в табл. 30.

Горное давление деформирует массив горных пород. Важнейшей деформацией является сдвигание горных пород и земной поверхности, которое может проявиться в вертикальном или горизонтальном прогибе, ступенчатом провале или образовании мульды сдвигания (плавный прогиб).

При концентрации сил (напряжений) возникает горное давление до 1000 кПа и более. Горное давление обуславливает возникновение целого ряда инженерно-геологических явлений вокруг подземных выработок и на поверхности земли – пучение, выбросы пород, обрушение и сдвигание массива пород и т.д.

Наиболее сильно на инженерные объекты влияют сдвигения массивов горных пород.

Под сдвижением понимают деформацию пород, залегающих непосредственно под горными выработками или выработанными пространствами. Участок земной поверхности, подвергающийся движению, называется мутьдой сдвижения.

Развитие процессов сдвижения зависит от свойств породы (прочности и способности к пластическим деформациям), геологического строения (чередования пластов) и трещиноватости пород.

Например, в прочных, но не пластичных породах (песчаники, известняки, конгломераты) сдвижение происходит только при значительной выработке пространства по площади, но зато оно быстро развивается в форме обрушения с образованием трещин и провалов на земной поверхности.

Характеристика степени крепости пород

Таблица 30

Категория	Степень крепости пород	Характеристика пород	Коэффициент крепости по М.М. Протодяконову
1	2	3	4
I	В высшей степени крепкие	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты, базальты и другие породы	20
II	Очень крепкие	Кварцевые порфиры, очень крепкие граниты, кремнистые сланцы, менее крепкие, чем указанные выше, кварциты, самые крепкие песчаники и известняки	15
III	Крепкие	Граниты и гранитовые породы, очень крепкие песчаники и известняки, кварцевые рудные жилы, крепкие конгломераты, очень крепкие железные руды	10
IIIa	Крепкие	Известняки крепкие, некрепкие граниты, крепкие песчаники, мраморы, доломиты, колчеданы	8
IV	Довольно крепкие	Обыкновенные песчаники, железные руды	6

1	2	3	4
IVa	Довольно крепкие	Песчанистые сланцы, сланцеватые песчаники	5
V	Средние	Крепкие глинистые сланцы, некрепкие песчаники и известняки, мягкие конгломераты	4
Va	Средние	Разнообр. некрепкие сланцы, плотные мергели	3
VI	Довольно крепкие	Мягкие сланцы, очень мягкие известняки, мел, каменная соль, гипс, мерзлые грунты, антрациты, обыкновенные мергели, разрушенные песчаники, сцементированные галька и хрящ - каменные грунты	2
VII	Мягкие	Плотные глины, мягкие каменные угли, крепкие наносы - глинистые грунты	1,0
VIIa	Мягкие	Легкие песчанистые глины, лессы, гравий	0,8
VIII	Землистые	Растительная земля, торфы, легкие суглинки, сырые пески	0,6
IX	Сыпучие	Пески, осыпи, мелкий гравий, насыпная земля, добытые угли	0,5
X	Плывучие	Плывуны, болотистые грунты, разжиженные лессы и другие разжиженные грунты	0,3

В пластических породах (глины, аргиллиты, сланцы) сдвигание начинается при небольших размерах выработанного пространства. При этом поверхность земли прогибается плавно, без видимых трещин.

Значительную роль в формировании мульды сдвигания играет напластование (чередование) пород. В случае подстилания пластичных пород, вся толща ведет себя как непластичная. Если же пластичные породы подстилаются прочными, то деформации поверхности будут плавными и без трещин на поверхности.

Трещиноватость ускоряет процесс скольжения, облегчая перемещение пластов пород в вертикальном направлении.

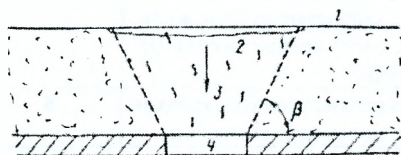


Рис. 99 Мульда сдвигания: 1 - нормальная поверхность; 2 - поверхность мульды сдвигания; 3 - деформирующийся массив пород; 4 - подземная выработка; β - угол сдвигания.

Величина осадки поверхности земли в пределах мульды сдвижения (рис. 99) может составлять 0,1-0,9 (чаще 0,6-0,7) от мощности разрабатываемого пласта или высоты подземной выработки. Размер площади мульды обычно превышает размер выработанного пространства, что связано с наличием угла сдвижения $\beta=60-85^\circ$. Оседание мульды длится годы и зависит от глубины заложения выработки. Но в среднем скорость осадки составляет соответственно: глубина заложения до 100 м – скорость осадки 16 мм/сут, 100-200 м – 8 мм/сут, 200-300 – 3 мм/сут, >300 м - 2 мм/сут.

При строительстве в районах расположения подземных выработок необходимо учитывать возможность образования мульды сдвижения, так как ее появление может привести не только к деформациям зданий и сооружений, но даже и к их разрушению. При этом осадка здания в центральной части мульды происходит более или менее равномерно. На окраинах мульды здания подвергаются неравномерным осадкам и значительно деформируются (рис. 100).

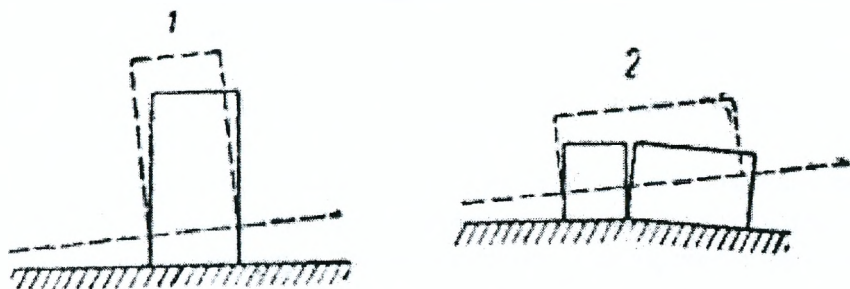


Рис. 100 Опасный крен и разрушение здания при наклоне и кривизне поверхности земли на участке мульды: 1 - крен; 2 - разрушение.

Поэтому, при проектировании в таких условиях необходимо предусматривать конструктивные или защитные мероприятия. При этом, если величина деформации земной поверхности незначительна, то специальная защита не предусматривается, а при значительных деформациях и провалах – строительство нецелесообразно вообще.

Во всех остальных случаях при строительстве на подрабатываемых территориях можно применять следующие меры: разрезка зданий на блоки

(отсеки) деформационными или деформационно-температурными швами; оптимальная ориентация здания по отношению к мутьде движения; повышение расчетного сопротивления грунта основания (несущей способности); повышение прочности несущих конструкций и элементов здания и устойчивости их неравномерным осадкам; использование высокопрочных материалов и повышение качества строительно-монтажных работ; усиление фундаментов; применение рациональных способов ведения горных работ.

В случае, если процесс сдвижения уже завершился, то строительство осуществляется без всяких защитных мероприятий.

Глава 7 ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОКРИОЛОГИИ

В ряде районов земного шара (север Европы, север и восток Азии, север Америки) толщи горных пород верхней части земной коры постоянно находятся в мерзлом состоянии, то есть их температура всегда ниже 0°C .

Такие породы называют вечномерзлыми (многолетне-мерзлыми), территорию их распространения – областью вечной мерзлоты, а науку, изучающую их происхождение и свойства – инженерной геокриологией.

В СНГ вечная мерзлота занимает более 11 млн. км² всей площади. Образование вечной мерзлоты связано с оледенениями четвертичного периода (рис. 101).

В настоящее время в зависимости от влияния природных (климатических и геологических) и антропогенных (хозяйственная деятельность человека) процессов происходит деградация (исчезновение) вечной мерзлоты или аградация (наступление) ее.

Знание динамики развития вечной мерзлоты и свойств вечномерзлых грунтов позволяет разрабатывать принципы инженерно-геологических исследований строительства зданий и сооружений, с обеспечением нормальных условий их эксплуатации.

По площади распространения вечную мерзлоту подразделяют на сплошную, с таликами (при наличии участков, где существуют фильтрационные потоки) и островную. Для островной мерзлоты характерно распространение отдельных участков вечной мерзлоты среди обширных пространных талых грунтов.

Температура вечномерзлых пород в зоне сплошного их распространения ниже -5°C , в таликовой зоне – $(-5 \div -1,5^{\circ}\text{C})$ и островной – около 0°C . По вертикали вечную мерзлоту разделяют на следующие характерные зоны: деятельный слой; собственно вечная мерзлота; подмерзлотные слои.

Деятельным слоем называют верхнюю часть толщи вечной мерзлоты, которая в теплый (летний) период ежегодно оттаивает, а зимой (зимний период) замерзает, то есть проявляется сезонная мерзлота. Мощность дея-

тельного слоя зависит от состава пород и климатических условий и колеблется от 0,2 до 4,0 м.

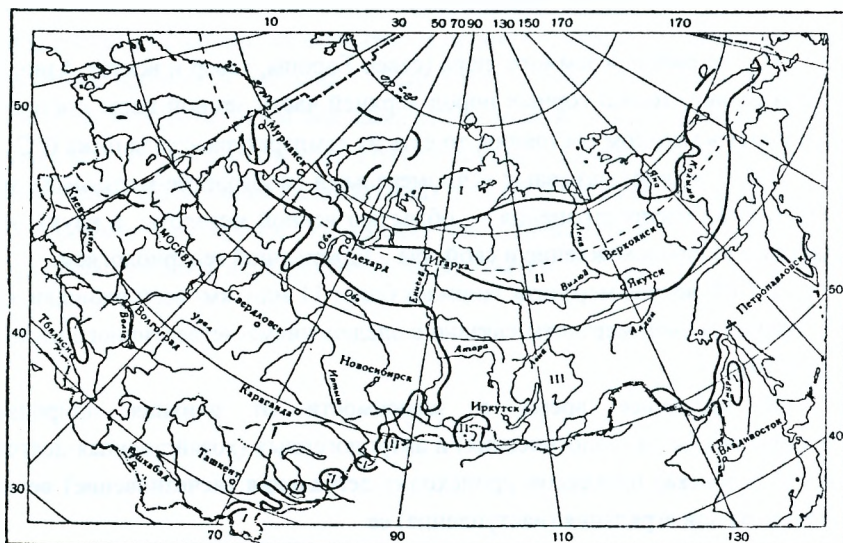


Рис. 101 Карта-схема расположения вечной мерзлоты: I - сплошной; II - с таликами; III - островной.

При этом наименьшая мощность характерна для глинистых и торфяных пород, а наибольшая – для песчаных.

Мощность деятельного слоя оказывает существенное влияние на строительство. При этом необходимо знание следующих расчетных характеристик по мощности деятельного слоя:

- естественная (H^e), определяемая в период инженерно-геологических изысканий;
- нормативная (h_0), определяемая как максимальная по многолетним (не менее 10 лет) данным;
- расчетная (H^p), определяемая через нормативную с учетом теплового влияния проектируемого сооружения.

По характеру зимнего промерзания различают слившуюся и неслившуюся вечную мерзлоту. Для слившейся вечной мерзлоты деятельный слой ежегодно промерзает полностью и сливается с подстилающей его толщей

вечномерзлых пород. Для неслившейся вечной мерзлоты такого слияния не происходит и между ними сохраняются прослой талого грунта (рис. 102).

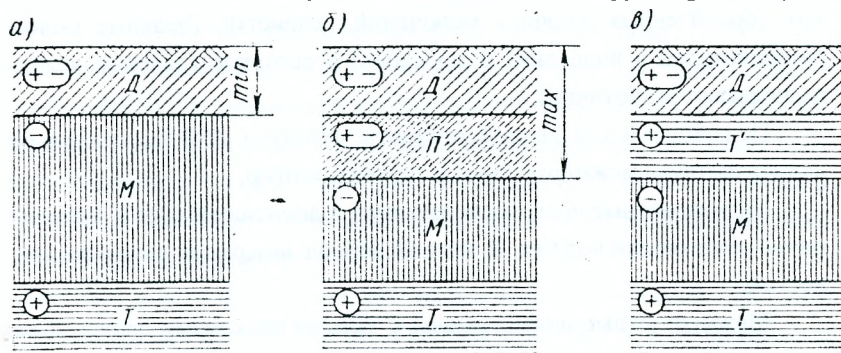


Рис. 102 Схемы залегания вечной мерзлоты: а - сливающаяся мерзлота; б - сливающаяся мерзлота с перелетками; в - несливающаяся мерзлота.

Мощность собственно вечной мерзлоты может колебаться от 10 до 3000 м. При этом толщина собственно вечной мерзлоты может быть непрерывной или слоистой. В слоистой толще наблюдается чередование вечномерзлых и талых пород, но такое встречается очень редко.

По физическому состоянию вечную мерзлоту подразделяют на следующие виды: твердомерзлые (частицы породы сцементированы льдом в монолитную твердую массу); пластичномерзлые (породы с температурой $-0,1 \div -0,7$ °С, поры которых заполнены водой и льдом, что позволяет им сжиматься под действием нагрузки); сыпучемерзлые (сухая мерзлота, характерная для несвязных пород слабого увлажнения).

Нужно помнить, что в мерзлых грунтах лед является породообразующим минералом, цементирующем минеральные частицы и тем самым способствующим повышению прочности породы. Специфическими расчетными характеристиками для них являются: коэффициент льдистости — отношение массы льда к массе абсолютно сухой породы и общая влажность — отношение массы льда и воды в порах к массе абсолютно сухой породы.

В зависимости от размеров, формы и взаимного расположения ледяных включений различают три вида текстур: массивную (породы не содержат обособленных ледяных включений); слоистую (ледяные включения располагаются в виде линз и прослоек) и сетчатую (ледяные включения располагаются хаотично).

Подземные воды вечной мерзлоты образуют обычно три горизонта: надмерзлотную, межмерзлотную и подмерзлотную.

Надмерзлотные воды располагаются в деятельном слое и являются типично грунтовыми водами. В зимний период замерзают частично или полностью.

Межмерзлотные воды связаны с талыми прослоями слоистой вечной мерзлоты и являются напорными.

Подмерзлотные воды циркулируют под вечной мерзлотой.

Все три горизонта подземных вод обычно взаимосвязаны, но имеют очень сложную взаимосвязь, как и сложный режим, и поэтому на устойчивость зданий и сооружений оказывают существенное влияние.

В связи с резкими изменениями температур воздуха и горных пород для районов вечной мерзлоты характерен ряд морозных (криогенных) явлений. К ним следует отнести образование наледей, термокарст, пучение, образование марей, солифлюкцию и т.д.

Наледи образуются в зимнее время, когда по мере промерзания деятельного слоя уменьшается объем талого слоя. Это приводит к возникновению напора воды и разрыву мерзлых пород, то есть образованию трещин. Через эти трещины вода выходит на поверхность земли, где, замерзая, и образует грунтовые наледы. Кроме грунтовых наледей часто по берегам рек образуются речные наледы за счет глубокого промерзания русел рек.

Образование наледей очень опасно для строительства, так как вода может проникать в подвалы зданий, подземные коммуникации и при замерзании разрушать их. При эксплуатации транспортных коммуникаций наледы также создают большие проблемы.

Термокарст — это процесс вытаивания подземного льда, в результате изменения температурного режима, приводящий к образованию полостей (пустот), осадке поверхности и формированию провальных форм рельефа.

Пучение – это процесс увеличения объема глинисто-пылеватых и мелкопесчаных пород при промерзании деятельного слоя, приводящий к подъему поверхности земли. При неравномерном поднятии образуются бугры. Причиной пучения является появление в толще пород кристаллов, линз и прослоек льда за счет имеющейся воды или ее подсосывания из более увлажненных пород. В зависимости от зоны проявления пучение может быть сезонным (связано только с породами деятельного слоя) и многолетним (связано как с породами деятельного слоя, так и слоев, залегающих ниже зоны сезонного промерзания).

Пучение может быть причиной повреждения сооружений, при этом деформация зданий происходит как в период пучения, так и оттаивания, за счет неравномерных осадок. Иногда образуются бугры пучения, высота которых достигает десятков метров. При некоторых условиях в центрах бугров пучения могут образовываться озера и западины.

Солифлюкция – это образование оплывин, срывов и уступов вследствие оттаивания пород в теплые времена года.

Основная причина этого процесса – переход пород в текучую консистенцию вследствие переувлажнения при оттаивании (рис. 103).

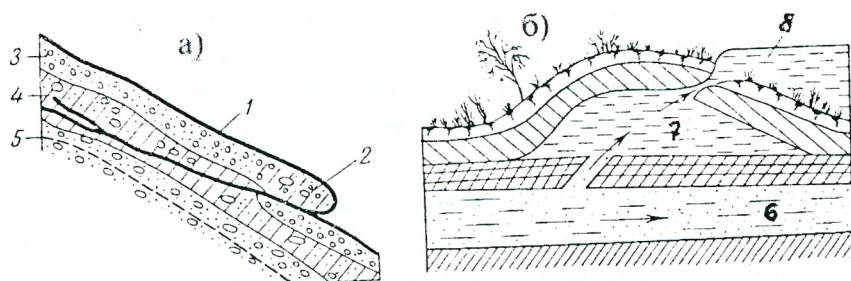


Рис. 103 Схема образования солифлюкции (а) и гидролакколитов (б): 1 – дерн и погребенные почвенные горизонты; 2 – супесь с гравием; 3 – песок с гравием; 4 – глинистый пылеватый песок с гравием; 5 – граница сезонного оттаивания грунтов к концу лета; 6 – грунтовый поток; 7 – ледяной бугор; 8 – выход подземных вод на поверхность с образованием наледи.

Мари – это заболоченные низинные участки, возникающие при оттаивании верхнего слоя мерзлой породы. В основании марей лежит мерзлый грунт, на ее поверхности развиваются кочки, а сама мари состоит из слабо-разложившегося торфа или торфянистых масс.

Принципы строительства в зоне вечной мерзлоты учитывают, что породы в мерзлом состоянии приобретают характер скальных пород ($R_0=500-2000$ кПа), и нарушение нормальной работы зданий и сооружений может быть обусловлено только следующими причинами:

- 1) выжимание пород из-под фундаментов при оттаивании вечной мерзлоты;
- 2) неравномерное пучение пород при промораживании талых пород;
- 3) оползания мерзлых пород на склонах;
- 4) прорыв подземных вод с образованием наледей.

Все это требует применения ряда мер, обеспечивающих устойчивость сооружений. Поэтому, основной целью инженерно-геологических исследований в зоне вечной мерзлоты является: достоверное определение мощности деятельного слоя; выявление формы залегания, мощности и строения вечномерзлой толщи; установление температурного режима, льдистости, строительных свойств пород и влияние на них климато-геоморфологических факторов.

При проектировании сооружений на вечномерзлых грунтах рекомендуется предусматривать возможность строительства по следующим вариантам:

1 вариант – без учета вечномерзлого состояния, то есть строить как на талых грунтах;

2 вариант – с сохранением вечномерзлого состояния грунтов в течении всего срока эксплуатации (рис. 104);

3 вариант – с допущением оттаивания мерзлых грунтов при строительстве и эксплуатации сооружений, конструкция которых приспособлена к восприятию неравномерных и значительных осадок;

4 вариант – с предпостроечным оттаиванием и упрочнением грунтов до строительства.

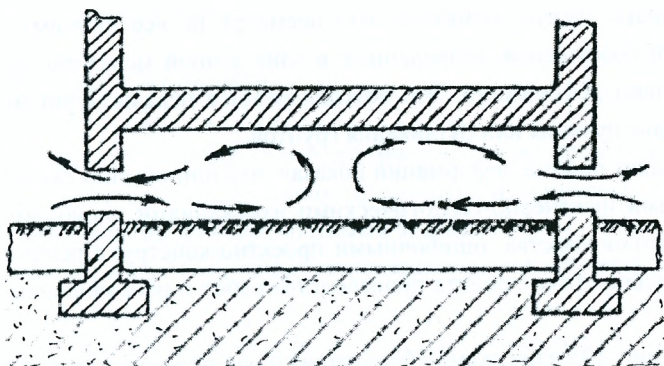


Рис. 104 Схема проветриваемого подполья при строительстве на вечномёрзлых грунтах.

В качестве наиболее распространенных мер по защите от влияния пучения вечной мерзлоты применяют общее осушение территории, противопучинные обратные засыпки, электрохимическую обработку грунта, устройство противомёрзлотных грунтовых поясов и уплотнение грунтов.

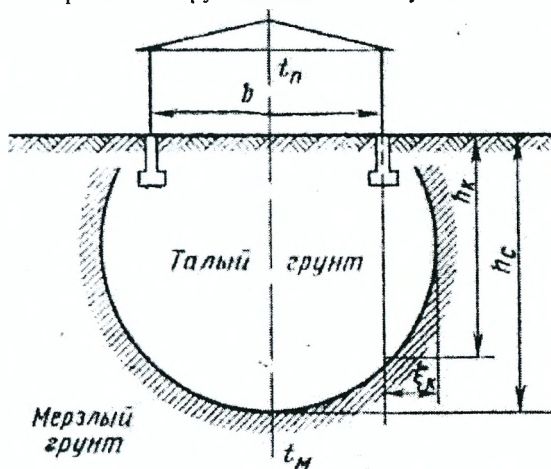


Рис. 105 Образование чаши протаивания под зданием: t_n - температура в помещении; t_m - начальная температура мерзлого грунта; b - ширина здания; h_c - глубина протаивания под серединой здания; h_k - глубина протаивания под краем здания; ξ_k - величина протаивания сбоку здания.

Однако следует отметить, что несмотря на все принимаемые меры, здания и сооружения, возведенные в зоне вечной мерзлоты, большей частью имеют деформации. Это обуславливается неравномерными осадками вследствие пучения или оттаивания грунтов.

Анализ причин деформаций показал, что они обычно связаны с недостоверными инженерно-геологическими изысканиями, ошибками в выборе метода строительства, ошибочными проектно-конструкторскими решениями, погрешностями проекта производства работ и неправильной эксплуатацией.

На рис. 105 дана схема образования чаши протаивания под зданием.

Глава 8 ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ

8.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Гидрогеология – это наука о подземных водах, их происхождении, условиях залегания, законах движения, физических и химических свойствах, связи с атмосферными и поверхностными водами.

Подземные воды – это воды, находящиеся в верхней части земной коры.

Для строителей подземные воды в одних случаях служат источником водоснабжения, а в других – являются фактором, удорожающим строительство.

Подземные воды могут ухудшать физико-механические свойства грунтов, загашивать строительные котлованы, траншеи и карьеры, оказывать агрессивное действие на подземные сооружения и коммуникации, формировать пльвинунные, суффозионные и карстовые явления.

Все это и обуславливает необходимость знания каждым инженером строительного производства, особенностей формирования и деятельности подземных вод, чтобы рационально их использовать и уметь бороться с ними как в период строительства, так и в период эксплуатации.

Вода на Земле находится в постоянном движении. Испаряясь с поверхности морей и суши, она в парообразном состоянии поступает в атмосферу. При соответствующих условиях пары конденсируются и в виде атмосферных осадков (снег, дождь, град) выпадают на земную поверхность. Так происходит круговорот воды в природе. В зависимости от схемы циркуляции паров выделяют большой круговорот воды (море – атмосфера – суша – море) и малый (море – атмосфера – море и суша – атмосфера – суша) (рис. 106).

При большом круговороте вода, выпадая на сушу, возвращается в море как через поверхностный, так и подземный сток.

Подземные воды образуются преимущественно путем инфильтрации поверхностного стока в грунтовую толщу. Некоторое (но незначительное) участие в образовании подземных вод принимает конденсация водяных

паров, которые проникают в поры пород из атмосферы, и ювенильные воды, возникающие в глубине земли за счет кислорода и водорода, выделяемых магмой.

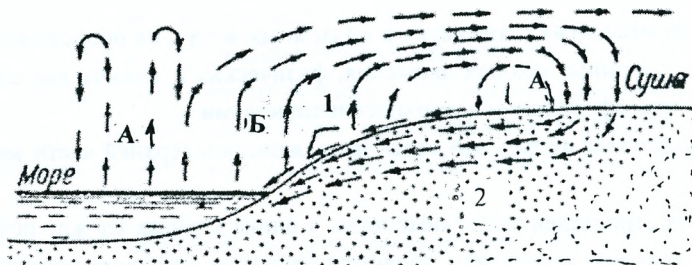


Рис. 106 Схема круговорота воды в природе: А - малый; Б - большой; 1 - поверхностный сток; 2 - подземный сток.

8.2 ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Основными физическими свойствами природных подземных вод являются цвет, прозрачность, вкус, температура и запах.

Температура подземных вод колеблется в широких пределах, но чаще всего она составляет $+7-11^{\circ}\text{C}$. Химически чистая вода бесцветна, а окраску воде придают механические примеси и микроорганизмы. Прозрачность воды зависит от цвета и наличия мути. Вкус связан с составом растворенных веществ и может быть от соленого до горького. Запах зависит от наличия газов биохимического происхождения или гниющих органических веществ. Если анализировать химический состав подземных вод, то следует отметить, что они всегда содержат в растворенном состоянии соли, газы и органические соединения.

Растворенные газы (O , CO_2 , CH_4 , H_2S и др.) придают воде определенный вкус и свойства. Содержание газов обуславливает степень пригодности воды для водоснабжения и технических целей. Вода считается пригодной для использования в качестве питьевой, если она удовлетворяет следующим требованиям:

- 1) сухой остаток после перегонки составляет не более 1000 мг/л;
- 2) общая жесткость не более 7 мг-экв;
- 3) постоянная жесткость не более 5 мг-экв;
- 4) содержание отдельных растворенных веществ, мг/л:

Хлориды	до 15
Органические вещества	до 10
Сульфаты	до 100
Азотная кислота	до 15
Азотистая кислота	следы
Аммиак	следы
Железо	до 1
Свинец	до 0,1
Мышьяк	до 0,05
Фтор	до 1,5
Медь	до 3
Цинк	до 5
Фенол	до 0,001

Питьевая вода должна быть прозрачна, бесцветна, не иметь запаха, быть приятной на вкус. Золотисто-желтая или бурая окраска воды свидетельствует о наличии в ней растворенных органических веществ.

Соленый вкус обуславливается значительным количеством $NaCl$, а горький – $MgSO_4$. Наличие в воде солей азотной и азотистых кислот, а также аммиака указывает на связь этой воды с участками, где происходит разложение органических веществ, и следовательно, на возможность наличия болезнетворных бактерий.

Кроме того, пригодность воды для питья определяется по наличию кишечной палочки *Coli*. Сама по себе кишечная палочка безвредна, но ее наличие свидетельствует о возможном присутствии болезнетворных бактерий.

Количественные показатели определяются *коли-титром*, то есть количеством кубических сантиметров воды, содержащим одну кишечную палочку, или *коли-тестом*, то есть количеством кишечных палочек, содержащихся в 1 л воды:

<i>Степень пригодности воды</i>	<i>Коли-титр</i>	<i>Коли-тест</i>
Безупречно здоровая	700-500	< 2
Подозрительная	300-200	3-5
Нездоровая	130-50	8-20
Совершенно непригодная	50-25	20-40

Присутствие солей в воде придает ей такие свойства как жесткость и агрессивность. По общему содержанию растворенных солей подземные воды разделяют на пресные (<1 г/л), солоноватые (1-10 г/л), соленые (10-15 г/л) и рассолы (> 50 г/л). Количество и состав солей устанавливается химическим анализом и выражается в виде состава катионов и анионов (мг/л или мг-экв/л). Химическая формула имеет вид:

$$M_{30} \frac{Cl_{15}^-(SO_4^{2-})_{30}}{Na_{77}^+ Mg_{18}^{2+}}, \quad (17)$$

где M_{30} - указывает на общее содержание солей (30 г); Cl_{15}^- , Na_{77}^+ и т.д. – процентмиллиграм-эквивалентное содержание анионов и катионов (15.77% мг-экв).

По химическому составу данная формула соответствует соленой минерализованной хлоридно-сульфатно-натриево-магниевой воде.

Жесткость воды определяется количеством растворенных в воде углекислых и сернокислых солей Ca и Mg . При этом 1 мг-экв Ca соответствует 20,04 мг/л иона Ca и 12.6 мг/л ионов Mg . По жесткости воду разделяют на очень мягкую (<1,5 мг-экв), мягкую (1,5-3,0 мг-экв), средней жесткости (3-6 мг-экв), жесткую (6-9 мг-экв) и очень жесткую (>9 мг-экв).

Жесткость бывает временной, постоянной и общей. Временная жесткость обусловлена содержанием бикарбонатов (HCO_3^-), а постоянная – содержанием сернокислых и хлористых солей (Ca^{2+} и Mg^{2+}). Временную жесткость можно устранить кипячением. Общая жесткость определяется как сумма временной и постоянной жесткости.

Агрессивность подземных вод выражается в разрушительном воздействии растворенных солей на строительные материалы (бетон). При этом

степень агрессивности подземных вод зависит как от химического состава, так и водопроницаемости пород.

Критерии агрессивности воды даны в табл. 31.

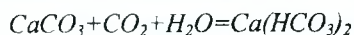
Критерии агрессивности вод

Таблица 31

Вид агрессивности	Компоненты-носители агрессивности и их размерность	Неагрессивная вода	Агрессивная вода по отношению к цементу	
			обычному в неблагоприятных условиях	стойкому в благоприятных условиях
1	2	3	4	5
Выщелачивающая	HCO_3^- , мг-экв/л	$\geq 1,5$	$< 1,5$	$< 0,4$
Углекислотная	CO_2^- , мг/л	$\leq 3,0$	$> 3,0$	$> 8,3$
Сульфатная	SO_4^- , мг/л	≤ 250	> 250	> 400
Магнезиальная	Mg^{2+} , мг/л	≤ 100		

Выщелачивающая (общекислотная) агрессия оценивается величиной водородного показателя (pH). При низких значениях pH усиливается растворение извести бетона. Для песчаных пород вода агрессивна с $pH < 7,0$, а для глин $< 5,0$.

Углекислотная агрессия возникает в результате действия агрессивной углекислоты CO_2 . В процессе взаимодействия с водой из цемента выделяется свободная известь $CaCO_3$, которая реагирует со свободной углекислотой CO_2 . Реакция идет по схеме



Образующийся при этом бигидрокарбонат кальция является растворимым и легко выносится из бетона.

Сульфатная агрессия возникает при наличии в воде повышенного количества сульфата SO_4^{2-} ; в бетоне происходит кристаллизация новых соединений, образование которых сопровождается увеличением объема, вследствие чего происходит разрушение бетона. Такими новыми соединениями являются гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и сульфоалюминат кальция $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 3H_2O$ (цементная бацилла). При образовании гипса объем увеличивается в два раза, а при образовании цементной бациллы – в 2,5 раза.

Магнезиальная агрессия, подобно сульфатной, ведет к разрушению бетона при соприкосновении его с водой, содержащей повышенное количество Mg^{2+} . При этом, если содержание ионов магния Mg^{2+} будет меньше 1000 мг/л, вода считается магнезиально-неагрессивной независимо от содержания иона SO_4^{2-} .

Основными мерами борьбы с агрессивным действием подземных вод являются: использование специальных (стойких к агрессивному воздействию) цементов; гидроизоляция подземных коммуникаций и сооружений; понижение уровней подземных вод с помощью дренажей; снижение агрессивных свойств с помощью химико-биологических методов.

8.3 ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Подземные воды можно классифицировать по целому ряду признаков, которые характеризуют самые различные особенности и свойства. Наиболее распространенная классификация (по Ф.П. Саваренскому) приведена ниже в табл.32.

В инженерно-геологических целях наибольшее значение имеет классификация по условиям (типу) залегания и гидравлическому признаку (характеру напора).

По типу залегания наиболее распространены верховодки, грунтовые и межпластовые (артезианские) воды (рис. 107).

Классификация подземных вод

Таблица 32

Тип за-легания	Область питания, область распро-странения	Харак-тер напо-ра	Харак-тер движе-ния потока	Проис-хождение	Геоло-гические ус-ловия залегания	Клима-тическая зональ-ность	Темпе-ратура	Геохи-мическая зональ-ность	Химизм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поч-вен-ные, боло-тные, верхов-водка	Совпа-дают (воды, близкие к поверх-ности)	Нисхо-дящие нена-пор-ные	Лами-нар-ный	Вадоз-ные	Повер-хност-ные обра-зова-ния	Интро-зо-наль-ные	С рез-ким сс-зон-ным коле-банием темпе-рату-ры	Зона выше-лации-вания и мес-тами зона-льного засо-ления	Прес-ные ме-стами засо-ленные
Грун-товые	Обычно совпа-дают (воды неглу-бокие)	Нисхо-дящие, нена-пор-ные из-редка с мест-ным напором	Преи-му-шест-венно лами-нар-ный	Вадоз-ные	Повер-хност-ные от-ложе-ния и верх-ние слои коры выве-три-вания	Зональ-ные	С рез-ким сс-зон-ным коле-банием темпе-рату-ры	Зона выше-лации-вания и мес-тами зона-льного засо-ления	Прес-ные ме-стами засо-ленные
Карс-товые	Близки (воды обычно неглу-бокие)	Обыч-но нисхо-дящие, нена-порные	Преи-му-шест-венно турбу-лент-ный	Вадоз-ные	Извест-няки, доло-миты и др, лег-ко вы-щела-чиваю-щиеся породы	Азо-наль-ные	Обыч-но не-посто-янный темпе-ратур-ный режим	Зона выше-лации-вания	Прес-ные обычно жесткие

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Артезианские	Не совпадают (воды преимущественно неглубокие)	Восходящие, напор гидростатический	Ламинарный в рыхлых породах, может быть турбулентный в трещиноватых породах	Валозные	Структуры осадочных пород	Азотальные	Постоянная температура, повышающаяся с глубиной	Зона выщелачивания и цементации	Пресные и минеральные
Жильные и трещинные	То же	Восходящие, напор гидростатический или газовый	Преимущественно турбулентный	Валозные и ювенильные	Преимущественно зоны тектонической трещиноватости	Азотальные	Температура в зависимости от глубины	Зона цементации	Пресные и минеральные

Верховодкой называют временное скопление подземных вод в зоне аэрации. Эта зона располагается от уровня поверхности земли до уровня грунтовых вод. Характерным для верховодки является то, что она может образовываться как над случайными водоупорами (полуводоупорами) в виде линз или прослоек плотных пород (глин и суглинков), так и в толще слабоводонепроницаемых пород, из-за их низкой водонепроницаемости (рис. 108). В большинстве случаев образование верховодки связано с периодом обильного снеготаяния или периодом дождей.

В целом, для верховодки характерно: небольшая площадь распространения; малая мощность; безнапорность; временный (сезонный) характер.

Для строительства она представляет значительную опасность, так как залегая в зоне расположения подземных сооружений (подвалы, подполье, подземные насосные станции и др.), она может вызвать их подтопление.

Вместе с тем, в результате значительных утечек воды из водоводов, бассейнов и других инженерных водоисточников возможно также появление антропогенных верховодок на территориях промышленных объектов и жилых районов.

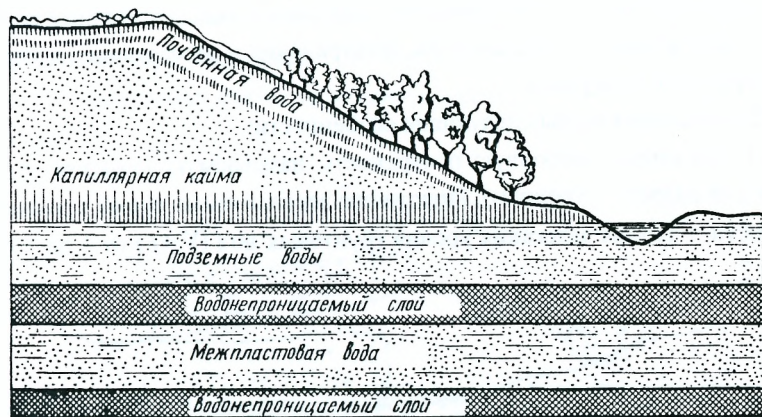


Рис. 107 Классификация подземных вод по условиям залегания.

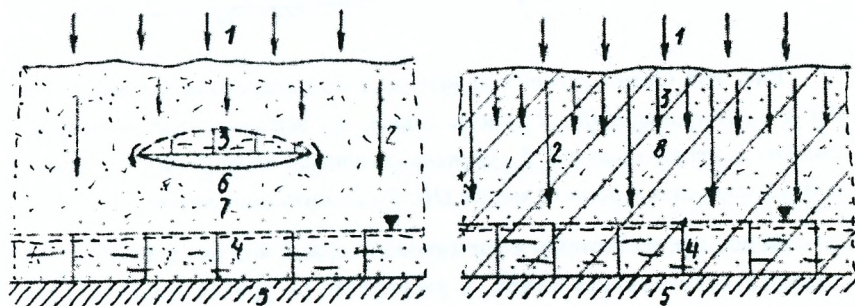


Рис. 108 Схемы верховодок: 1 - атмосферные осадки; 2 - инфильтрация воды; 3 - верховодка; 4 - грунтовый поток; 5 - водоупор; 6 - линза; 7 - песок; 8 - суглинок.

Такое явление представляет собой серьезную опасность, так как грунты основания теряют свою прочность (снижается их несущая способность),

что может приводить к большим проблемам эксплуатации зданий и сооружений.

Нужно также отметить, что при инженерно-геологических изысканиях верховодка не всегда обнаруживается. Поэтому ее появление, в период строительства и эксплуатации, не должно быть неожиданным.

Грунтовые воды – это горизонты подземных вод, постоянные во времени, значительные по площади распространения и залегающие на первом от поверхности водоупоре.

Для них характерны следующие особенности:

1) Они имеют свободную поверхность, называемую зеркалом грунтовых вод (в разрезе – уровнем). Положение зеркала очень схоже с рельефом местности. Глубина залегания уровня грунтовых вод (∇WL) от 1 до 50 м и более.

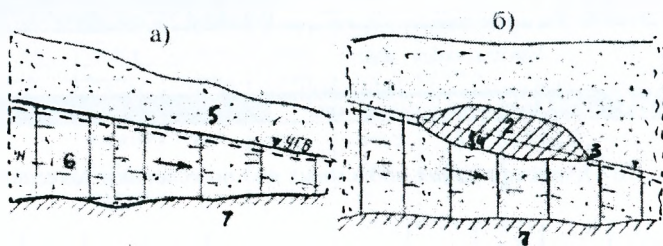


Рис. 109 Схема грунтовых вод (а) и возникновения местного напора (б): 1 - грунтовая вода; 2 - линза глины; 3 - зеркало грунтовой воды; 4 - высота местного напора; 5 - уровень грунтовой воды (УГВ); 6 - мощность водоносного слоя в данном месте (Н); 7 - водоупорное ложе.

Водоупор, на котором сформирован первый водоносный горизонт, называется водоупорным ложем, а расстояние от уровня грунтовых вод до водоупора – мощностью водоносного слоя (рис. 109).

Так как они сверху не перекрыты водоупором, то они являются безнапорными. В редких случаях, при залегании на уровне зеркала глинистых линз или прослоек, может наблюдаться местный напор.

2) Питание (пополнение) грунтовых вод происходит как за счет атмосферных осадков, так и поверхностного и речного стока (то есть из рек и

водоемов). Обычно площадь питания совпадает с площадью распространения грунтовых вод. Так как грунтовые воды открыты для свободного проникновения к ним поверхностных вод, то их химический состав значительно изменяется во времени. Нередко происходит недопустимое загрязнение их вредными примесями.

3) Грунтовые воды находятся в непрерывном движении и обычно образуют потоки, движущиеся в сторону от общего уклона водоупора. Иногда их залегание имеет форму грунтового бассейна, то есть без движения (рис. 110).

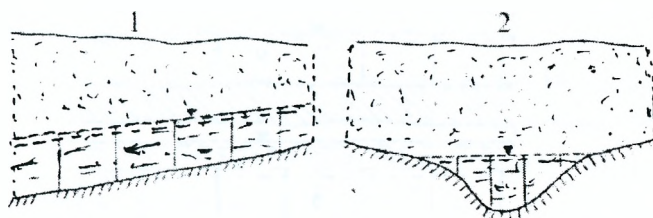


Рис. 110 Форма залегания грунтовых вод: 1 - грунтовый поток; 2 - грунтовый бассейн.

4) Качественные и количественные характеристики потока грунтовых вод зависят от инженерно-геологических и климатических условий.

В площадном их распределении характерна определенная зональность.

Выделяют четыре зоны грунтовых вод:

- грунтовые воды речных долин, глубина залегания от 0,01 до 15 м, со слабой минерализацией, залегающие в аллювиальных отложениях;
- грунтовые воды ледниковых отложений, глубина залегания более 2 м, слабо минерализованные, залегающие в разнообразных обломочных породах;
- грунтовые воды пустынь и полупустынь, глубина залегания 30-40 м и более и сильно минерализованные;
- грунтовые воды горных областей, залегающие в выветрелых и трещиноватых породах.

Среди зональных грунтовых вод располагаются незональные (болотные, карстовые и др.) грунтовые воды.

В строительной практике чаще всего приходится встречаться с влиянием грунтовых вод как в период строительства (заполнение котлованов и траншей, формирование плывунов и суффозионных процессов), так и в период эксплуатации (уменьшение несущей способности, неравномерные осадки зданий и сооружений и т.д.)

Межпластовыми водами называют водоносные горизонты, располагающиеся между водоупорами. Они бывают ненапорные и напорные (артезианские).

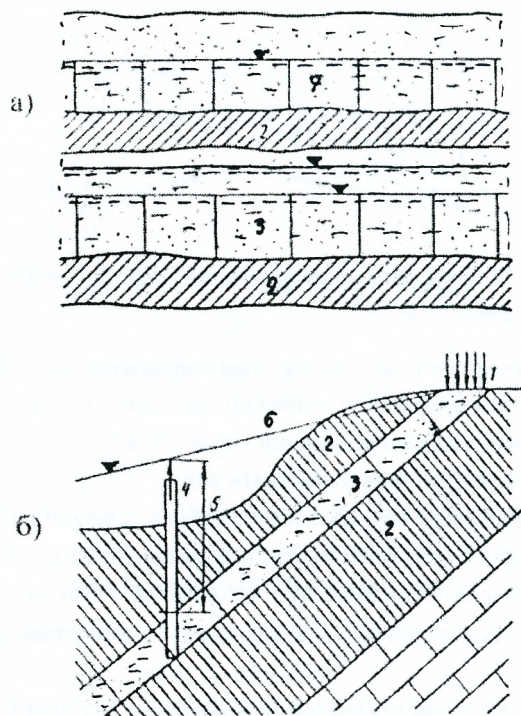


Рис. 111 Схема межпластовых ненапорных вод (а) и артезианских вод при моноклином залежании слоев (б): 1 - области питания; 2 - водоупоры; 3 - водоносный слой; 4 - буровая скважина с фонтанирующей водой; 5 - высота напора; 6 - пьезометрический уровень; 7 - грунтовый поток.

Межпластовые ненапорные воды встречаются сравнительно редко. Они связаны с горизонтально залегающими водоупорами (рис. 111, а) и по условиям движения они аналогичны грунтовым.

Напорные воды связаны с залеганием водоносных слоев в виде синклиналей или моноклиналей (рис. 111, б).

Площадь распространения напорных водоносных горизонтов называют артезианским бассейном. Напорных горизонтов может быть несколько, каждый из них имеет свою область питания, но напор подземных вод во всех них создается за счет залегания их отдельных частей на различных высотных отметках.

Напорность вод характеризуется пьезометрическим уровнем, от местоположения которого вода, при выходе из буровых скважин, может фонтанировать или не появиться на поверхность вообще (рис. 112).

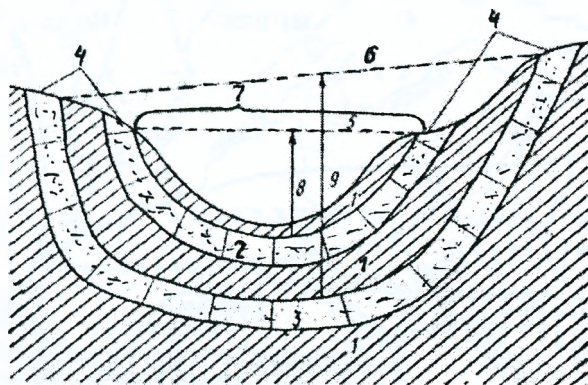


Рис. 112 Схема напорности артезианских вод: 1 - водоупоры; 2 - первый водоносный слой; 3 - второй водоносный слой; 4 - область питания водоносных горизонтов; 5 - пьезометрический уровень верхнего слоя; 6 - пьезометрический уровень нижнего водоносного слоя; 7 - площадь распространения верхнего водоносного слоя; 8 - высота напора первого горизонта; 9 - высота напора второго водоносного горизонта.

Необходимо также иметь в виду, что напорные воды могут формироваться не только в слоях, залегающих между водоупорами, но и в массивах

элемент (река, водоем, канал, траншея, котлован) с 1 км^2 дренируемого водоносного горизонта. На рис. 114 дана карта подземного стока на территории Беларуси.

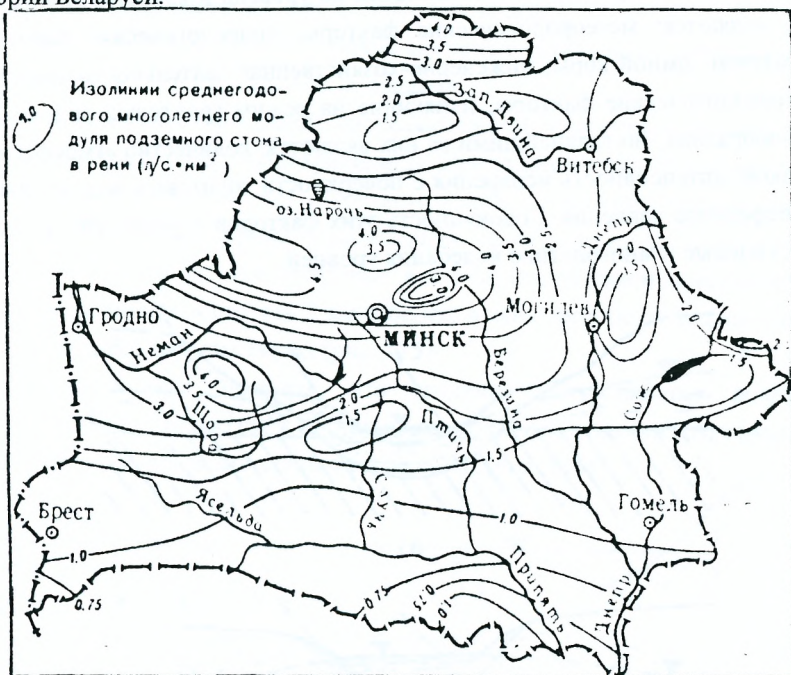


Рис. 114 Карта подземного стока.

8.4 РЕЖИМ ГРУНТОВЫХ ВОД

Под режимом грунтовых вод понимают совокупность изменений положения уровня и характера поверхности грунтовых вод, их температуры, химического состава и свойств.

Знание режима грунтовых вод требует как проектная, так и строительная практика. Так, например, не прогнозируемая или игнорируемая возможность подъема уровня воды может привести к затоплению подвальных помещений, снижению несущей способности грунтов основания и, соответ-

ственно, деформациям зданий и сооружений, разрушению строительных конструкций.

Основными факторами, влияющими на уровень и качество грунтовых вод, являются: метеорологические факторы; гидрологические факторы; магматизм земной коры; инженерно-хозяйственная деятельность человека. Метеорологические факторы, влияющие на режим грунтовых вод, самые разнообразные, но главнейшими из них являются: количество атмосферных осадков; интенсивность испарения с поверхности грунтовых вод; величина атмосферного давления. Совокупность этих факторов обуславливает сезонные, годовые и многолетние колебания уровней.

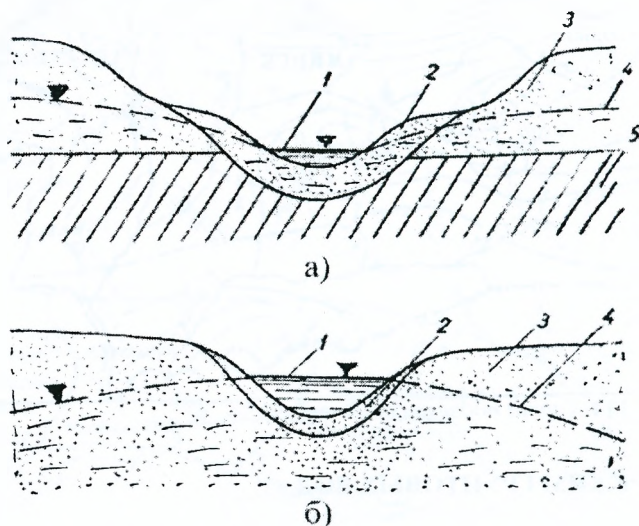


Рис. 115 Связь уровня грунтовых вод с водой в реке: а - река дренирует грунтовые воды; б - река питает грунтовые воды; 1 - уровень воды в реке; 2 - аллювиальные отложения; 3 - песок; 4 - уровень грунтовых вод; 5 - водоупор.

Сезонные колебания в Белоруссии могут достигать 1,0-2,5 м, при этом наиболее высокое положение уровня характерно для периода снеготаяния и затяжных дождей (паводки и половодья). Во времени начало периода па-

водков, половодья и подъема уровня подземных вод асинхронны, и характер асинхронности (запаздывания) зависит от глубины залегания грунтовых вод и водопроницаемости водовмещающих пород.

Многолетние колебания уровня связаны с переменой климата, то есть изменениями количества годовых осадков.

Гидрологические условия проявляются в виде влияния поверхностных водотоков (рек, озер и водохранилищ). При подъеме или опускании уровня воды в них происходит и соответствующее изменение уровня грунтовых вод. При этом ширина зоны влияния, то есть зоны, где будет наблюдаться изменение уровня грунтовых вод под воздействием поверхностных водотоков, может достигать 2 км и более, в зависимости от водопроницаемости водовмещающих пород (рис. 115).

Нужно также помнить, что создание искусственных водоемов (водохранилищ) приводит к постоянному поднятию уровней грунтовых вод и, соответственно, подтоплению территории (рис. 116).



Рис. 116 Влияние уровня водохранилища на грунтовую воду: 1 - река; 2 - водохранилище; 3 - подъем уровня воды; 4 - подъем уровня грунтовой воды.

Магматизм земной коры проявляется в опускании или поднятии отдельных участков суши. При этом процесс поднятия обуславливает снижение уровня грунтовых вод, а опускания — повышение, с возможным развитием процессов затопления и подтопления.

Инженерно-хозяйственная (особенно строительная) деятельность человека существенно сказывается на режиме грунтовых вод. Повышение уровней обычно наблюдается при строительстве водохранилищ, прудов, систем орошения, судоходных каналов и водоводов. Образование верхо-

водки характерно в зонах плотной застройки территории и при массовых утечках воды из водопроводных и канализационных сетей. Понижение уровней воды наблюдается при различных откачках (из скважин, котлованов, карьеров, шахт, тоннелей и т.д.)

Кроме уровня грунтовых вод возможно изменение и их качества, обусловленное присутствием различных примесей органического характера.

Наиболее распространенными причинами, вызывающими изменение качества грунтовых вод являются:

- 1) фильтрация воды через породы различного состава, например, засоленные суглинки;
- 2) интенсивная откачка воды, приводящая к засасыванию вод плохого качества из других водоносных горизонтов;
- 3) увеличенная минерализация воды в сухое время года за счет уменьшения атмосферных осадков;
- 4) закачивание в подземные горизонты жидких осадков минерального и органического характера (рис. 117).

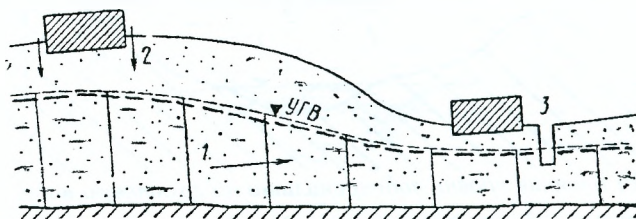


Рис. 117 Изменение качества грунтовых вод: 1 - грунтовый поток; 2 - просачивание воды с вредными примесями (завод, животноводческая ферма и т.д.); 3 - колодезь для населенного пункта, в который поступает вода с вредными примесями.

Для выявления характера поверхности (зеркала) грунтовых вод составляется карта гидроизогипс, а для артезианских – карта гидроизопьез.

Гидроизогипсы – это линии, соединяющие точки с равными абсолютными отметками зеркала грунтовых вод. Гидроизопьезы – аналог гидроизогипс, только для артезианских вод (рис. 118). Гидроизогипсы аналогичны

горизонтaliaм рельефа местности и подобно им отражают рельеф зеркала воды.

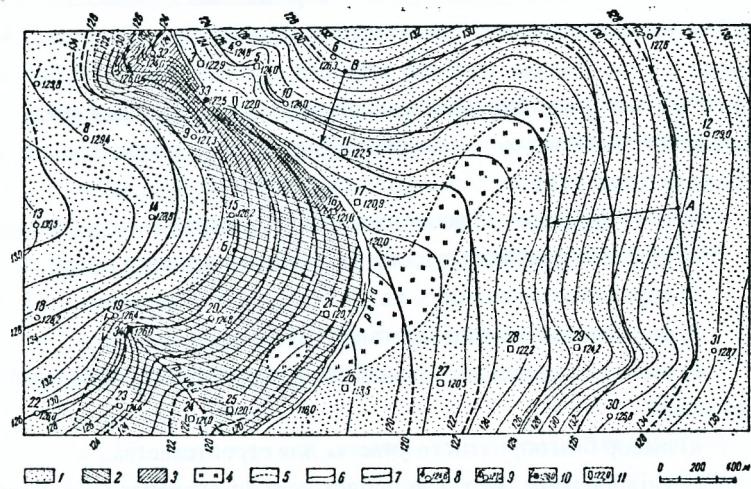


Рис. 118 Карта гидроизогипс: 1 - песок; 2 - супесь; 3 - суглинок; 4 - заболоченный участок; 5 - литологические границы; 6 - горизонтали поверхности; 7 - гидроизогипсы; 8 - буровая скважина; 9 - колодец или шурф; 10 - источник; 11 - водомерный пост. Цифры у водопунктов означают: сверху — номер, справа — абс. отметка поверхности грунтовых вод. Сечение гидроизогипс через 2 м.

Для построения карты гидроизогипс на стройплощадке (участке) устраивают горные выработки (буровые скважины, наблюдательные колодцы, шурфы) и в них измеряют уровни подземных вод, то есть глубину залегания. Глубину залегания грунтовых вод измеряют либо в относительных отметках, представляющих собой глубину расположения уровня от поверхности земли, либо в абсолютных отметках, определяющих положение поверхности грунтовых вод над уровнем моря.

Измерения глубин залегания грунтовых вод производятся в основном перед проектированием зданий и сооружений, то есть в период проведения

инженерно-геологических изысканий. Необходимость продолжения наблюдений за уровнем грунтовых вод определяется только опасностью подтопления подземных сооружений и помещений.

В состав наблюдений входят – определение глубины появления воды (h_0) и установившегося (статического) уровня (h_c). Точность замеров не менее 1-2 см. Замеры проводят рейками, при небольшой глубине залегания (до 4 м), или поплавковыми хлопущками на тросах. Для постоянного наблюдения используют электроизмерители с самопишущей системой “Валдай” (рис. 119).

Карта гидроизогипс используется для решения следующих задач:

- а) установление направления движения грунтового потока;
- б) определение величины напора (напорного градиента - J);
- в) определение глубин залегания грунтовых вод (WL);
- г) выбор оптимального расположения дренажных и водозаборных сооружений;
- д) выбор благоприятного участка для строительства;
- е) установление мест, где происходит интенсивная утечка воды из инженерных водоводных коммуникаций.

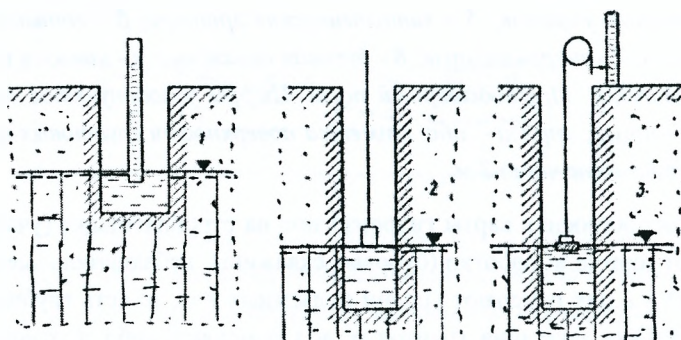


Рис. 119 Приспособление для измерения уровней грунтовых вод в горных выработках: 1 - мерная рейка в шурфе; 2 - мерный трос с хлопущкой; 3 - стационарный поплавковый измеритель в скважинах.

Следует также отметить, что значительное влияние на строительство оказывает и наличие источников (ключи, родники). Под источниками по-

нимается место естественного выхода воды на дневную поверхность. И обычно напорные воды дают восходящие (фонтанирующие) источники, а ненапорные – нисходящие. По характеру расположения они бывают сосредоточенные (выходящие в одном месте в виде потока) и рассредоточенные, когда грунтовая вода выходит из массива по всему склону или речной долине.

Интенсивность выхода воды в единицу времени называется дебитом источника. Он может выражаться в л/с или м³/сут. Источник, выход которого обгорожен (улучшен) человеком называется каптированным.

Аналогично карте гидроизогипс строится и карта гидроизопьез, которая позволяет дать оценку поверхности и характер напорности для артезианских вод.

8.5 ДВИЖЕНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД

Движение воды в горных породах определяется их водными свойствами и степенью насыщенности. При этом нужно различать инфильтрационное движение (просачивание) – это движение воды по свободным порам пород, то есть не занятых водой, а фильтрация – это движение воды в зоне полного насыщения, при наличии разности гидравлических напоров (уровней) от мест с более высоким к местам с низким напором (уровнем) (рис. 120).

Разность напоров $\Delta H = H_1 - H_2$ на участке (Δl) обуславливает движение воды в направлении сечения II.

Скорость движения зависит от величины разности напора (ΔH) и длины пути фильтрации (Δl), то есть от гидравлического уклона (градиента) – $J = \Delta H / \Delta l$.

Движение грунтового потока в водонасыщенных слоях со скоростью до 400 м/сут (пески, супеси, суглинки, мелкий галечник) имеет параллельноструйчатый (ламинарный) характер.

При больших скоростях, что характерно для крупнопустотных и сильно трещиноватых пород, характерно вихревое (турбулентное) движение.

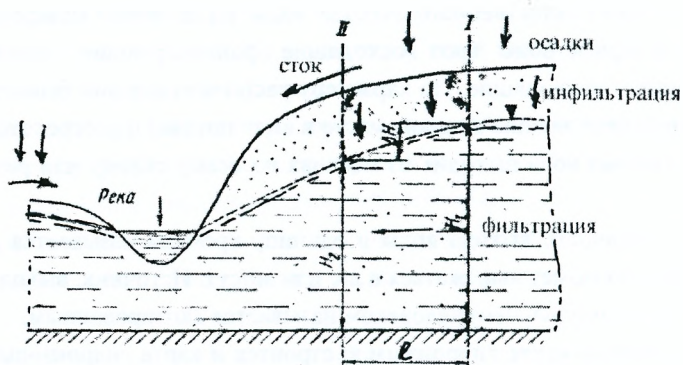


Рис. 120 Схема безнапорной фильтрации.

Современная теория движения подземных вод основывается на теории фильтрации, описываемой законом Дарси

$$V = K_{\phi} \cdot J, \quad (18)$$

где V - установившаяся скорость фильтрационного потока постоянной массы, м/сут; K_{ϕ} - коэффициент фильтрации, м/сут; J - установившийся градиент напора.

Тогда расход воды, или количество фильтрующейся воды в единицу времени, можно определить по зависимости

$$Q = V \cdot \omega, \quad (19)$$

где ω - площадь поперечного сечения потока, м^2 .

Если принять $J=1$, то $K_{\phi}=V$, то есть коэффициент фильтрации – это скорость фильтрационного потока при единичном градиенте напора.

Однако, нужно иметь в виду, что скорость фильтрации (фильтрационного потока), определенная по формуле

$$V = \frac{Q}{\omega}, \quad (20)$$

не соответствует действительности, ибо вода течет только по порам, а не по всему сечению.

Поэтому, действительную скорость фильтрации определяют с учетом пористости (n) и

$$V_0 = \frac{Q}{\omega \cdot n}. \quad (21)$$

Однако, и эта формула правомерна только для рыхлых пород, где все поры открыты.

Для связных (глинистых) грунтов, где множество пор закрыто, в расчет нужно вводить активную пористость

$$n_a = n \cdot W_{max} \cdot \rho_s, \quad (22)$$

где W_{max} - максимальная молекулярная влагоемкость (в долях единицы); ρ_s - плотность частиц пород, г/см³.

Для определения коэффициента фильтрации используются аналитические, лабораторные и полевые методы.

Для приближенных расчетов можно принимать следующие ориентировочные значения коэффициента фильтрации (табл. 33).

*Ориентировочные значения коэффициента
фильтрации пород*

Таблица 33

Порода	Коэффициент фильтрации, м/сут	Группа пород по водопроницаемости
1	2	3
Глины, скальный монолит	0,0005	Водонепроницаемые
Суглинок	Менее 0,05	Слабоводопроницаемые
Супесь	0,1 - 5	Водопроницаемые
Лесс	0,05 - 0,5	
Песок пылеватый	0,5 - 1,0	
То же мелкозернистый	1,0 - 5,0	
То же среднезернистый	5,0 - 20	Хорошо водопроницаемые
То же крупнозернистый	20 - 50	
Гравий	50 - 150	Сильно водопроницаемые
Галечник крупный, сильно-трещиноватые скальные породы	100 - 1000	

Аналитические методы базируются на использовании расчетных (эмпирических формул). Наиболее простой является формула Хазена-Замарина

$$K_{\phi} = 1500 \cdot (d_{10})^2, \quad (23)$$

где d_{10} - действующий диаметр, то есть диаметр частиц, мельче которых в грунтовом массиве содержится 10% от общей его массы, мм. Значение этой величины определяют по кривой гранулометрического состава (рис. 121). Например, для расчетного грунта $d_{10}=0,1$.

Наиболее достоверные результаты дают лабораторные методы. На рис. 122 показаны принципиальные схемы фильтрационных приборов, как более широко применяемых в проектно-изыскательской практике. Отличие приборов только в одном: создается ли на испытуемые образцы дополнительное давление или нет. Но для песчаных грунтов наиболее целесообразно использовать образцы грунтов ненарушенной структуры без обжатия, а для связных грунтов – образцы ненарушенной структуры, но с обжатием нагрузкой, под которой грунт будет находится в основаниях зданий и сооружений.

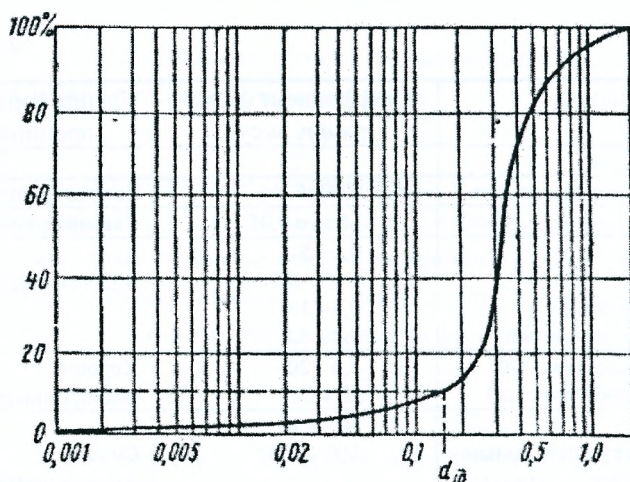


Рис. 121 Кривая гранулометрического состава для определения действующего диаметра.

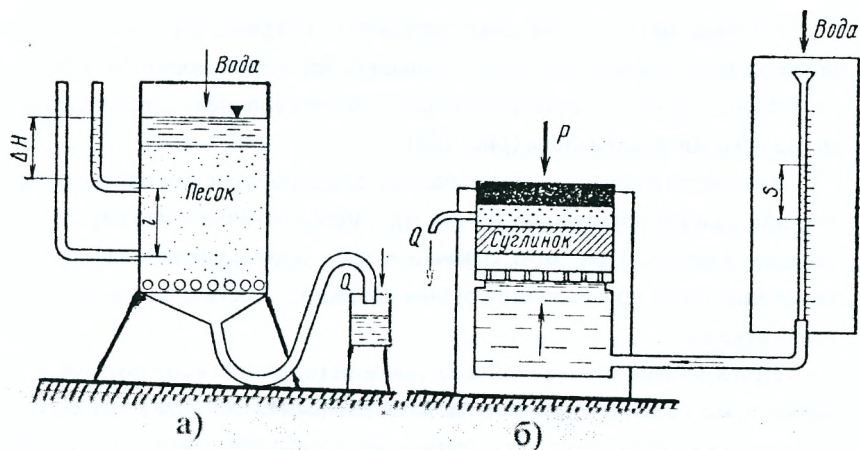


Рис. 122 Схема фильтрационных приборов для песчаных (а) и глинисто-пылеватых грунтов (б).

Наибольшее распространение в строительной практике получили приборы Каменского, СпецГео и ПВГ.

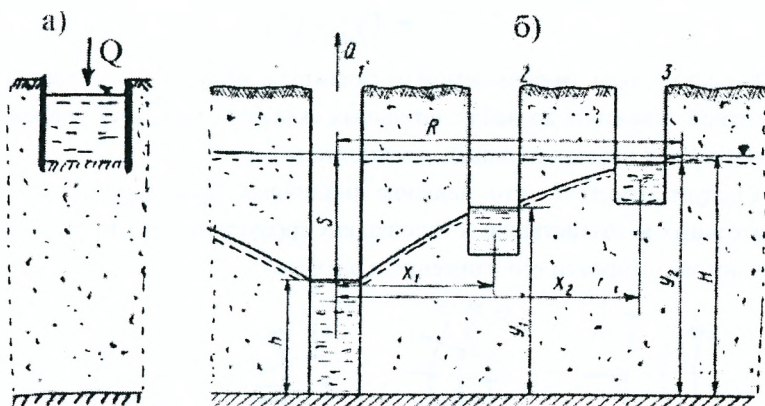


Рис. 123 Определение K_f в полевых условиях методом налива (а) и откачки (б): 1 - опытная скважина, из которой производится откачка; 2 и 3 - наблюдательные скважины; 4 - шурф.

Полевые методы позволяют определить коэффициент фильтрации непосредственно на строительной площадке, без взятия образцов. При этом, если породы сухие, то применяют метод налива в шурфы, а если влажные – метод откачки из скважины (рис. 123).

Как видно из рисунка метод налива целесообразен при определении K_f верхних пластов грунтов (до 1,5-2,0 м), а метод откачки – для глубоко залегающих пластов. При этом откачка может производиться как из одной скважины, так и при наличии группы скважин, то есть одиночная или кустовая откачка.

При кустовой откачке одна из скважин (опытная) используется для откачки, а все остальные служат наблюдательными, что позволяет не только определить коэффициент фильтрации, но и характер изменения режима на прилегающей территории, то есть радиус влияния, однородность пластов, наличие линз и т.д.

Значение коэффициента фильтрации определяют из следующего выражения

$$K_f = Q \cdot \frac{\ln x_2 - \ln x_1}{\pi \cdot (y_2^2 - y_1^2)}, \quad (24)$$

где Q - расход воды, откачиваемой из скважины, м³/сут; x_1 и x_2 - расстояние от опытной скважины до наблюдательных скважин, м; y_1 и y_2 - положение уровней воды в наблюдательных скважинах, м.

Следует отметить, что решение различных практических задач на строительных и хозяйственных площадках требует также и знания направления потока, скорости его движения и расхода.

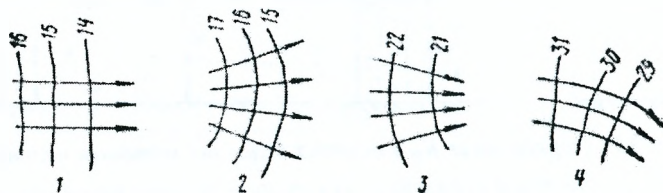


Рис. 124 Форма потоков грунтовых вод: 1 - плоский; 2 - радиальный расходящийся; 3 - радиальный сходящийся; 4 - криволинейный.

Направление движения потока обычно имеет сложный характер, так как на него влияют местные (азональные) геологические условия, рельеф местности и др. Но для расчетных целей выделяют три типа потоков – плоские, радиальные (сходящиеся и расходящиеся) и криволинейные (рис. 124).

Наиболее распространены три способа определения направления потока: по карте гидроизогипс; по методу трех скважин; методом красителей с использованием кустовых скважин (рис. 125).

Более достоверным для стройплощадки является метод трех скважин. Нужно помнить, что направление потока воды всегда ортогонально (перпендикулярно) гидроизогипсе, то есть линии соединяющей точки поверхности потока с одинаковой отметкой.

При использовании метода красителей в центральную (опытную) скважину (5) вводят специальный органический краситель (метилен голубой, флюорестин, желтый пигмент и др.) и наблюдают за его появлением в наблюдательных скважинах (1, 2, 3, 4). Направление от центральной скважины к скважине, где появился краситель, и определяет направление грунтового потока.

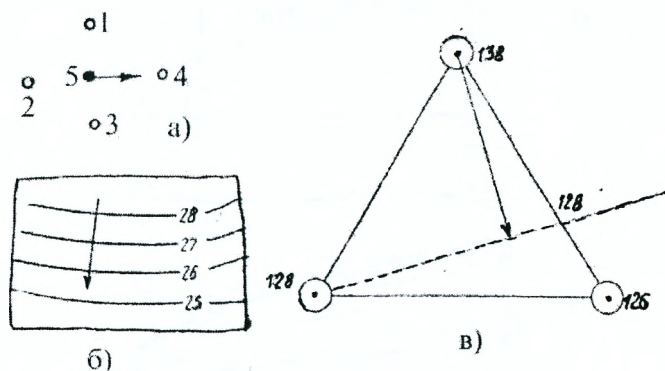


Рис. 125 Определение направления движения потока методом красителей (а), по карте гидроизогипс (б) и по трем скважинам (в).

Отметим также, что движение воды в породе происходит с непостоянной и неодинаковой скоростями. При необходимости определения его дос-

товерного значения используют метод красителей или электролитический метод. Сущность обоих методов в определении времени (Δt), на протяжении которого вода с красителем (электролитом) пройдет от центральной до наблюдательной скважины (L) и тогда

$$V_p = \frac{L}{\Delta t}. \quad (25)$$

В качестве расчетного момента следует брать момент фиксации наибольшей концентрации красителя (электролита).

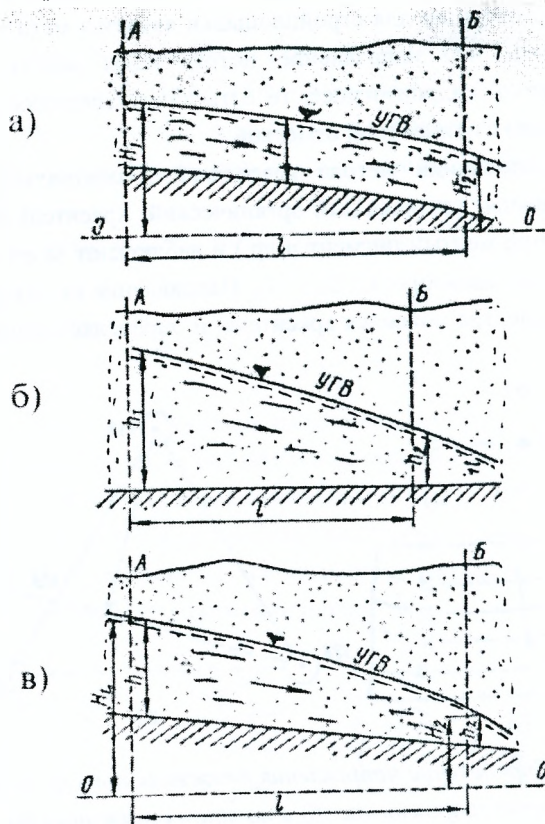


Рис. 126 Схема для расчета расхода грунтовых вод с горизонтальным (I и II) наклонным водоупором (III).

При наличии карты гидроизогипс определение скорости движения потока не представляет никаких затруднений, ибо $V=K_{\phi}J$, то есть знание (определение) коэффициента фильтрации (K_{ϕ}) и гидравлического градиента напора (J) делает эту задачу весьма простой.

Не менее важным в строительно-хозяйственной практике является и знание расхода грунтового потока.

Расход потока — это количество воды, протекающей через поперечное сечение водоносного слоя в единицу времени.

На рис. 126, *а* показан случай определения расхода плоского равномерного потока, когда его мощность (h) постоянна на всем пути движения, то есть уклон кровли водоупора равен гидравлическому уклону.

На основании закона Дарси имеем:

$$Q = K_{\phi} \cdot B \cdot h \cdot \frac{H_1 - H_2}{l}, \quad (26)$$

где B - ширина потока, м; H_1 и H_2 - сечения, по отношению которых производят расчет, м; l - расстояние между сечениями, м.

В природных условиях более часты случаи, когда мощность грунтового потока является переменной. На рис. 126, *б* показан именно такой случай, но при горизонтальном водоупоре. Расчет потока ведут на основе уравнения Дюпюи

$$Q = K_{\phi} \cdot B \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}. \quad (27)$$

При наклонном положении водоупора (рис. 126, *в*) расчет производят с учетом дополнительной горизонтальной плоскости $O-O$. Для выбранных сечений A и B определяют гидравлический градиент и среднюю мощность потока

$$I_{cp} = \frac{H_1 - H_2}{l} \quad \text{и} \quad h_{cp} = \frac{h_1 + h_2}{2}. \quad (28)$$

Формула расхода потока будет иметь следующий вид:

$$Q = K_{\phi} \cdot B \cdot \frac{(H_1 - H_2) \cdot (h_1 + h_2)}{2 \cdot l}. \quad (29)$$

Если разделить расход потока Q на ширину потока B , получим еди-
ничный (или удельный) расход $q=Q/B$.

8.6 ПРИТОК ГРУНТОВЫХ ВОД К ВОДОЗАБОРАМ

При откачке воды из скважин, вследствие сплошности и неразрывно-
сти потока, вокруг них происходит воронкообразное понижение уровня, то
есть образуется депрессионная воронка (воронка депрессии).

На рис. 127 показано образование депрессионной воронки (1) вокруг
скважины при откачке, а на рис. 128 – образование воронки при работе
двух скважин.

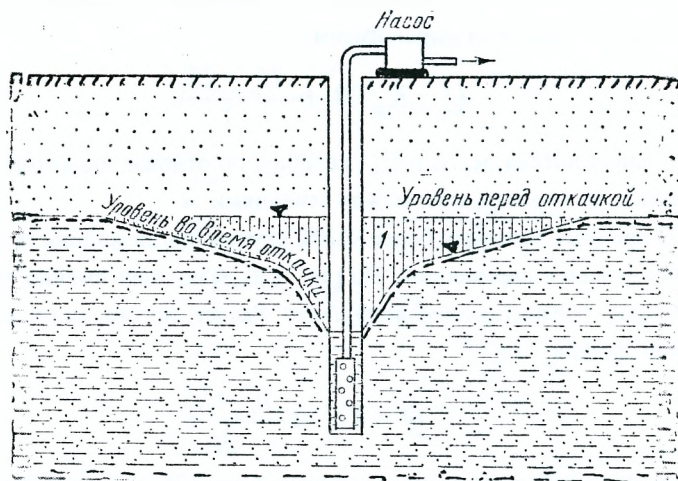


Рис. 127 Образование депрессионной воронки (1) вокруг скважины при откачке.

В плане она имеет форму, близкую к кругу, а в вертикальной плоско-
сти – логарифмическую форму, то есть сверху воронка как бы ограничива-
ется кривой депрессии с кривизной, возрастающей по мере приближения к
точке откачки (рис. 129).

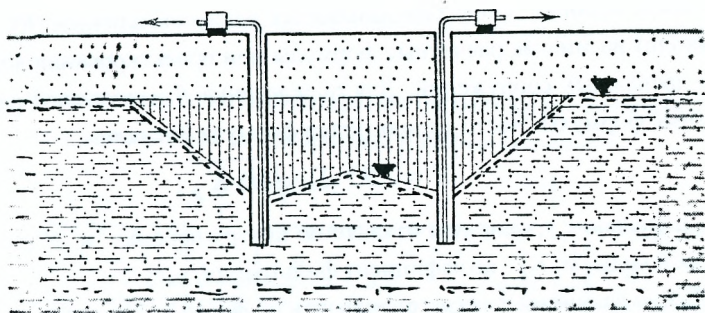


Рис. 128 Образование объединенной воронки при работе двух скважин.

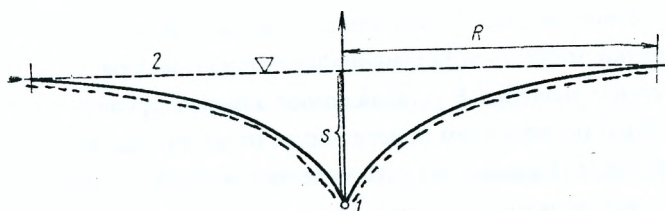


Рис. 129 Депрессионная воронка: 1 - точка откачки; 2 - нормальный уровень; S - понижение уровня в центре воронки; R - радиус воронки.

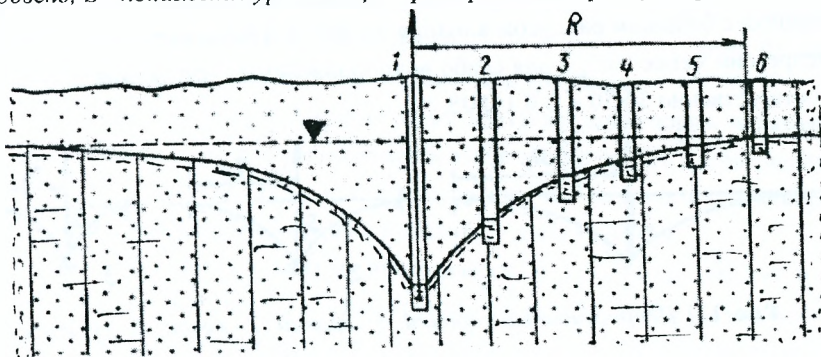


Рис. 130 Определение радиуса влияния откачки R по буровым скважинам: 1 - скважина, из которой производится откачка воды; 2-6 - для замера уровней.

Радиус воронки депрессии называется радиусом влияния (R). Величина R входит во многие расчетные формулы при проектировании водозаборных и дренажных сооружений. Для определения R используют различные расчетные формулы. Часто используется формула Кусакина.

$$R = 1.95 \cdot S \cdot \sqrt{H \cdot K_{\phi}}, \quad (27)$$

где S - понижение уровня при откачке по центру воронки, м; H - мощность грунтовой воды, м; K_{ϕ} - коэффициент фильтрации, м/сут.

Можно величину R также определить по формуле Троянского

$$R = \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot H \cdot K_{\phi} \cdot I}, \quad (28)$$

где Q - дебит, м³/сут; H - мощность грунтовой воды, м; K_{ϕ} - коэффициент фильтрации, м/сут; I - установившийся градиент напора.

Точные значения R устанавливают замером уровней в скважинах, которые бурят по двум-трем поперечникам от места откачки (рис. 130).

Из рис. 131 видно, что размер депрессионной воронки, а следовательно и радиус влияния (R) и крутизна кривых депрессии зависит от размера пор, пористости и гранулометрического состава пород.

Для хорошо проницаемых пород (гравий, песок) характерна широкая воронка с большим радиусом влияния (от 600 м и более) при уклоне кривой депрессии менее 0,02, а для слабо водонепроницаемых (суглинков и супесей) соответственно 30-50 м и 0,1-0,05.

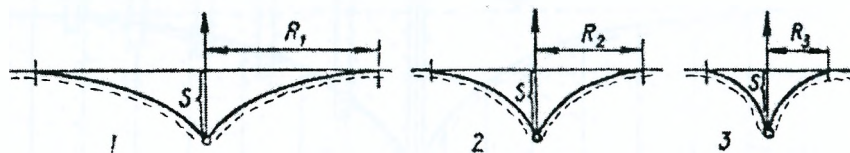


Рис. 131 Депрессионные воронки: 1 - гравий; 2 - песок; 3 - суглинок.

Прогноз возможного притока грунтовых вод к водозаборным колодцам, строительным котлованам или горным выработкам имеет большое практическое значение. Это позволяет запроектировать наиболее рацио-

нальную систему водозабора или мероприятия по понижению уровня грунтовых вод (рис. 132).

В зависимости от конфигурации строительные котлованы (карьеры и т.д.) можно разделить на квадратные и прямоугольные.

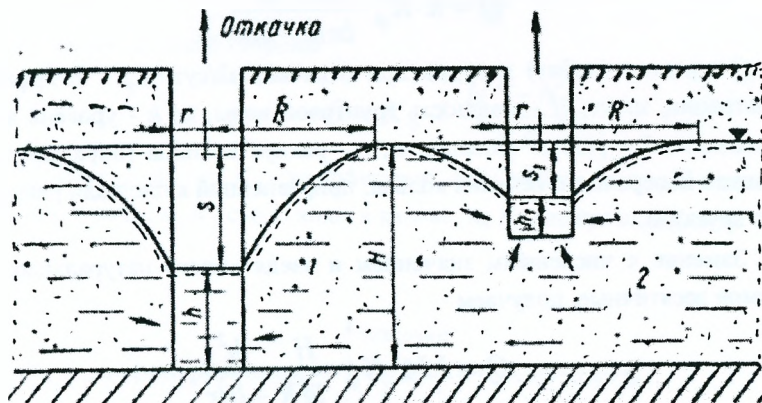


Рис. 132 Водозаборные колодцы: 1 - совершенного вида; 2 - несовершенного вида.

Первые можно рассматривать как колодцы, то есть вертикальные выработки определенного диаметра; вторые больше отвечают горизонтальным выработкам типа траншеи (канавы). В связи с этим ниже будет рассмотрено два вида водозаборов – колодцы и траншеи.

Колодцы и траншеи, дно которых достигает водоупоров, называют совершенными; если дно располагается выше водоупора, то несовершенными (рис. 132). Уровень воды в колодце до откачки называют статическим, а уровень, пониженный в процессе откачки – динамическим.

Если из колодца вода не откачивается, то ее уровень находится в одном положении с поверхностью грунтового потока. При откачке воды возникает депрессионная воронка, уровень воды в колодце понижается. Производительность колодца определяется величиной дебита. Под дебитом колодца понимают то количество воды, которое он может дать в единицу времени. При откачке воды в количестве большем, чем величина дебита, то есть больше того, что притекает к колодцу из водоносного слоя в единицу

времени, уровень резко понижается. На некоторое время колодец может остаться без воды.

Приток воды (дебит) к совершенному колодцу определяется формулой

$$Q = \pi \cdot K_{\phi} \cdot \frac{H^2 - h^2}{\ln R - \ln r}, \quad (29)$$

где Q - расход (дебит) колодца при откачке, м³/сут; K_{ϕ} - коэффициент фильтрации, м/сут; H - мощность грунтовой воды, м; h - уровень воды в колодце, м; R - радиус влияния, м; r - радиус колодца (определяется по площади поперечного сечения кольца, приравненной к площади равновеликого круга), м.

Заменив π численным значением и введя вместо натуральных логарифмов десятичные, получаем

$$Q = 1.36 \cdot K_{\phi} \cdot \frac{H^2 - h^2}{\lg R - \lg r}. \quad (30)$$

Величина h ориентировочно равняется $(0,5-0,6) H$.

В несовершенный колодец (рис. 133) вода поступает через его стенки и дно. Это усложняет расчет притока. Дебит таких колодцев меньше дебита совершенных колодцев. При откачке вода поступает в колодец только из части водоносного слоя, которую называют активной зоной (H_0). Глубину активной зоны принимают $4/3$ высоты столба воды в колодце до откачки (P), то есть $H_0 = 4 \cdot P/3$. Эти положения позволяют для несовершенного колодца расход рассчитывать по формуле Паркера

$$Q = 1.36 \cdot K_{\phi} \cdot \frac{H_0^2 - h_0^2}{\lg R - \lg r}. \quad (31)$$

Колодец отдает воду в объеме своего максимального дебита лишь в том случае, если соседние колодцы будут расположены от него на расстоянии не менее двух радиусов влияния.

Траншеи (канавы) предназначены для понижения уровня грунтовых вод. Они входят в систему дренажных устройств. При расчете притока воды следует учитывать, что канавы могут быть совершенного и несовершенного вида и приток воды к ним может быть с двух сторон или с одной стороны.

Расход совершенной канавы при притоке воды с двух сторон определяют формулой

$$Q = K_{\phi} \cdot l \cdot \frac{H^2 - h^2}{R}, \quad (32)$$

а при притоке с одной стороны

$$Q = K_{\phi} \cdot l \cdot \frac{H^2 - h^2}{2 \cdot R}, \quad (33)$$

где Q - расход, м³/сут; K_{ϕ} - коэффициент фильтрации, м/сут; H - мощность грунтовой воды, м; h - столб воды в канаве, м; R - радиус влияния, м.

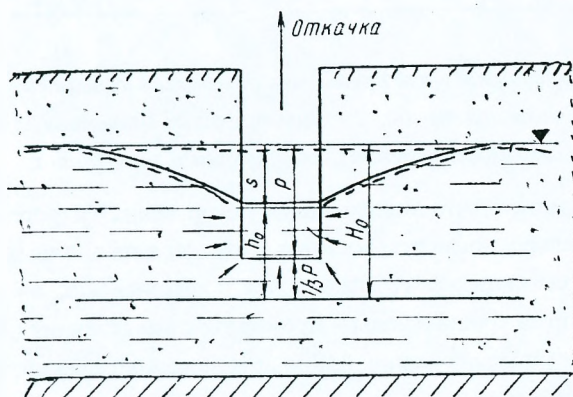


Рис. 133 Схема колодца несовершенного вида: H_0 - мощность активной зоны; P - высота столба воды в колодце до откачки.

Несовершенная канава имеет расход воды меньше совершенной канавы

$$Q_{н.к.} = Q_{сов.к.} \cdot \frac{t}{H}, \quad (34)$$

где $Q_{н.к.}$ - расход воды несовершенной канавы, м³/сут; $Q_{сов.к.}$ - расход воды совершенной канавы, м³/сут; t - расстояние от дна канавы до нормального уровня, м; H - мощность грунтовой воды, м.

Дренажные траншеи могут быть открытые и закрытые.

Открытые траншеи чаще называют канавами. Они более мелкие $\leq 2,5$ м.

Закрытые – имеют большую глубину и чаще используются на городских территориях. Вода сбрасывается по уложенным в траншеях трубам (рис. 134).

Дренажные каналы будут эффективно осушать территорию лишь в том случае, если расстояние между канавами будет меньше $2R$, то есть при условии пересечения кривых депрессионных воронок.

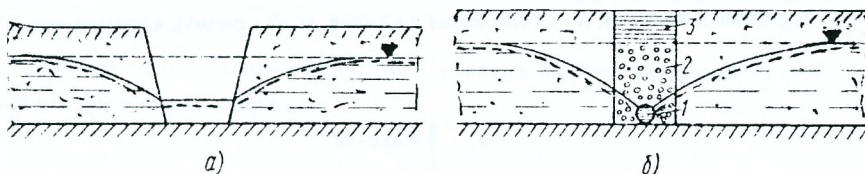


Рис. 134 Горизонтальные дрены: а - открытая канава; б - закрытая траншея; 1 - дренажная труба; 2 - фильтрующий материал; 3 - слой глинистого грунта для предохранения фильтрующего материала.

Следует отметить, что исследования белорусских гидрогеологов позволили значительно повысить достоверность фильтрационных расчетов. При откачке со скважин, как грунтовых, так и артезианских, на их стенках формируется разрыв уровней воды – промежуток высачивания (Δh) в грунтовых и пьезометрический скачок (ΔS) в артезианских скважинах, т.е. проявляется скин-эффект.

При этом $\Delta S = S_c - S_0$, где S_c – понижение уровня воды внутри скважины, м; S_0 – понижение кривой депрессии в пласте по внешней стенке скважины, м и $S_0 = (0,05 \div 0,4)S_c$.

По исследованиям П.Н. Костюковича

$$\Delta S = S_0 \cdot \frac{\ln(r_0/r'_0)}{\ln(R/r_0)}, \quad (35)$$

где r'_0 – приведенный радиус скважины, м и $0 \leq r'_0 \leq r_0$.

Отсюда расчет дебита скважины нужно вести по следующей уточненной формуле Дюпюи

$$Q = \frac{2\pi \cdot T_\delta \cdot \Delta S}{\ln(r_0/r'_0)}, \quad (36)$$

где T_δ – истинная величина водопроводимости водоносного пласта, м²/сут.

Для грунтовых скважин, что характерно для строительных котлованов и малозаглубленных подземных сооружений уточненная формула Дюпюи имеет следующий вид

$$Q = \frac{\pi \cdot K_\delta \cdot \Delta h^2}{\ln(r_0/r'_0)}, \quad (37)$$

где K_δ – водопроводимость водоносного пласта, м²/сут.,

$\Delta h = h_s - h_0$ и h_s – понижение уровня внутри скважины, а h_0 – понижение кривой депрессии по внешней стенке скважины.

8.7 ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ВОДОПРИТОКА В СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОТЛОВАНЫ

В плане строительные котлованы могут иметь самые различные формы. Однако в зависимости от отношения длины котлована к его ширине котлован при расчетах рассматривается как условный “большой” колодец

$\left(\frac{L}{H} < 10\right)$ или как условная “большая” канава $\left(\frac{L}{H} \geq 10\right)$.

Расчет водопритока в “большую” канаву ничем не отличается от расчета водопритока в обычную горизонтальную выработку и

$$Q = K_\phi \cdot \frac{H^2 - h_0^2}{R}, \quad (38)$$

где H - мощность водоносного горизонта, м; h_0 - уровень воды у откоса канавы, м; R - радиус влияния канавы и $R = \sqrt{\frac{3 \cdot H \cdot K_\phi \cdot t}{\mu}}$, м; t - время действия, сут; μ - коэффициент водоотдачи.

При расчете водопритока в “большой” колодец используется формула притока воды в скважину, с заменой радиуса скважины на условный диаметр колодца – $r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$, где F - действительная площадь котлована, м².

Наиболее распространены следующие схемы строительных котлованов, определенные характерными инженерно-геологическими условиями (рис. 135):

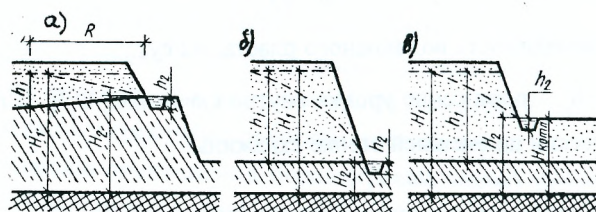


Рис. 135 Схема устройства строительных котлованов.

а) Котлован пререзает толщу грунтов водоносного горизонта и входит в толщу водонепроницаемых грунтов. Здесь целесообразно вдоль бортов котлована заложить береговую или контурную дрена. Водоприток в дрена определяется по зависимости

$$Q = K_\phi \cdot L \cdot \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{R}, \quad (39)$$

где L - длина дрена, м. Все другие величины видны из рисунка.

б) Котлован пререзает толщу водоносного горизонта и доходит до водоупорного горизонта. Водоприток следует рассчитывать как приток воды

к “большому” колодцу независимо от того, что по бортами котлована, у его подошвы, будут закладываться кюветы для стока воды.

в) Котлован пререзает водоносный горизонт не полностью, поэтому его нужно рассматривать как “большой несовершенный” колодец. Но при этом необходимо обеспечение следующего условия

$$h_{кр} = H_1 - H_{котл} < \rho_{гв}, \quad (40)$$

где $\rho_{гв}$ - плотность грунта во взвешенном состоянии, г/см³.

Несоблюдение этого условия приведет к размыву дна котлована. Расчет водопритока проводится по формуле притока к “большому” колодцу.

Вместо устройства кювета для стока воды, следует устраивать глубинный водоотлив, осуществляя его через систему водопонижающих скважин.

г) Котлован закладывается на некотором расстоянии от водоема (реки, озера и т.п.). Расчет водопритока следует вести с учетом расстояния от центра котлована до водоема. Если расстояние от центра котлована до водоема больше половины радиуса влияния ($L > 0,5 \cdot R$), то в расчетную формулу следует вводить величину расчетного радиуса влияния (рис. 136). Если же $L \geq 0,5 \cdot R$, то в расчет следует вводить величину $2 \cdot L$.

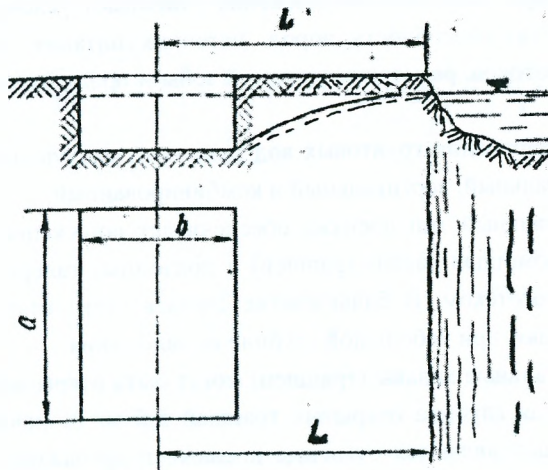


Рис. 136 К определению влияния расстояния от котлована до водоема на величину водопритока.

8.8 МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ГРУНТОВЫМИ ВОДАМИ

Инженерно-гидрогеологические изыскания, проводимые перед проектированием и строительством, должны установить возможное влияние грунтовых вод на здания и сооружения, как в период строительства, так и в период эксплуатации. Зачастую необходимость в таких изысканиях возникают и уже на застроенных территориях, что связано с подъемом уровня грунтовых вод (подтопление и затопление).

Независимо от задач, решаемых снижением уровня грунтовых вод и с поддержанием его в нужном положении, все это достигается осуществлением дренажа (осушение) территории.

При благоприятном рельефе местности водопонижение осуществляется самотеком воды, а при неблагоприятном – с помощью принудительной откачки. Водопонизительные дренажи могут быть совершенными и несовершенными. В первом случае они прорезают весь водоносный слой и сами дренажи лежат на водоупоре. Несовершенные дренажи располагаются в водоносном слое и до водоупора не доходят.

При выборе способа водопонижения учитывают условия залегания и фильтрационную способность пород, источник питания грунтовых вод, характер их потоков, размеры осушаемой зоны и продолжительность водопонижения.

При дренировании грунтовых вод различают следующие типы дренажей: горизонтальный, вертикальный и комбинированный.

Горизонтальный тип дренажа обеспечивает понижение уровня отвода воды с помощью канав (траншей) и подземных галерей. Отток воды происходит самотеком. В большинстве случаев горизонтальные дренажи хорошо работают при небольшой глубине их заложения.

Горизонтальные канавы (траншеи) могут быть открытыми и закрытыми. Наибольшая глубина открытых траншей 5-6 м. Разновидностью дренажных траншей являются откосные дренажи и дренажные прорези. Откосные дренажи представляют собой неглубокие, расположенные поперек откосов траншей, заполненные фильтрующим материалом. Их задача осушить те откосы, через которые пытается выйти на поверхность грунтовая

вода. Дренажные прорезы могут иметь глубину до 10-15 м. Такого типа траншею, заполненную дренирующим материалом, закладывают поперек или вдоль склонов с целью вскрытия водоносного слоя и удаления из него воды.

Подземные галереи чаще всего применяют на оползневых склонах (рис. 137, а) с целью их осушения и предотвращения движения грунтовых масс.

Вертикальный тип дренажа обеспечивает понижение уровня грунтовых вод откачкой насосами или пропуском воды самотеком в нижележащие водопроницаемые слои. Из неглубоких строительных котлованов воду можно откачивать открытым способом (рис. 137, б) Водоотлив, осуществляемый периодически или постоянно, создает в нижележащих грунтах необходимое понижение уровня.

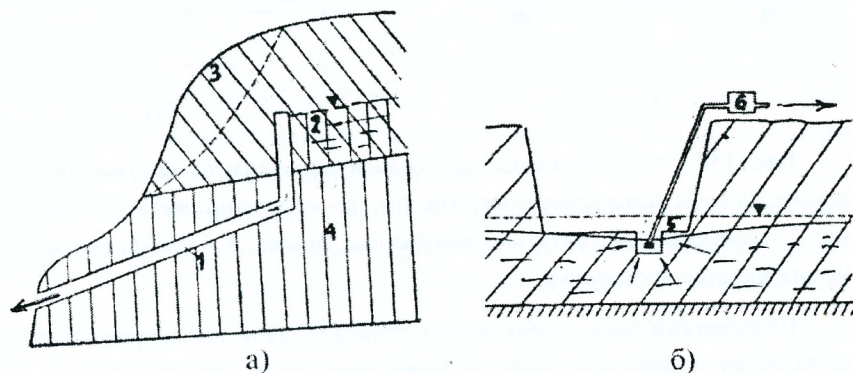


Рис. 137 Схема дренажа оползневых склонов (а) и котлованов (б): 1 - водосборная галерея; 2 - поток грунтовых вод; 3 - оползневое тело; 4 - водоупор; 5 - приямок с фильтром; 6 - насос.

Вертикальный дренаж может осуществляться с помощью водопонижительных скважин и иглофильтровых установок. Водопонижительные скважины оборудуют специальными насосами. Вокруг скважин образуются депрессионные воронки, которые, объединяясь между собой, создают общее понижение уровня грунтовых вод на время работы насосов.

Иглофильтровые установки состоят из систем иглофильтров, которые устанавливают вокруг котлованов или траншей в один или несколько рядов. Эти установки могут создавать в грунте вакуум, что улучшает приток воды к иглофильтрам и повышает устойчивость откосов котлованов. Работа иглофильтров усиливается воздействием на фильтрацию воды электрического тока.

Электродренаж показан на рис. 138, б. Иглофильтры обеспечивают водопонижение на 4,5-5,5 м.

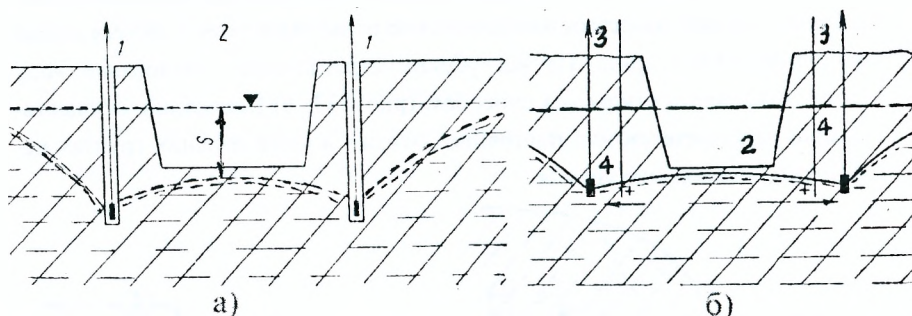


Рис. 138 Схема осушения котлованов вертикальными дренами (а) и электрохимическими иглофильтрами (б): 1 - водопонижительные скважины; 2 - котлован; S - величина понижения уровня; 3 - иглофильтры; 4 - металлические проводники.

Недостатком всех вертикальных дренажей является непродолжительность срока службы трубчатых колодцев, вследствие загрязнения фильтров.

Поглощающие колодцы (скважины) устраивают в тех случаях, когда под водоупором грунтовой воды имеется хорошо водопроводящий слой (рис. 139). Грунтовая вода, поступаая в этот слой, снижает свой уровень. При устройстве поглощающих систем следует учитывать, что скважины работают хуже колодцев из-за быстрого засорения фильтров.

Комбинированный тип дренажа объединяет вертикальные и горизонтальные дренаи.

В зависимости от расположения дренажей в плане и по отношению к направлению движения грунтовых вод различают следующие виды дрена-

жей: систематический, головной, береговой, кольцевой, а также пластовый и вентиляционный. Каждый вид дренажа сопровождается обязательным устройством отвода поверхностных вод с осушаемой территории.

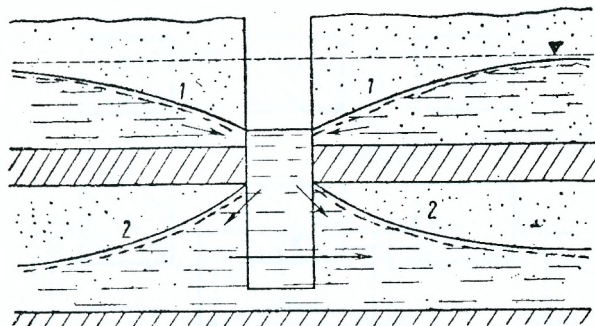


Рис. 139 Поглощающий колодец: 1 - депрессионные кривые; 2 - кривые воронки поглощения.

Систематический дренаж применяют для равномерного осушения значительных территорий (заводская площадка, промышленная зона, карьеры рудных материалов, часть территории города и т.д.)

Этот вид дренажа применяют при небольшой мощности водоносного слоя и при неглубоком залегании грунтовых вод, питание которых осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. В зависимости от геологического строения территории систематический дренаж может быть горизонтальным (рис. 140), вертикальным (рис. 141) или комбинированным.

Головной дренаж используется для понижения уровня грунтового потока, питание которого осуществляется со стороны. Вода перехватывается горизонтальной дренажной трубой, закладываемой выше по течению грунтовых вод (рис. 142). При неглубоком залегании водоупора (до 4-5 м) дрена перехватывает весь грунтовый поток, но если водоупор расположен глубоко, то лучше устраивать вертикальный дренаж. Головной дренаж обеспечивает равномерное и надежное понижение уровня грунтовых вод.

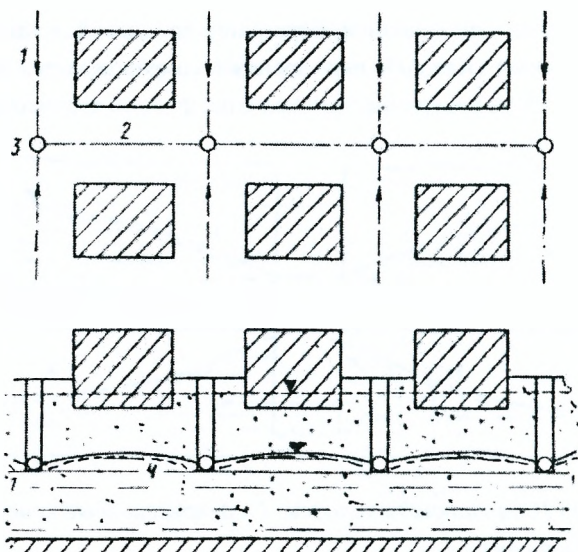


Рис. 140 Систематический дренаж горизонтального типа (в плане и разрезе): 1 - дрены; 2 - дренажный коллектор; 3 - смотровой колодец; 4 - пониженный уровень.

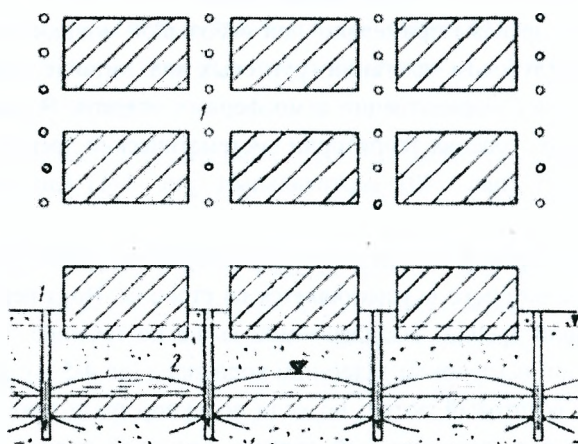


Рис. 141 Систематический дренаж вертикального типа (план и разрез): 1 - поглощающие скважины; 2 - пониженный уровень.

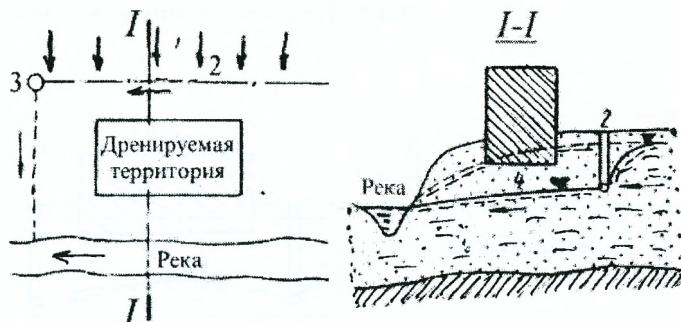


Рис. 142 Головной дренаж (план и разрез): 1 - направление потока грунтовой воды; 2 - головная дрена; 3 - смотровой колодец; 4 - пониженный уровень.

Береговой дренаж применяют в случае, когда уровни рек поднимаются вследствие устройства водохранилищ (рис. 143). Береговые дренажи по условиям своей работы аналогичны головным дренажам.

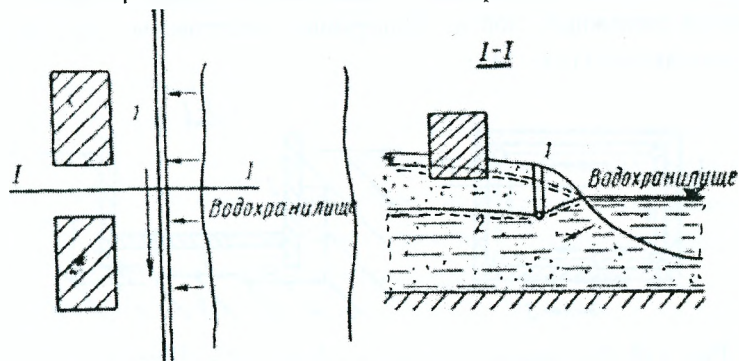


Рис. 143 Береговой дренаж (план и разрез): 1 - береговая дрена; 2 - пониженный уровень.

Кольцевой дренаж защищает от подтопления подвальные помещения отдельных зданий или небольшие участки. Чаще всего его применяют в случаях, когда необходимо понизить уровень грунтовых вод на значительную глубину. При глубоком залегании водоупора в слабофильтрующих

породах лучше устраивать кольцевой вертикальный или комбинированный дренаж (рис. 144).

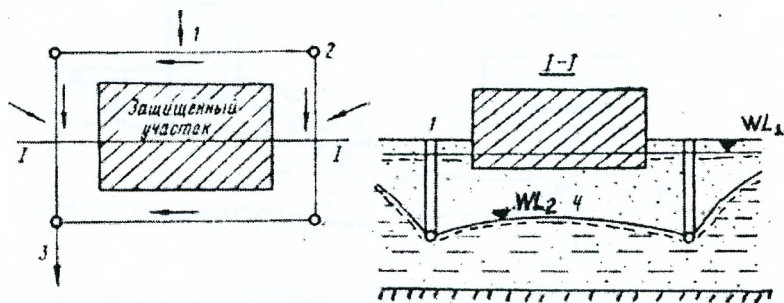


Рис. 144 Кольцевой дренаж (план и разрез): 1 - дрены; 2 - смотровые колодцы; 3 - сбросная часть дренажа; 4 - пониженный уровень.

Пластовые дренажи служат для защиты отдельных зданий и дорожных (линейных) сооружений от возможного подтопления грунтовыми водами, уровень которых периодически повышается. По контуру сооружения укладывается дренажный слой из фильтрующих материалов с дренажной трубой (водовыпуск) (рис. 145).

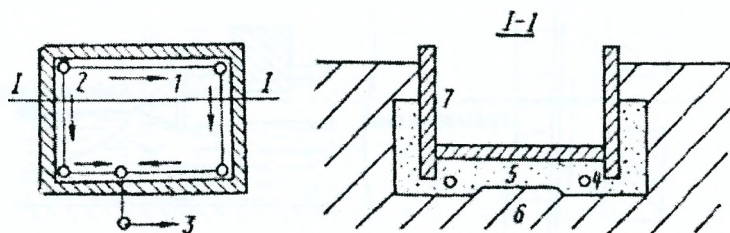


Рис. 145 Пластовый дренаж: 1 - дрены; 2 - смотровые колодцы; 3 - сброс воды; 4 - дренажные трубы; 5 - крупнозернистый песок; 6 - грунт основания; 7 - фундамент.

Для борьбы с накоплением влаги в грунтах зоны аэрации иногда устраивают вентиляционный дренаж в виде труб или галерей, через которые постоянно или под давлением движется воздух, что и обеспечивает испарение конденсационной влаги.

Глава 9 ОСНОВЫ ГРУНТОВЕДЕНИЯ

9.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГРУНТАХ

Грунты – это горные породы, находящиеся в сфере воздействия инженерного сооружения и рассматриваемые с инженерно-строительной точки зрения.

Согласно СТБ 943-93 (стандарт республики Беларусь) грунт – это горные породы, почвы или искусственные образования, которые являются многокомпонентными системами, что изменяются во времени и которые используются как основание, среда или материал при строительстве.

Изучением грунтов занимается такая наука как грунтоведение. В настоящее время под грунтоведением понимают науку о физико-механических и физико-химических свойствах грунтов, условиях их образования и об изменениях в геологических процессах в результате строительства.

Наиболее сложными в изучении являются рыхлые (крупнообломочные и песчаные) и связные (глинисто-пылеватые породы). Массивные твердые (скальные и полускальные) породы обладают жесткой связью между частицами (зернами), и поэтому с инженерно-строительной точки зрения они достаточно прочные, что не вызывает опасений в отношении устойчивости зданий и сооружений. Рыхлые глинистые породы характеризуются отсутствием жесткой связи между частицами, и поэтому обладают не постоянными физико-механическими свойствами.

Основой рыхлых и связных грунтов являются твердые минеральные частицы, создающие структурный каркас грунтов (скелет). Поры грунтов занимают газы и вода. Газы в виде воздуха проникают в поры грунтов из атмосферы.

Такие грунты называются дисперсными и они с физической точки зрения представляют многофазную систему. Эта система формируется твердой, жидкой и газовой фазами, находящимися в тесном взаимодействии.

В зависимости от условий существования грунта взаимодействие фаз меняется, что и обуславливает изменение физико-механических свойств грунтов.

Например, если породы, слагающие склон, подстилаются глиной, насыщенной катионами Na или K , то даже при небольшой влажности кровля глины покроеется “разжиженным” слоем, что и приведет к формированию оползня. Это явление называется пептизацией. Иногда изменение взаимодействия фаз позволяет решать и практические задачи. На этом базируются явления электрофореза и электроосмоса, которые позволяют повысить несущую способность грунтов, уменьшить степень влажности, то есть осушить грунты и др.

С практической точки зрения, по принципу соотношения фаз грунты делятся на три группы.

Однофазные – это сухие (обычно песчаные) грунты, состоящие из твердой и газообразной фаз. Однофазными их называют потому, что газообразная фаза практически не влияет на свойства грунтов.

Двухфазные – это водонасыщенные грунты, то есть состоящие из твердой и жидкой фаз.

Трехфазные – это грунты, в порах которых содержится вода и воздух, при этом воздух (свободный или адсорбированный) значительно влияет на свойства грунтов.

Главной составляющей грунта является его твердая фаза, которая и определяет его классификационное положение и основные физико-механические свойства.

Общая классификация грунтов включает в себя следующие классификационные (таксономические) единицы:

класс – по характеру связей;

группа – по происхождению;

подгруппа – по условиям образования;

тип – по петрографическому составу, гранулометрическому составу, и степени его неоднородности, числу пластичности;

вид – по структуре, текстуре, составу цемента, плотности сложения, относительному содержанию и степени разложения органических веществ, по способу образования грунтов и степени уплотнения;

разновидность – по физико-механическим, химическим свойствам и состоянию.

В табл. 34 дана общая классификация грунтов по классам, типам, группам и подгруппам. Классификация грунтов по видам и разновидностям будет рассматриваться в разделе “Характеристика грунтов”.

Общая (практическая) классификация грунтов

Таблица 34

Класс		Группы		Подгруппы	Типы
Название	Инженерно-геологические особенности	Название	Инженерно-геологические особенности		
1	2	3	4	5	6
		Магматические	Кристаллизационная структурная связь. Контакт минеральных зерен непосредственный. Прочность высокая, растворимость слабая	Глубинные (интрузивные)	граниты, диориты, габбро, диабазы
				излившиеся (эффузивные)	базальты, андезиты, трахиты, туфы
		Метаморфические	То же, но с характерной анизотропией	регионально-метаморфические	гнейсы, кварциты, сланцы
				контактово-метаморфические	мраморы, кварциты
				динамометаморфические	брекчии, милониты
	Кристаллизационные структурные связи вы-				

1	2	3	4	5	6
Скальные (с жесткими кристаллизационными связями)	сокая прочность мало изменяющаяся при водонасыщении	Осадочные сцементированные	Кристаллизационная структурная связь, но контакт зерен через цементирующее вещество. Прочность и растворимость определяется цементом	сильно сцементированные	песчаники, алевролиты, аргиллиты
				химически осажденные и органогенные	опока, трепел, гипс, галит
				смешанные органосцементированные	мел, мергель, глинистый песчаник
		Искусственные скальные	То же, но только созданные искусственно и зависящие от начального естественного состояния	закрепленные скальные	силикатизированные и битумизированные
				окаменелые дисперсные	цементированные, силикатизированные
	Структурные связи физической природы. Невысокая прочность, зависящая от водонасыщения	Осадочные обломочные несвязные	Слабые молекулярные в сухом и капиллярно-структурные во влажном состоянии. Водопроницаемость значительная	крупнообломочные (элювиальные, аллювиальные, водно-ледниковые, озерные)	валун, гравий, галька
				песчаные (элювиальные, делювиальные, водно-ледниковые, озерные, морские)	пески разной крупности и супеси легкие

1	2	3	4	5	6
Дисперсные (без жестких кристаллизационных связей)	Те же	Осадочные глинистые и лессовые породы и илы	Молекулярные, капиллярные, магнитные структурные связи в зависимости от влажности. Водопроницаемость незначительная но влажность определяет прочностные свойства грунтов	лессовые и те же разновидности	лессы и лессовидные породы
				илы	илы и наносные грунты
				глинистые и те же разновидности	супеси тяжелые, суглинки, глины
		Почвы и фитогенные породы	Молекулярные и капиллярные структурные связи. Свойства зависят от влажности и содержания органического вещества	торфы	слабо-, средне-, хорошо и сильно разложившиеся
				почвы	подзолистые, болотные, лесостепные и каштановые
		Искусственные дисперсные грунты	Различные структурные связи. Свойства зависят от способа получения связей	сильно измененные	битуминизированные и термически закрепленные
				значительно измененные	насыпные, намывные и уплотненные

Общее представление об особенностях литолого-генетических типов грунтов позволяет иметь карта, представленная на рис. 146.

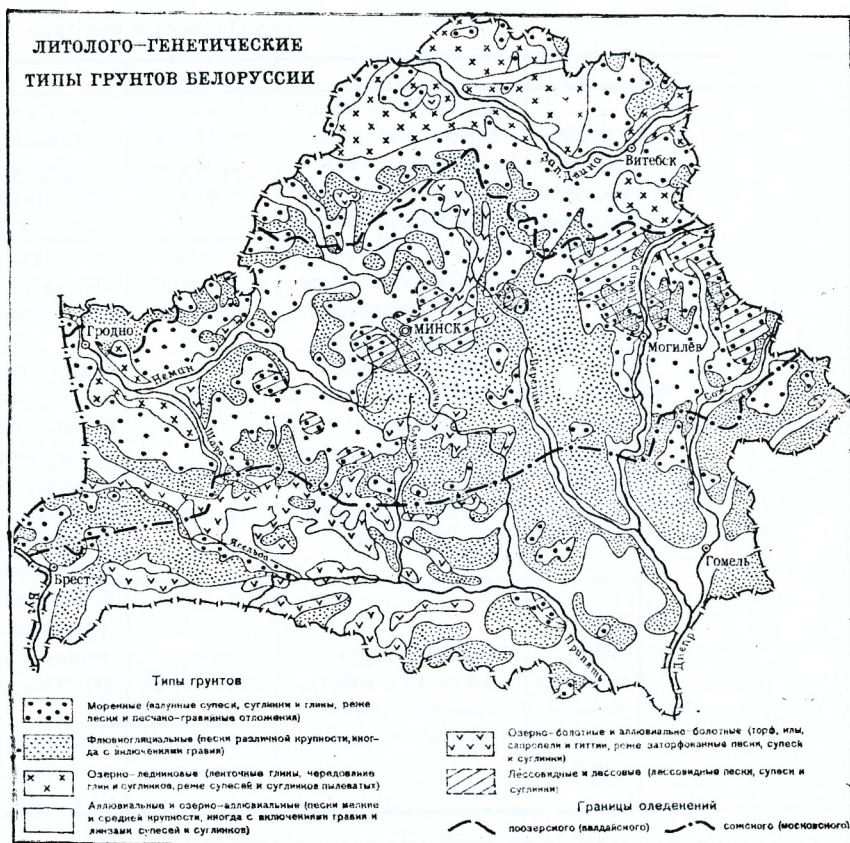


Рис. 146 Карта литолого-генетических типов грунтов Беларуси.

9.2 ВЕЩЕСТВЕННЫЙ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГРУНТОВ

Твердая фаза грунта включает в себя как минеральную, так и органическую части. Минеральная часть состоит из первичных и вторичных минералов. Первичные минералы переходят в состав грунта из материнской породы, а вторичные — образуются в массиве грунта в результате множества физико-химических процессов.

Обычно первичные минералы представлены обломками полевых шпатов, слюд, кварца и карбонатов, и они образуют скелет грунтов. Вторичные минералы представлены глинистыми минералами (монтмориллонит, каолинит, гидрослюды), окислами и гидроокислами, гидратами алюминия, кремния, железа, а они являются цементирующим веществом.

Следует отметить, что содержание глинистых минералов (монтмориллонит) и водорастворимых минералов (галит) оказывает большое влияние на свойства грунтов.

Грунты также содержат то или иное количество органических примесей в виде таких органических веществ как торф и гумус.

Торф представляет собой грубую полуразложившуюся массу растительных остатков (древесно-кустарниковой и травянистой растительности) с различной степенью разложения.

Гумус – это сложный комплекс органо-минеральных соединений, образовавшихся в результате биохимических превращений, связанных с жизнедеятельностью различных микроорганизмов. В состав гумуса входят кислород, углерод, водород и азот.

Наличие органического вещества придает грунтам повышенную влагоемкость, пластичность, сильное набухание и низкую водопроницаемость и водоотдачу.

Как отмечено выше любой грунт состоит из обломков минералов и пород самого различного размера. Обломки (частицы), близкие по размеру и сходные по свойствам, объединяются в строительной практике в группы, называемые фракциями.

Количественное содержание этих фракций в грунтах называется гранулометрическим составом (грансоставом) грунтов.

В табл. 35 приведены основные расчетные фракции рыхлых и связных грунтов.

Гранулометрический состав рыхлых грунтов (песок, гравий и др.) определяют ситовым методом, для чего грунт высушивают до воздушно-сухого состояния и затем рассеивают через стандартные сита с размерами отверстий – > 10 ; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 мм.

Наименование фракций	Диаметр частиц, мм
1	2
Валуны (окатанные) и глыбы (неокатанные)	Более 200
Галька (окатанная) или щебень (угловатый)	200 - 20
Гравий (окатанный) или дресва (угловатая)	
крупные	20 - 10
средние	10 - 4
мелкие	4 - 2
Песчаные частицы:	
очень крупные	2,0 - 1,0
крупные	1,0 - 0,5
средние	0,5 - 0,25
мелкие	0,25 - 0,1
очень мелкие	0,1 - 0,05
Пылеватые частицы:	
крупные	0,05 - 0,01
мелкие	0,01 - 0,005
Глинистые частицы:	
грубые	0,005 - 0,001
тонкие	< 0,001

Гранулометрический состав связных грунтов (супесей, глин, суглинков) определяют с помощью специальных приборов методами отмучивания, отбора проб суспензий пипеткой и ареометрическим методом.

Все эти методы позволяют разделить частицы, размер которых $< 0,25$ мм, путем учета скорости падения частиц в спокойной воде после их взмучивания. Наиболее распространены пипеточный метод и ареометрический методы. Однако наиболее достоверные результаты дает пипеточный метод, выполняемый с помощью прибора, показанного на рис. 147.

В составе грунтов, кроме отдельных частиц (монозерен), могут быть и агрегаты, то есть группы зерен, сцементированных между собой. Поэтому в практике применяются три способа подготовки проб грунтов к гранулометрическому анализу: микроагрегатный, полудисперсный и дисперсный.

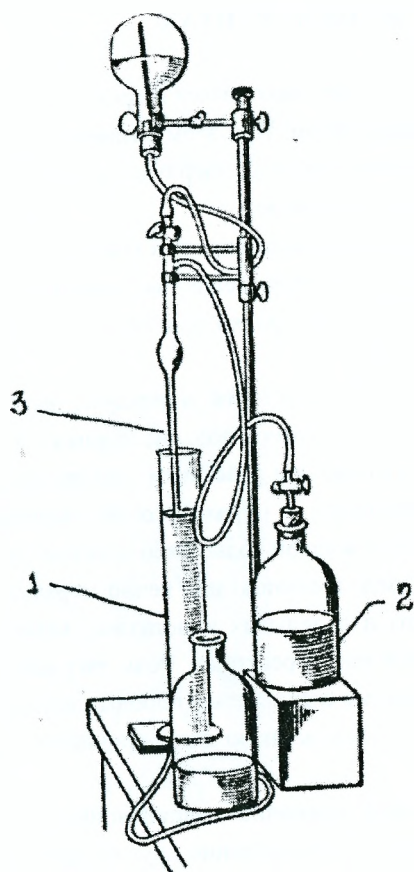


Рис. 147 Прибор для гранулометрического анализа пипеточным методом: 1 -сосуд с грунтовой суспензией; 2 -аспирационный прибор; 3 -пипетка для отбора пробы.

При микроагрегатной подготовке агрегаты разрушаются до микроагрегатов или отдельных частиц, полудисперсной – разрушаются даже ультрамикроагрегаты, то есть остаются только монозерна.

9.3 ФОРМЫ ВОДЫ В ГРУНТАХ

Вода в грунтах может находиться в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном. При этом различают следующие виды: химически связанную, парообразную, твердую, гигроскопическую, пленочную, капиллярную и гравитационную.

Химически связанная вода входит в состав минералов (гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), то есть одна молекула вещества связывает две молекулы воды). Удалить такую воду можно только под воздействием на минерал высоких температур и давления.

Парообразная вода находится в воздухе, который заполняет поры грунта. Количество парообразной воды не превышает 0,001% массы грунта. Следует отметить, что пар под действием градиентов температуры и давления активно перемещается в порах. Это обуславливает формирование в отдельные сезоны года жидкой воды, либо прослоек и линз льда.

Твердая вода (лед) в сезонно или вечно мерзлых грунтах находится в виде прослоек, линз и отдельных кристаллов, находящихся между минеральными частицами или агрегатами. Роль твердой воды велика, так как она цементирует рыхлые и глинистые породы, повышая их прочность. При переходе твердой воды в жидкую воду прочность пород наоборот резко снижается.

Гигроскопическая, пленочная, капиллярная и гравитационная форма воды редко наблюдается обособленно друг от друга. Граница между ними относительная. В естественных условиях постоянно наблюдается переход одной формы воды в другую.

По степени подвижности выделяют физически связанную воду (гигроскопическую и пленочную) и свободную (капиллярную и гравитационную) (рис. 148).

Гигроскопическая вода прочно связана молекулярными силами и она формируется на поверхности минеральных частиц толщиной до 15 - 20 молекул. Источником этой воды являются водяные пары. Предельное содержание этой воды в грунтах называют максимальной гигроскопичностью.

Наибольшее значение максимальной гигроскопичности характерно для глинистых грунтов (20 - 30%) и она зависит от минералогического и гранулометрического состава. по своим свойствам она отличается от свободной влаги: плотность – $1,5 \text{ г/см}^3$, слабая растворяющая способность и низкая температура замерзания.

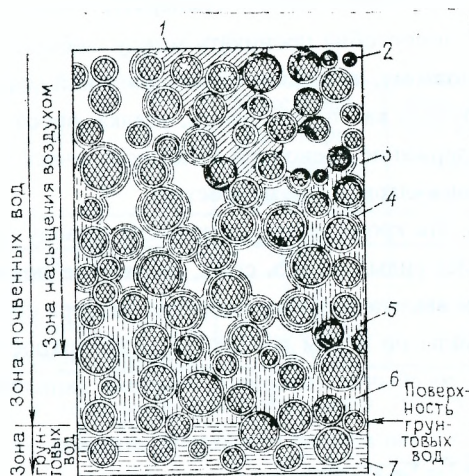


Рис. 148 Форма воды в грунтах: 1 - гравитационная вода; 2 - частицы грунта, окруженные пленками гигроскопической воды; 3 - воздух с водяными парами; 4 - пленочная вода, состоящая из адсорбционной воды, собственно капиллярной и подвешенной капиллярной воды; 5 - капиллярная вода с открытой поверхностью; 6 - капиллярная вода в замкнутых капиллярах; 7 - грунтовые воды.

Гигроскопическая вода прочно связана молекулярными силами и она формируется на поверхности минеральных частиц толщиной до 15 - 20 молекул. Источником этой воды являются водяные пары. Предельное содержание этой воды в грунтах называют максимальной гигроскопичностью.

Наибольшее значение максимальной гигроскопичности характерно для глинистых грунтов (20 - 30%) и она зависит от минералогического и гранулометрического состава. по своим свойствам она отличается от свободной влаги: плотность – 1,5 г/см³, слабая растворяющая способность и низкая температура замерзания.

Пленочная вода, также как и гигроскопическая, удерживается молекулярными силами, обволакивая минеральные частицы пленками в 1-2 молекулы. Пленочная вода способна активно передвигаться от толстых пленок к тонким, особенно в направлении низких температур. Замерзает она при температуре – 3°- 4°С и способна проникать между любыми частицами и расклинивать их. Вот поэтому, именно наличие пленочной воды обуславливает такие свойства грунтов как пластичность, усадка, просадка и набухание. Максимальное содержание пленочной и гигроскопической воды называют максимальной молекулярной влагоемкостью.

Следует отметить, что кроме молекулярных сил на воду действуют капиллярные (менисковые) силы, то есть силы, способные поднять воду по порам грунта. При этом высота подъема зависит от размера пор.

Так как подъем воды по порам происходит с поверхности грунтовой воды или верховодки, то обычно говорят о создании капиллярной каймы (зоны) (рис. 149).

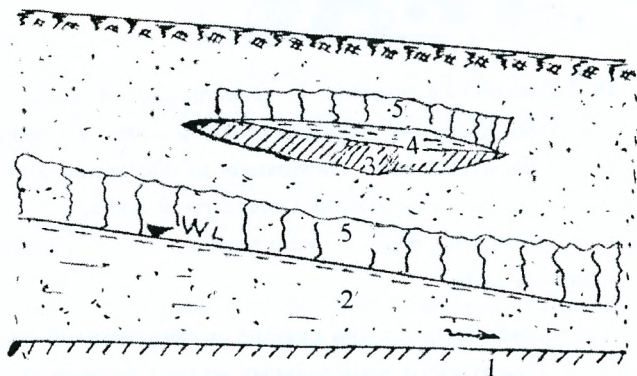


Рис. 149 Схема формирования капиллярной каймы: 1 - водоупор; 2 - грунтовый поток; 3 - линза; 4 - верховодка; 5 - капиллярная зона (кайма).

Капиллярная вода оказывает капиллярное давление на грунт и $P_K = h_K \cdot \rho$, где h_K - высота капиллярной зоны, м; ρ - плотность, т/м³.

Передвигается капиллярная вода под действием разности температур. Она способна растворять минералы и именно она обуславливает засоление почв, снижение несущей способности грунтов, появление сырости в подвалах и т.д. Основные характеристики этих видов воды приведены ниже (табл. 36).

Связь видов грунтов с видами воды

Таблица 36

Грунты	Максимальная гигроскопическая влажность, %	Максимальная молекулярная влагоемкость, %	Высота капиллярного подъема, м
1	2	3	4
Песок кварцевый	0,24	0,76	0,3 - 0,6
Суглинок	3,18	11,82	1,2 - 1,6
Глина коалинитовая	22,89	33,25	3,0 - 4,0
Глина монтмориллонитовая	31,46	134,5	—

Гравитационная вода заполняет поры грунта и передвигается под влиянием силы тяжести, то есть сил гравитации. Гравитационная вода создает гидростатическое давление на грунт и инженерные сооружения, может служить для целей водоснабжения и создает затруднения при производстве строительных работ.

9.4 ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Содержание и передвижение воды в грунтах (горных породах) возможно только при наличии в них различных пустот (пор, трещин, каверн), соединяющихся между собой. При этом если в скальных и полускальных грунтах вода располагается в трещинах, то в нескальных – в порах.

К водным свойствам грунтов относятся их водопроницаемость, влагоемкость, влажность, водоотдача и растворимость.

Водопроницаемость – способность грунтов пропускать гравитационную (свободно текущую) воду через поры и трещины. Очевидно, чем больше размер пор и трещин, тем выше водопроницаемость грунтов. Однако не следует забывать, что водопроницаемость определяется не пористостью, а размерами пор. Например, глина, имея пористость до 60 %, воду практически не пропускает. Водопроницаемость пород характеризуется коэффициентом фильтрации (K_f). По величине K_f все грунты делятся на три группы: водопроницаемые – $K_f < 0,001$ м/сут (глины и массивные породы). В строительной практике все водонепроницаемые грунты называют водоупорами, а полупроницаемые и проницаемые – водопроницаемыми.

Влажность – это отношение массы воды (m_a) к массе сухой породы (m_c), то есть

$$W = \frac{m_a}{m_c}, \quad (41)$$

Тесную связь с влажностью имеет такая характеристика, как степень влажности (S_r)

$$S_r = \frac{W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w}, \quad (42)$$

где ρ_s и ρ_w – соответственно плотность частиц грунта и воды, т/м³; e – коэффициент пористости грунта, доли единицы.

Степень влажности показывает долю заполнения пор водой, и поэтому при $S_r < 0,5$ – грунты относят к маловлажным, $S_r = 0,5-0,8$ – влажным и $S_r > 0,8$ – к насыщенным водой. Для сухих рыхлых грунтов (пески) $S_r = 0$, а сухих связных грунтов (глин) $S_r = 0,3-0,4$, так как вода в глинах может находиться в закрытых порах.

Влагоемкость – это способность грунтов вмещать и удерживать в себе воду. В случае, когда все поры заполнены водой (грунт находится в состоянии полного водонасыщения), влажность, отвечающая этому состоянию, называется полной влагоемкостью и $W_{n.s.} = \frac{n}{\rho_d}$, где n – пористость, доли единицы, а ρ_d – плотность грунта в сухом состоянии, т/м³.

Максимальное значение полной влагоемкости соответствует величине пористости грунтов. По степени влагоемкости грунты подразделяют на весьма влагоемкие (торф, суглинки, глины), слабо влагоемкие (мел, мергель, песчаники, пески мелкозернистые, лессы) и невлагоемкие (крупные пески, гравий и галечник).

Водоотдача – это способность грунтов, насыщенных водой, отдавать гравитационную воду в виде свободного стока. Величина водоотдачи может быть выражена процентным отношением объема свободно вытекающей из породы воды к объему породы, или количеством воды, вытекающей из 1 м³ грунтов (удельная водоотдача). Наибольшей водоотдачей обладают крупнообломочные породы, пески и супеси, водоотдача которых колеблется в пределах $\mu=25\text{--}43\%$. Эти породы под влиянием силы тяжести способны отдавать почти всю имеющуюся в их порах воду. В глинистых грунтах водоотдача близка к нулю.

9.5 ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ

Для всех грунтов характерна пористость, то есть наличие пор, трещин, пустот и т.д., образование которых связано с условиями их происхождения, воздействием процессов выветривания и инженерной деятельностью.

Наиболее плотными являются массивные кристаллические породы. Пустотность в них обусловлена трещиноватостью. При этом наибольшая пустотность характерна для магматических излившихся и скальных водонасыщенных грунтов.

Значительной пустотностью (пористостью) обладают рыхлые и связные глинистые грунты, для которых характерна как межчастичная пористость, так и пустотность биологического и механического происхождения (корни растений, ход землероек, усадочные трещины, карстовые образования).

Пористость – это суммарный объем всех пор (пустот) в единице объема грунта, то есть

$$n = \frac{V_n}{V} \cdot 100 \%, \quad (43)$$

где V_n - объем пор; а V - объем грунта, см^3 .

Она зависит от дисперсности грунта, и чем мельче частицы, тем больше пористость. Обычно пористость песков не превышает – 25-35%, а глин – 65-75%.

Объемное соотношение пустот (пор) и твердой фазы (твердых частиц) характеризуется коэффициентом пористости и

$$e = \frac{V_n}{V_s}, \quad (44)$$

где V_n и V_s - соответственно объем пор и объем твердых частиц, см^3 .

Между этими характеристиками существует следующая связь:

$$e = \frac{n}{100 - n}; \quad n = \frac{e}{1 + e} \cdot 100 \%. \quad (45)$$

С пористостью тесно связаны плотность грунта (ρ), под которой понимается масса единицы объема грунта, плотность сухого грунта (ρ_d), характеризующая отношение массы грунта за вычетом массы воды и льда в его порах к его первоначальному объему и плотность частиц грунта (ρ_s), определяемая как масса единицы объема твердых (скелетных) частиц грунта.

Расчетные формулы имеют следующий вид:

$$\rho = \frac{m}{V};$$

$$\rho_s = \frac{m_{m.z.}}{V_{m.z.}}; \quad (46)$$

$$\rho_d = \frac{m_{c.z.p.}}{V} = \frac{\rho}{1 + 0.01 \cdot W},$$

где m , $m_{c.z.p.}$, $m_{m.z.}$ - соответственно масса грунта в природном и сухом состоянии и масса твердых частиц, г; V - объем грунта, см^3 ; $V_{m.z.}$ - объем твердых частиц, см^3 ; W - влажность грунта, %.

Плотность грунта колеблется в больших пределах – от 0,6-0,9 г/см³ (пемза и торф) до 1,8-2,1 г/см³ (глины), и зависит от плотности сложения.

Плотность частиц грунта изменяется от 2,4 г/см³ до 2,8 г/см³ (грунты, состоящие из “тяжелых” минералов).

9.6 ПРИРОДА И ХАРАКТЕР ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТОВ

Под действием внешних сил в грунтах происходят деформации, которые делятся на упругие, остаточные и полные.

Под упругой деформацией понимается процесс возвращения частиц деформируемого тела в прежнее положение. В грунтах этот вид деформации даже при незначительных нагрузках всегда сопровождается остаточными деформациями, то есть такими, когда частицы грунта остаются в положении, полученном при действии нагрузки.

В грунтах остаточные деформации в десятки раз превосходят упругие. Сумма остаточной и упругой деформаций составляет полную деформацию.

Н.А. Цытович считает, что упругие деформации проявляются в виде изменений объема и искажения формы, возникающих в результате действия молекулярных сил упругости твердых частиц, тонких пленок воды и замкнутых пузырьков воздуха.

Остаточные деформации проявляются в виде уплотнения (уменьшение пористости при нагрузке, превышающей давление набухания), набухания (расклинивающий эффект как результат действия электромагнитных сил), пластических искажений формы (взаимные сдвиги частиц) и разрушения структуры (нарушения связи между частицами и излом частиц).

Для глинистых пород деформации во многом связаны с нарушением природных условий (например, дополнительная нагрузка или разгрузка). Поэтому в промежуток времени между разгрузкой (земляные работы) и нагрузкой (возведение сооружения) происходит деформация глинистого основания, то есть ухудшение его сопротивлению сжатию.

Следует отметить, что характер деформаций грунтов во многом определяется физико-химическими свойствами грунтов. Это группа коррозионных, диффузных, осмотических, адсорбционных свойств, а также набуха-

ние, усадка, усадка, водопрочность, размягчаемость и морозостойкость грунтов.

Коррозия грунта определяется коррозионной активностью грунта по отношению к металлам и зависит от характера воздействия грунтовых вод, блуждающих токов и микроорганизмов.

В целом коррозионная активность зависит от химико-минералогического состава грунтов и грунтовых вод, влажности, содержания газов, электропроводности и бактериального состава.

Диффузионные и осмотические свойства определяются самопроизвольным выравниванием концентрации химических элементов в системе "твердая - жидкая - газообразная фаза". Перемещение ионов и молекул воды вызывает деформации набухания, усадки и просадки грунта.

Все адсорбционные свойства определяются механической, физической, химической, биологической и физико-химической обменной поглощательной способностью грунтов. Поглощательная способность грунтов обуславливает уменьшение водопроницаемости, снижение фильтрационной способности, формирование солевых прослоек и уменьшение пластичности.

Под набуханием грунта понимается увеличение объема грунта (до 3-7%) в процессе его смачивания, с соответствующим уменьшением его связности.

Под усадкой понимают обратный процесс, то есть уменьшение его объема в результате удаления воды при высыхании или под влиянием физико-химических процессов. При усадке грунт становится твердым и трещиноватым, при этом усадочные трещины могут проникать на глубину 5-7 м, а объемная усадка может превышать линейную в 3-4 раза. Сжимающая сила при этом может достигать до 10 МПа.

Просадка грунта также связана с уменьшением объема грунта, но проявляется она не при уменьшении влажности, а при их увлажнении. Просадка характерна только для лессовых грунтов.

Все остальные свойства (водопрочность, растворимость и размягчаемость) обусловлены изменением механической прочности и устойчивости грунтов при взаимодействии их с водой.

Более подробно эти свойства рассмотрены в соответствующих разделах, но в целом, как показывает анализ, они зависят от гранулометрического и минералогического состава и строения грунта.

Наиболее опасна для зданий и сооружений неравномерная осадка, то есть неодинаковое сжатие пород в основании, вызывающие деформации в виде трещин, крена и перегиба.

Предельные деформации основания

Таблица 37

No п/п	Сооружения	Предельные деформации		
		относительная разность осадок $(\Delta S/L)_U$	крен i_U	средняя осадка S_U , см
1	2	3	4	5
1	Производственные и гражданские здания с полным каркасом	0,002	—	8
2	Здания и сооружения, в конструкциях которых не возникают усилия от неравномерных осадок	0,006	—	15
3	Многоэтажные бескаркасные здания с несущими стенами из панелей или крупных блоков	0,0016	0,005	10
4	Дымовые трубы высотой до 100 м	—	0,005	40
5	Жесткие сооружения высотой до 100 м	—	0,004	20
6	Антенные сооружения связи	0,001	0,001	10

Характер деформаций сооружений зависит от их конструкции. Абсолютно жесткие сооружения (дымовые трубы, элеваторы, силосные корпуса) не чувствительны к неравномерным осадкам, но в результате осадок может образоваться общий крен сооружения. Относительно жесткие сооружения

(здания с железобетонными каркасами, железобетонные рамные и неразрезные конструкции) наиболее чувствительны к неравномерным осадкам, реагируя на них главным образом прогибами и перегибами.

Не жесткие сооружения (гражданские и промышленные здания с несущими кирпичными стенами, гибкие днища резервуаров и др.) могут безопасно выдерживать как осадку, так и перегиб, если они происходят в допустимых пределах.

В соответствии со СНиП 2.02.01-83 предельные деформации оснований не должны быть больше рекомендуемых, указанных в табл. 34.

9.7 МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ

Из механических свойств грунтов наибольшее значение имеют показатели сжимаемости и сопротивление сдвигу. Эти показатели зависят от влажности, пористости и характера связей между частицами грунта. Например, с повышением влажности и пористости увеличивается сжимаемость и снижаются показатели сопротивляемости сдвигу.

Под сжимаемостью понимают уменьшение объема грунта за счет сокращения общей величины пористости грунтов.

Наибольшей сжимаемостью обладают торфянистые и глинистые грунты.

При сжатии трехфазного грунта уменьшение объема происходит за счет вытеснения газовой среды, а затем и жидкой фазы. Нагрузка постепенно передается на твердую фазу.

Степень сжатия характеризуется степенью изменения пористости. Кривая, выражающая зависимость между давлением на грунт и коэффициентом пористости, называется компрессионной кривой (рис. 150).

При сжатии песчаных грунтов характерно быстрое уменьшение объема за счет взаимного перемещения и разрушения частиц. Воздушная фаза при этом вытесняется в атмосферу. Изменение же объема глинистых грунтов под нагрузкой происходит медленно. При этом пористость может уменьшаться во времени при одном и том же давлении.

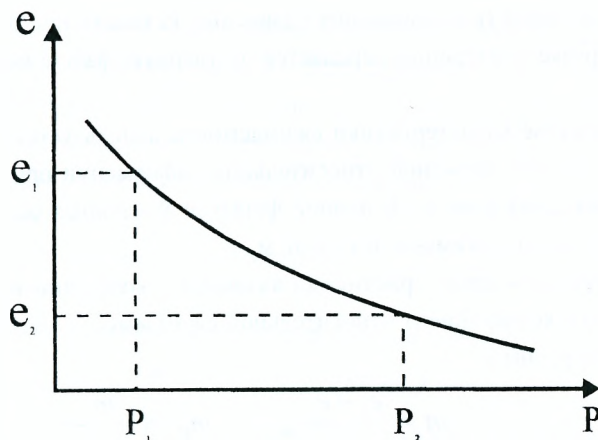


Рис. 150 График компрессионной кривой.

Кривая, показывающая уменьшение коэффициента пористости во времени при не изменяющемся давлении, называется кривой консолидации (рис. 151).

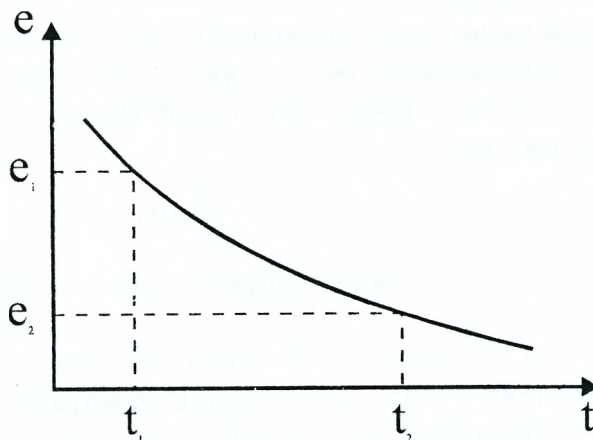


Рис. 151 График консолидационной кривой.

Сжатие водонасыщенных грунтов представляет собой случай, ибо первоначально нагрузка воспринимается жидкой фазой (водой), а как известно вода практически несжимаема. Твердая фаза при этом испытывает только

гидростатическое (взвешивающее) давление. И только при боковом сжатии воды нагрузка постепенно передается на твердую фазу с последующим ее сжатием.

В качестве характеристики сжимаемости используется модуль осадки $-e_p = S_i/h$, то есть величина относительной деформации при данном давлении, выражаемая в мм/м. В данной формуле S_i - полная осадка (мм), а h - начальная высота сжимаемой толщи, м.

Расчетными характеристиками являются – коэффициент сжимаемости грунта (m) и коэффициент относительной сжимаемости (m_v), которые соответственно равны:

$$m = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1}; \quad m_v = \frac{m}{1 + e_0}, \quad (47)$$

где e_0 - начальный коэффициент пористости грунта. Значение e_1 , e_2 , p_1 и p_2 ясны из рис. 151.

По величине сжимаемости грунты делятся на сильносжимаемые, среднесжимаемые и слабосжимаемые.

Не менее важной характеристикой является и модуль общей деформации, который как и для упругих тел, характеризует коэффициент пропорциональности между напряжениями и относительными деформациями и он соответственно равен

$$E = \frac{1 + e_0}{m_v} \cdot \beta, \quad (48)$$

где β - коэффициент бокового расширения грунта, изменяющийся от 0,4 (глины) до 0,8 (пески).

Некоторое практическое значение имеет и коэффициент поперечного расширения грунта (коэффициент Пуассона), характеризующий соотношение вертикальных и горизонтальных деформаций, то есть

$$\nu = \frac{e_x}{e_y} = \frac{\xi}{1 + \xi}, \quad (49)$$

где ξ - коэффициент бокового давления, определяющий соотношение приращений горизонтального и вертикального давления на грунт.

Величина ξ изменяется для песков в пределах 0,25-0,37, для глин – 0,11-0,82, а величина ν соответственно - (0,21-0,29) и (0,3-0,4).

Основными показателями сопротивления сдвигу являются угол внутреннего трения (μ) и удельное сцепление (c). Это прочностные характеристики грунтов. Они являются переменными величинами и зависят от давления и условий сжатия грунта.

На рис. 152 приведен общий вид графика предельных сопротивлений грунтов сдвигу.

Эти графики описываются следующими уравнениями

$$\tau_{np.} = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad \text{и} \quad \tau_{np.} = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (50)$$

которые и выражают закон Кулона для сыпучих и связных грунтов.

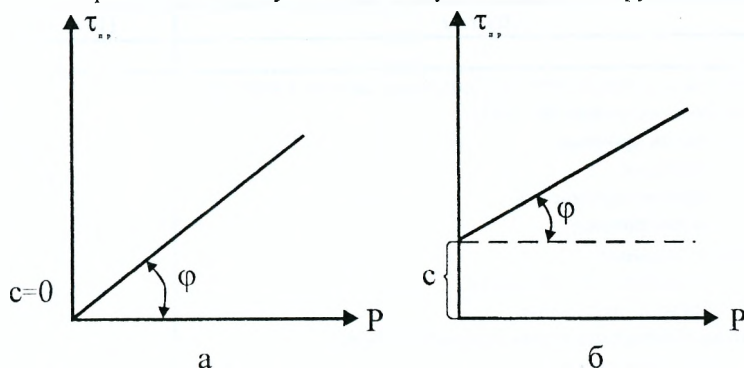


Рис. 152 Графики предельных сопротивлений песчаных (а) и глинистых (б) грунтов.

9.8 ХАРАКТЕРИСТИКА СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

Класс скальных грунтов объединяет магматические, метаморфические и осадочные породы в кристаллическом состоянии (граниты, базальты, гнейсы), залегающие в виде сплошного массива или трещиноватого слоя. Они несжимаемы и практически водонепроницаемы. Основные разновидности скальных грунтов представлены в табл. 38.

Коэффициент размягчаемости грунтов в воде представляет отношение пределов прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном и воздушно-сухом состоянии, а степень засоленности – суммарное содержание солей в % от массы абсолютно сухого грунта.

Со строительной точки зрения наибольшее значение имеет прочность грунтов при различных видах напряжений. В табл. 39 приведены значения прочности наиболее распространенных грунтов при различных видах напряжений, выраженных в долях от прочности на одноосное сжатие.

Основные разновидности скальных грунтов

Таблица 38

Грунты	Показатели
1	2
А. По пределу прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии R_c , МПа:	
очень прочные	$R_c > 120$
прочные	$120 \geq R_c > 50$
средней прочности	$50 \geq R_c > 15$
малопрочные	$15 \geq R_c > 5$
Полускальные:	
пониженной прочности	$5 \geq R_c > 3$
низкой прочности	$R_c < 1$
Б. По коэффициенту размягчаемости в воде:	
неразмягчаемые	$K_{sof} \geq 0,75$
размягчаемые	$K_{sof} < 0,75$
В. По степени засоленности полускальных грунтов, %:	
незасоленные	Менее 2
засоленные	2 и более
Г. По степени растворимости в воде для осадочных сцементированных грунтов, г/л:	
нерастворимые	Менее 0,01
труднорастворимые	0,01...1
среднерастворимые	1...10
легкорастворимые	Более 10

Высокие прочностные свойства для этих пород объясняются наличием в их структурах кристаллических связей, которые возникают при раскры-

сталлизации магмы, либо в процессе метаморфизма, либо в результате цементации рыхлых образований.

*Значение прочности скальных грунтов
при различных видах напряжений*

Таблица 39

Грунты	Растяжение	Изгиб	Сдвиг
1	2	3	4
Граниты	0,02 - 0,04	0,08	0,09
Песчаники	0,02 - 0,05	0,06 - 0,2	1,1 - 1,12
Известняки	0,04 - 0,1	0,08 - 0,1	0,15

Скальные грунты низкой и пониженной прочности объединяются в разновидность полускальных, для которых характерна некоторая способность к пластической консолидации. Под нагрузкой они способны уплотняться.

Их строительной характеристикой является коэффициент уплотнения, модуль деформации и сопротивление сдвигу.

Не менее важной характеристикой является и их устойчивость к воде (растворение и размягчение). Особенно сильно размягчаются грунты, содержащие много глинистых минералов, а также грунты, способные при их увлажнении переходить из одного вида в другой (например, ангидрит в гипс).

После размягчения несущая способность грунтов уменьшается, изменяется величина сопротивления сдвигу, появляется или повышается способность консолидироваться под нагрузкой.

Для многих полускальных грунтов важной характеристикой является трещиноватость, так как грунт в массиве, будучи рассеченным многочисленными трещинами, может быть неустойчивым основанием сооружений.

Трещиноватость грунтов бывает различного характера и происхождения. Выделяют трещины горообразования, напластования, выветривания и трещины отдельности. Степень трещиноватости определяют визуально или путем бурения скважин и нагнетания в них воды.

9.9 ХАРАКТЕРИСТИКА КРУПНООБЛОМОЧНЫХ И ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

Следует отметить, что эти грунты являются разновидностью дисперсных (без жестких связей) грунтов, основная характеристика которых представлена в табл. 40.

Крупнообломочные и песчаные грунты подразделяют на типы в зависимости от гранулометрического состава (табл. 41).

По степени влажности S_r крупнообломочные и песчаные грунты подразделяются на маловлажные ($0 < S_r \leq 0,5$), влажные ($0,5 < S_r \leq 0,8$) и насыщенные водой ($0,8 < S_r \leq 1,0$).

Характеристика дисперсных (без жестких связей) грунтов

Таблица 40

Группы и подгруппы дисперсных грунтов	Характеристика
1	2
Осадочные и несцементированные	Несцементированные грунты, содержащие более 50% по массе обломков кристаллических или осадочных пород с размерами частиц более 2 мм
Песчаные	Сыпучие в сухом состоянии грунты, содержащие менее 50% по массе частиц крупнее 2 мм и не обладающие свойством пластичности (грунт не раскатывается в шнур диаметром 3 мм или число пластичности его $J_p < 1$)
Пылевато-глинистые	Связные грунты, для которых число пластичности $J_p \geq 1$

продолжение таблицы 40

1	2
Биогенные	Грунты с относительным содержанием органических веществ $J_{от.} \geq 0.1$ (озерные, болотные, озерно-болотные, аллювиально-болотные)
Почвы	Природные образования, слагающие поверхностный слой земной коры и обладающие плодородием
Искусственные, уплотненные в природном залегании, насыпные, намывные	Преобразованные различными способами или перемещенные грунты природного происхождения и отходы производственной и хозяйственной деятельности человека

Основные разновидности крупнообломочных
и песчаных грунтов

Таблица 41

Грунты	Размер частиц, d , мм	Масса воздушно-сухого грунта
1	2	3
<i>Крупнообломочные</i>		
Валунный (при преобладании неокатанных частиц – глыбовый)	$d > 200$	> 50
Галечниковый (при преобладании неокатанных частиц – щебенистый)	$d > 10$	> 50
Гравийный (при преобладании неокатанных частиц – дресвяный)	$d > 2$	> 50
<i>Песчаные</i>		
Песок гравелистый	$d > 2$	> 25
крупный	$d > 0,5$	> 50
средней крупности	$d > 0,25$	> 50
мелкий	$d > 0,1$	≥ 75
пылеватый	$d > 0,1$	< 75

Песчаные грунты подразделяют по плотности сложения на плотные, средней плотности и рыхлые. Плотность сложения может быть установлена по коэффициенту пористости e , и по результатам статического и динамического зондирования q_c и q_d (табл. 42).

Классификация песчаных грунтов по плотности

Таблица 42

Грунты	Плотность сложения		
	плотные	средней плотности	рыхлые
1	2	3	4
<i>По коэффициенту пористости</i>			
Пески гравелистые, крупные и средней крупности	$e < 0,55$	$0,55 \leq e \leq 0,7$	$e > 0,7$
Пески мелкие	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,75$	$e > 0,75$
Пески пылеватые	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,8$	$e > 0,8$
<i>По сопротивлению погружения конуса q_c, МПа, при статическом зондировании</i>			
Пески крупные и средней крупности независимо от влажности	$q_c > 15$	$15 \geq q_c > 5$	$q_c < 5$
Пески мелкие независимо от влажности	$q_c > 12$	$12 \geq q_c > 4$	$q_c < 4$
Пески пылеватые маловлажные и влажные водонасыщенные	$q_c > 10$ $q_c > 7$	$10 \geq q_c \geq 3$ $7 \geq q_c \geq 2$	3 2
<i>По условному динамическому погружению конуса q_d, МПа, при динамическом зондировании</i>			
Пески крупные и средней крупности независимо от влажности	$q_d > 12,5$	$12,5 \geq q_d \geq 3,5$	$q_d < 3,5$
Пески мелкие:			
маловлажные и влажные водонасыщенные	$q_d > 11$ $q_d > 8,5$	$11 \geq q_d \geq 3$ $8,5 \geq q_d \geq 3$	$q_d < 3$ $q_d < 2$
Пески пылеватые маловлажные и влажные	$q_d > 12,5$	$8,5 \geq q_d \geq 2$	$q_d < 2$

Прочность этих грунтов в значительной степени зависит от того, обломками каких пород они сложены. Наибольшую прочность дают магматические породы, а наименьшую – осадочные.

Общая прочность крупнообломочных грунтов связана с их плотностью.

Под нагрузкой крупнообломочные грунты практически не уплотняются и относятся к надежным основаниям. Для них характерна большая водопроницаемость, что обуславливает их слабую сопротивляемость сейсмическим воздействиям, и особенно, когда они находятся в водонасыщенном состоянии.

При содержании более 10% частиц размером < 2 мм, свойства крупнообломочных пород в значительной мере зависят от степени выветрелости обломков.

Иногда их делят на выветрелые и неветрелые.

В состав песчаных грунтов входят различные по крупности пески, лишённые структурных связей, и поэтому находящиеся в сыпучем или текучем состоянии. При их увлажнении они приобретают некоторую связность.

Наклон свободной поверхности (откос) песчаных грунтов называют углом естественного откоса.

В песчаных грунтах давление передается непосредственно от частицы к частице через точки их соприкосновения. Поэтому рыхлые пески легко переводятся в плотные вибрационными усилиями или воздействием фильтрационного потока. Под механическим давлением пески уплотняются незначительно и быстро. Наиболее прочными являются пески, в состав которых входят твердые химически стойкие минералы (кварцы, полевые шпаты). Это обеспечивает жесткость скелета грунта и поэтому пески обычно являются устойчивыми и надежными основаниями.

В табл. 43 приведены основные физико-механические свойства песчаных грунтов и их прогнозные характеристики по результатам статического и динамического зондирования.

*Основные физико-механические свойства
песчаных грунтов*

Таблица 43

Генетический тип	Диапазон изменений			Уравнения регрессии для прогнозных характеристик (q_3 - статическое, P_q - динамическое зондирование)
	плотности, г/см ³	плотности частиц, г/см ³	коэффициента пористости, e	
1	2	3	4	5
Флювиогляциальные пески	1,48...1,95	2,64...2,66	0,50...0,83	$\varphi = 47,39 - 23,9e$ $E = 104,07 - 117,79e$ $\varphi = 0,64 \cdot q_3 + 24,69$ $\varphi = 0,52 \cdot P_q + 28,34$ $E = 0,52 \cdot q_3 + 11,21$ $E = 2,99 \cdot P_q + 9,96$
Аллювиальные пески	1,59...1,79	2,61...2,66	0,48...0,80	$E = 2,69 \cdot q_3 + 7,45$ $E = 3,71 \cdot P_q + 3,86$

9.10 ХАРАКТЕРИСТИКА ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Эта группа образует важную инженерно-геологическую группу грунтов, составной частью которых являются глинистые и пылеватые частицы, образовавшиеся в результате механического распада, химического разложения и выветривания. Глинистые минералы с их огромной удельной поверхностью обуславливают особый тип связи между частицами. Эта связь осуществляется через пленочную влагу, которая обволакивает минеральные частицы и обуславливает действие молекулярных сил сцепления. Молекулярные силы способствуют увеличению связности и пластичности глинистых грунтов.

Механическая прочность этих грунтов зависит как от первичного сцепления, так и сцепления упрочнения, то есть сцепления за счет цементационных связей.

Свойства глинистых грунтов, как дисперсного вещества, во многом зависят от влажности. При содержании в грунтах только прочно связанной воды, они имеют свойства твердого тела. При рыхло связанной воде грунты становятся пластичными, а наличие свободной воды в порах грунта, уже обуславливает его текучее состояние.

Не менее важное значение имеет и минералогический состав. Пылеватые и песчаные частицы, представленные инертными к воде минералами (кварц, полевой шпат) играют второстепенную роль. Основные водно-физические свойства зависят от глинистых минералов, и особенно монтмориллонитовой группы.

Набухание и липкость глинистых грунтов во многом зависят от наличия обменных катионов. Катионы Na при этом способствуют увеличению набухаемости и липкости, а Ca – оказывают обратное действие.

Глинистые грунты служат наиболее распространенным основанием для строительства зданий и сооружений. Их особенностью является относительно большая сжимаемость и изменение свойств во времени. Построенные на глинистых грунтах здания и сооружения претерпевают осадку, которая может продолжаться годы и даже десятки лет. Это обусловлено их чувствительностью к изменению влажности.

Некоторые глинистые грунты при насыщении водой вначале размягчаются, затем переходят в пластичное состояние и, наконец, переходят в текучее состояние. Другая часть грунтов при изменении влажности может набухать или усаживаться (уменьшаться в объеме).

Под пластичностью понимают способность грунта деформироваться под действием внешнего давления без разрыва сплошности и сохранять приданную форму после прекращения деформирующего усилия.

Пластичное состояние проявляется в определенном диапазоне влажности, границами которого служат пределы пластичности (W_L и W_p): W_p – нижний предел пластичности (граница раскатывания) соответствует влажности (в %), ниже которой грунт переходит в твердое состояние; W_L – верх-

ний предел пластичности (граница текучести) соответствует влажности (в %), выше которой грунт переходит в текучее состояние (рис. 153).

Разность между W_L и W_p называют числом пластичности (J_p), то есть

$$J_p = W_L - W_p. \quad (51)$$

Число пластичности зависит от гранулометрического и минерального состава грунта и состава в нем обломочных катионов.



Рис. 153 График состояния глинистых грунтов в зависимости от влажности: I - твердое состояние; II - полутвердое; III - тугопластичное; IV - мягкопластичное; V - текучепластичное; VI - текучее.

Пылевато-глинистые грунты в зависимости от числа пластичности подразделяются на супеси ($I < J_p \leq 7$), суглинки ($7 < J_p \leq 17$) глины ($J_p > 17$).

Важнейшей классификационной характеристикой состояния пылевато-глинистых грунтов является показатель текучести (J_L)

$$J_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}. \quad (52)$$

Этот показатель характеризует консистенцию грунтов (табл. 44).

Пылевато-глинистые грунты текучей консистенции в качестве естественных оснований, как правило, не используются.

В подгруппе пылевато-глинистых грунтов выделяются лессовые грунты как обладающие специфическими и неблагоприятными свойствами. Ими

могут обладать и нелессовые глинистые грунты. Чаще всего к ним относят грунты, содержащие более 50 % пылеватых частиц с наличием солей, в основном карбоната кальция, и обладающие преимущественно макропористой структурой. Под действием внешней нагрузки или собственного веса при замачивании эти грунты развивают просадку.

*Значения показателя текучести в зависимости от
разновидности пылевато-глинистых грунтов*

Таблица 44

Грунты	Показатель текучести J_L
1	2
<i>Супеси</i>	
Твердые	$J_L < 0$
Пластичные	$0 < J_L \leq 1$
Текучие	$J_L > 1$
<i>Суглинки и глины</i>	
Твердые	$J_L < 0$
Полутвердые	$0 < J_L \leq 0,25$
Тугопластичные	$0,25 < J_L \leq 0,5$
Мягкопластичные	$0,5 < J_L \leq 0,75$
Текучепластичные	$0,75 < J_L \leq 1$
Текучие	$1 > J_L$

Для предварительной оценки к просадочным относят грунты со степенью влажности $S_r \leq 0,8$ и соблюдении критерия: величина J_{ss} должна быть меньше значений, приведенных в табл. 45.

$$J_{ss} = \frac{e_L}{1 + e}, \quad (53)$$

где e - коэффициент пористости грунта в природном состоянии; e_L - коэффициент пористости при влажности на границе текучести

$$e_L = \frac{w \cdot \rho_s}{\rho_w}, \quad (54)$$

где ρ_s и ρ_w - плотности твердых частиц грунта и воды, г/см³.

Значения показателя J_{ss}

Таблица 45

Число пластичности	$1 \leq J_p \leq 10$	$10 < J_p \leq 14$	$14 < J_p \leq 22$
Показатель J_{ss}	10	17	22

В подгруппе пылевато-глинистых грунтов выделяются и набухающие грунты, которые обладают свойством увеличиваться в объеме при увеличении их влажности.

К набухающим относят грунты с показателем $J_{ss} > 0,3$ и величиной относительного набухания $\varepsilon_{sw} \geq 0,04$

$$\varepsilon_{sw} = \frac{h_{0, sat} - h_0}{h_0}, \quad (52)$$

где $h_{0, sat}$ - высота образца грунта после свободного набухания в условиях невозможности бокового расширения при полном водонасыщении, см; h_0 - первоначальная высота образца при природной влажности, см.

В зависимости от величины ε_{sw} , определенной без нагрузки, грунты подразделяются на слабонабухающие ($0,04 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0,08$), средненабухающие ($0,08 < \varepsilon_{sw} \leq 0,12$) и сильнонабухающие ($\varepsilon_{sw} > 12$).

С физической точки зрения набухание происходит за счет утолщения пленок связанной воды и увеличения расстояния между частицами. Одновременно часть воды всасывается в кристаллические решетки монтмориллонита, что приводит к увеличению их размера.

При набухании грунт развивает давление до 500 кПа, а иногда и до 1000 кПа. Если учесть, что здания и сооружения оказывают на грунт основания давление не более 200-300 кПа, то вполне очевидно, что давление набухания очень разрушительно действует на здания и сооружения.

Набухающие грунты можно использовать в качестве оснований, если вредное действие их набухания не превышает допустимых пределов. Во всех остальных случаях необходимо проектирование мероприятий, обеспе-

чивающих статическую устойчивость и эксплуатационную пригодность (предварительная подготовка основания; применение глубоких фундаментов; проектирование конструктивных и водозащитных мероприятий).

Процесс, обратный набуханию называется усадкой. Усадка является следствием потери грунтом влаги, что и обуславливает уменьшение его объема.

Усадка приводит к появлению вертикальных трещин, заглубляющихся на глубине 1-2 м (рис. 154).

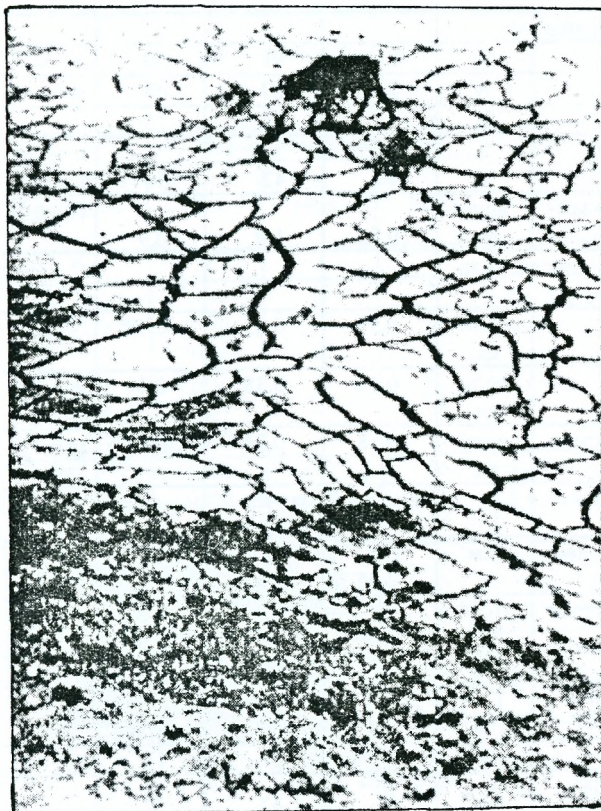


Рис. 154 Трещины усадки глинистых грунтов.

Таблица 45

Наименование показателей, свойства	Ед. изм	Величина			Уравнения регрессии для прогнозных характеристик (q_3 - статическое, P_q - динамическое зондирование)
		Наименьшая	наибольшая	средняя	
1	2	3	4	5	6
Состав по фракциям:					
глинистая	%	31	91	50	$\varphi = 32,57 - 0,18e - 0,38 \cdot W_L$
пылеватая	%	7	59	43	$\lg C = -0,01 - 0,3e - 0,65 \cdot I_L$
песчаная	%	1	20	15	
Естественная влажность	%	20	42	30	$E = 10,69 - 0,22 \cdot W - 0,43e$
Степень влажности	доли ед.	0,86	1,0	0,9	$C = 0,091 \cdot q_3 + 0,29$
Пределы и число пластичности:					$C = 0,039 \cdot P_q + 0,192$
верхний	доли ед.	0,37	0,63	0,48	
нижний	доли ед.	0,19	0,38	0,24	$\varphi = 20,87 - 0,48 \cdot P_q$
Число пластичности	доли ед.	0,18	0,34	0,22	$\lg \varphi = 0,267 - 0,011 \cdot q_3$
Консистенция		твердая	текуче-пластичная		
Плотность частиц	г/см ³	2,65	2,85	2,75	
Плотность грунта	г/см ³	1,80	2,07	1,89	
Пористость	%	40	45	43	
Относительное набухание	%	1,6	8,2	6,2	
Усадка	%	7	21	15	
Водопроницаемость	м/сут	$1 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	
Модуль деформации	Мпа	3,0	25,4	14,2	

продолжение таблицы 45

1	2	3	4	5	6
Угол внутреннего трения (консолид. сдвиг)	град	9	25	17	
Сцепление (консолид. сдвиг)	МПа	0,018	0,1	0,06	

*Физико-механические свойства моренных
пылевато-глинистых грунтов*

Таблица 46

Наименование грунта	Показатель текучести	Нормативные значения			Уравнения регрессии для деформационно-прочностных характеристик
		С, Мпа	φ , град.	Е, МПа	
1	2	3	4	5	6
Моренная супесь	$-0,25 \leq J_L \leq 0$	0,044	31	40	По физическим свойствам
		0,040	30	34	
		0,031	27	30	
	$0 \leq J_L \leq 0,25$	0,040	30	32	$C = 0,04 \cdot W_L - 1,9e + 0,39$
		0,037	29	26	
		0,029	25	23	
	$0,25 \leq J_L \leq 0,5$	0,033	29	26	$\varphi = 43,01 - 23,64e - 0,32 \cdot W_L$ $E = 70,63 - 125e + 0,25 \cdot W_L$
		0,030	28	20	
		0,021	24	17	
Моренные суглинки	$-0,25 \leq J_L \leq 0$	0,050	29	48	По результатам статического (q_3) и динамического (P_q) зондирования
		0,048	28	39	
		0,045	25	34	
	$0 \leq J_L \leq 0,25$	0,046	28	40	$C = 0,34 \cdot q_3 + 0,19$ $C = 0,043 \cdot P_q + 0,137$ $\operatorname{tg} \varphi = 0,002 \cdot q_3 + 0,522$
		0,043	27	31	
		0,036	24	27	
	$0,25 \leq J_L \leq 0,5$	—	—	—	$\operatorname{tg} \varphi = 0,002 \cdot P_q + 0,523$ $E = 3,1 \cdot q_3 + 7,9$ $E = 3,13 \cdot P_q + 6,84$
		0,036	26	24	
		0,031	23	20	

Примечание: над первой чертой даны значения для $e \leq 0,3$, в середине – для $e=0,35$ и над второй чертой – для $e=0,45$.

Таблица 47

Показатель	Просадочные		Непросадочные		Уравнения регрессии прогнозных характери- стик (q_3 - статическое, P_q - динамическое зондирование)
	супеси	суглин- ки	супеси	суглин- ки	
1	2	3	4	5	6
Естественная влажность	$\frac{0,16}{0,25}$	$\frac{0,18}{0,16}$	$\frac{0,17}{0,19}$	$\frac{0,19}{0,14}$	$C = 0,133 - 0,043 \cdot q_3$
Степень влажно- сти	$\frac{0,78}{24}$	$\frac{0,87}{16}$	$\frac{0,82}{18}$	$\frac{0,86}{16}$	$\lg \varphi = 0,547 - 0,003 \cdot q_3$
Плотность, г/см ³	$\frac{2,01}{7,0}$	$\frac{2,03}{2,26}$	$\frac{1,94}{5,19}$	$\frac{2,0}{4,71}$	$E = 2,14 \cdot P_q + 8,67$
Плотность сухого грунта, г/см ³	$\frac{1,74}{7,0}$	$\frac{1,72}{4,65}$	$\frac{1,72}{4,49}$	$\frac{1,69}{5,87}$	
Коэффициент пористости	$\frac{0,55}{17}$	$\frac{0,58}{47}$	$\frac{0,57}{11}$	$\frac{0,61}{17}$	
Модуль деforma- ции при естест- венной влажности, МПа	$\frac{17,5}{53,7}$	$\frac{15,0}{47}$	$\frac{16,8}{28}$	$\frac{14,0}{42}$	
Модуль деforma- ции при водона- сыщении, МПа	$\frac{14,5}{43,0}$	$\frac{10,8}{38}$	—	$\frac{4,2...}{22,0}$	
Угол внутреннего трения, град	$\frac{27}{14}$	$\frac{28}{15}$	$\frac{24}{24}$	$\frac{21...}{30}$	
Сцепление, кПа	$\frac{0,23}{48}$	$\frac{0,25}{61}$	$\frac{0,22}{57}$	$\frac{0,36}{0}$	
Относительная просадочность	$\frac{0,001}{7,5}$	$\frac{0,002}{166}$	—	$\frac{0,003}{0}$	

Примечание: в числителе – среднее значение; в знаменателе – коэффициент изменчивости.

Усадку характеризует предел усадки (V)

$$V = \frac{V_0 - V_n}{V_0} \cdot 100 \%, \quad (56)$$

где V_0 - первоначальный объем грунта природной влажности, см³; V_n - объем грунта при достижении предела усадки, см³.

Наибольшая величина предела усадки (35% и более) характерна для грунтов с большим содержанием монтмориллонитовых частиц. Усадка практически всегда приводит грунт в переуплотненное состояние, после чего любое его соприкосновение с водой обуславливает его набухание и соответственно деформацию сооружений.

Для сравнения и практического использования в табл. 45, 46 и 47 приведены физико-механические свойства моренных пылевато-глинистых грунтов (моренная супесь и моренные суглинки), ленточных глин и лессовых грунтов (просадочных и непросадочных).

Некоторое значение в строительной практике имеют и такие свойства как размокаемость и липкость. Размокаемость – это способность грунтов, погруженных в воду сохранять свою целостность в течение длительного времени.

По показателю размокаемости грунты делятся на неводостойкие, слабодостойкие и относительно водостойкие.

Самые неводостойкие грунты – лессовидные суглинки, а водостойкие – морские глины. Наибольшая водостойкость характерно для грунтов, содержащих более 60% глинистых частиц. При размокании грунты теряют устойчивость и прочностные качества.

Следует отметить весьма большое различие свойств песков и глин. Главнейшие различия в свойствах приведены в табл. 48.

Различие физических свойств песков и глин

Таблица 48

Песок	Глина
1	2
1 Состоит из округлых или угловатых зерен размером более 0,05 мм	1 В основном состоит из частиц менее 0,005 мм. Коллоидная часть содержит минералы группы монтмориллонита, каолинита и др.
2 Суммарная поверхность частиц малая	2 Суммарная поверхность частиц очень большая

1	2
3 Структура зависит от расположения зерен	3 Структура обусловлена связью частиц и агрегатов и зависит от физико-химических свойств дисперсной системы
4 Пористость зависит от расположения зерен и не зависит от влажности	4 Пористость не постоянна, зависит от влажности и давления
5 Водопроницаем	5 Практически водонепроницаема
6 По отношению к воде инертен	6 Вступает в физико-химическое взаимодействие с водой
7 Бывает в сыпучем и текучем состоянии, не пластичен	7 Бывает в твердом, текучем и пластичном состоянии
8 Под нагрузкой сжимается мало, причем деформация происходит немедленно и необратима	8 Под нагрузкой сильно сжимается с небольшой скоростью. Деформация сжатия частично обратима.

Липкость – это способность грунтов прилипать к посторонним предметам. Липкость является отрицательным показателем при строительной оценке глинистых грунтов. Величину липкости можно снизить уменьшением влажности грунта или введением в глинистые грунты песчаных частиц (песка).

Особую подгруппу в пылевато-глинистых грунтах составляют илы.

К илам относят водонасыщенные современные осадки водоемов, происхождение которых связано с наличием микробиологических процессов. Они имеют влажность больше влажности на границе текучести, коэффициент пористости $e \geq 0,9$ и содержат органическое вещество в виде гумуса (разложившиеся остатки растительных и животных организмов) не более 10 %.

По числу пластичности и коэффициенту пористости илы подразделяют на супесчаные ($e \geq 0,8$), суглинистые ($e \geq 1,0$) и глинистые ($e \geq 1,5$).

9.11 ХАРАКТЕРИСТИКА БИОГЕННЫХ ГРУНТОВ

Подгруппа биогенных грунтов подразделяется на сапропель, заторфованные грунты и торфы. К сапропелям относят пресноводные илы, образовавшиеся при разложении органических, в основном растительных, остатков на дне водоемов или озер и содержащие по массе более 10% органических веществ. Сапропель характеризуется высокими значениями коэффициента пористости ($e > 3$) и показателя текучести ($J_L > 1$).

К заторфованным относят пылевато-глинистые грунты с содержанием по массе органических веществ от 10 до 50%.

По относительному содержанию органических веществ J_{om} заторфованные грунты подразделяют на слабозаторфованные ($0,1 < J_{om} \leq 0,25$), средnezаторфованные ($0,25 < J_{om} \leq 0,4$) и сильнозаторфованные ($0,4 < J_{om} \leq 0,50$).

При содержании органических веществ более 50% органоминеральный грунт, образовавшийся при отмирании и неполном разложении болотных растений в условиях повышенной влажности и недостатке кислорода, называют торфом.

При инженерно-геологическом анализе основное значение имеет степень их разложения и зольность.

По зольности выделяют торфы озерно-болотного происхождения (содержание минеральных веществ $D < 18\%$) и аллювиально-болотного ($D = 18 - 40\%$). По степени разложения они классифицируются на слабо разложившиеся (степень разложения $R = 5-20\%$), средне разложившиеся ($R = 20-30\%$), хорошо разложившиеся ($R = 30-40\%$) и сильно разложившиеся ($R > 40\%$).

В торфе, как и в любом другом типе грунта, вода содержится во всех состояниях, но при этом основная масса воды (до 90%) находится в связанном состоянии. Общее количество воды зависит от его ботанического состава, степени разложения, зольности и степени осушения. Торф водопроницаем, но величина коэффициента фильтрации не превышает 2,5 м/сут.

При высыхании торфов наблюдается значительная усадка. Характерным для них является и исключительная сжимаемость под нагрузкой, которая в десятки и сотни раз выше, чем у минеральных грунтов. При этом упругие деформации превышают остаточные.

Наибольшей сжимаемостью обладают слабо разложившиеся торфы, а наименьшей – сильно разложившиеся. Деформационно-прочностные характеристики зависят их генезиса, степени разложения, плотности, влажности. В табл. 49 даны значения ϕ и c для торфов различной влажности.

Значения c и ϕ для торфов

Таблица 49

Влажность, %	ϕ , град	c , МПа
1	2	3
200 - 400	24 - 30	0,03 - 0,05
400 - 600	18 - 24	0,02 - 0,03
600 - 1000	15 - 18	0,02 - 0,03
1000 - 1500	5 - 15	0,01 - 0,02
> 1500	0 - 5	0,004 - 0,01

Как видно из таблицы, даже при значительной влажности торф обладает достаточно высоким сопротивлением сдвигу.

Не менее сложной проблемой является и застройка участков, на которых встречаются пропластки торфа, которые могут привести к чрезмерным неравномерным осадкам или даже просадкам оснований, влекущих к большим деформациям зданий и сооружений.

Условия строительства зданий и сооружений при наличии торфа в сжимаемой толще зависит от степени его разложения, глубины залегания грунтовых вод и торфяных слоев.

В табл. 50 приведены основные физико-механические свойства слабых грунтов – торфа и заторфованных грунтов, илов и илистых грунтов.

Следует помнить, что торфяные грунты очень неоднородны по генезису, составу, строению и состоянию. Эта неоднородность обуславливает и

неравномерную осадку оснований, при этом осадка продолжается весьма длительный период времени.

Физико-механические свойства слабых грунтов

Таблица 50

Вид грунта	Наименование	Ед. изм.	Величина
1	2	3	4
Торф и затор- фованные грунты	Плотность частиц грунта	г/см ³	1,1...1,8
	Плотность грунта	г/см ³	0,55...1,0
	Плотность сухого грунта	г/см ³	0,12...0,24
	Влажность	%	750...1500 (до 3000)
	Число пластичности	доли ед.	0,17...3,27
	Относительное сжатие	%	25...50
	Зольность	%	2...80
	Сопротивление разрыву	МПа	0,01...0,015
Ил и илистые грунты	Плотность частиц грунта	г/см ³	2,2...2,8
	Плотность грунта	г/см ³	1,18...2,0
	Влажность	%	50...600
	Пористость	%	45...30
	Коэффициент пористости	доли ед.	0,8...0,9
	Модуль деформации	МПа	0,26...4,0
	Угол внутреннего трения	град	3,0...30

Все это определяет необходимость проектировать комплекс мероприятий по обеспечению эксплуатационной пригодности и устойчивости зданий и сооружений.

Таковыми мероприятиями могут быть прорезание слоя торфа различными сваями, замена торфяного основания на песчаные подушки или уплотнение торфяных пропластков песчаными сваями.

9.12 ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ

Почвы – это особый вид элювиальных горных пород и под ними понимают наружные (дневные) горизонты горных пород, естественно измененные совместным влиянием воды, воздуха и различного рода организмов.

Отличительная их особенность — плодородие, под которым понимается способность почвы обеспечить всем необходимым (влага, тепло, питательные вещества) растение для его роста и развития.

Инженерно-геологические особенности почв отличаются от особенностей подстилающей их материнской горной породы. Почвенный разрез дан на рис. 155.

Почвы в гранулометрическом отношении являются глинистыми грунтами (суглинки, супеси). Образование почв обычно связано с одновременным воздействием таких геологических процессов как выветривание и почвообразование. Выветривание формирует глинистые частицы, то есть минеральную часть, а почвообразование — гумус, зольную и азотную пищу для растений, то есть органическую часть.

Почвообразовательный процесс тесно связан с климатом. Мощность почвенного слоя (покрова) может колебаться от 0,1 до 2,0 м и более.

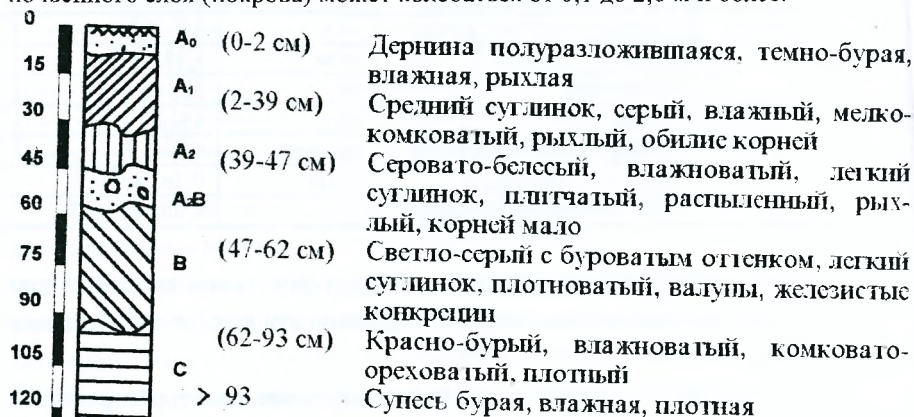


Рис. 155 Почвенный разрез дерново-подзолистых почв Беларуси.

Сочетание органического и минерального вещества определяет специфику свойств почвы. В основу инженерно-геологического подразделения почв ложится величина pH (реакция почвенной среды).

Почвы с $pH > 7$ резко отличаются по составу органического вещества, строению и свойствам от почв с $pH \leq 7$. К первым относятся сероземы, буро-

земы, черноземы, каштановые и засоленные почвы, а ко вторым – подзолистые, дерново-подзолистые, тундровые, болотные и лесостепные.

Важное значение для свойств почв имеет и содержание в них солей. Общее их количество колеблется от 0,001% до 20% от общей массы.

Химический состав и определяет их отношение к строительным материалам и конструкциям.

Вследствие рыхлости и легкой размокаемости почвы представляют собой слабое основание для зданий и сооружений. Кроме того засоленные почвы (солонцы, солончаки и солоды) при увлажнении дают весьма большое набухание.

9.13 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСКУССТВЕННЫХ ГРУНТАХ

Под искусственными грунтами понимают горные породы и почвы, которые подверглись переработке в результате производственно-хозяйственной деятельности человека или целенаправленно переделаны человеком при решении различных инженерных задач.

Инженерно-геологические свойства искусственных грунтов определяются составом материнской породы и характером воздействия на нее человека. По петрографическому составу они могут быть самые различные.

Подобно естественным грунтам они делятся на две группы, по преобладающим в них структурным связям: искусственные грунты с прочными кристаллизационными связями (скальные) и со слабыми кристаллизационными связями (дисперсные) грунты.

С инженерной точки зрения обычно под искусственным грунтом понимают слой грунта, созданный в результате производственно-строительной деятельности человека, а также грунт, свойства которого целенаправленно улучшены человеком.

9.14 ХАРАКТЕРИСТИКА ИСКУССТВЕННЫХ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

Искусственные скальные грунты создаются при восстановлении монолитности у трещиноватых скальных грунтов или создании кристаллизационных структурных связей у дисперсных грунтов.

Если необходимо уменьшить водопроницаемость и увеличить прочность скальных грунтов, то в трещины, с помощью скважин, нагнетают цементный или силикатный раствор.

При необходимости создания монолитности (уменьшения водопроницаемости) трещины тампонируют глинистыми, глинисто-силикатными или битумными растворами.

Для создания связей у дисперсных грунтов и превращения их в искусственные скальные применяют их пропитку цементными, силикатными, карбомидными, фурфуроланилиновыми смолами и веществами, либо термический обжиг (лессовые и глинистые грунты) (рис. 156 и рис. 157).

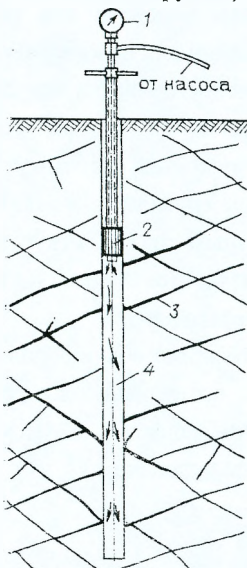


Рис. 156 Цементация скальных пород: 1 - манометр; 2 - тампон; 3 - трещины; 4 - необсаженная цементационная скважина.

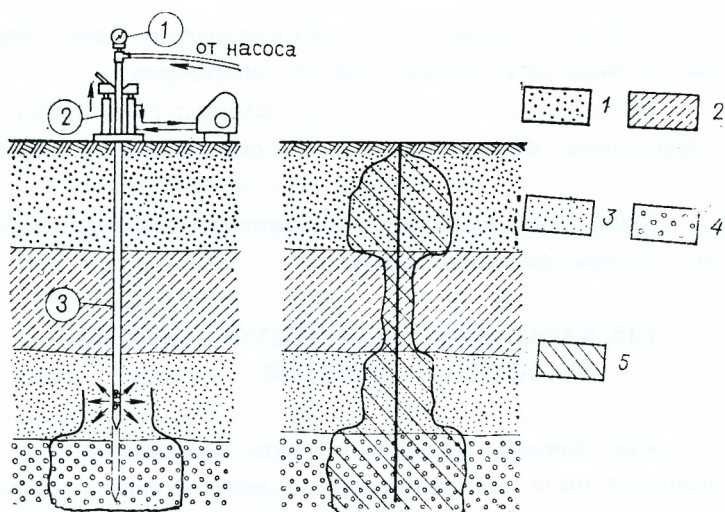


Рис. 157 Схема цементации рыхлых пород (нагнетание цементующего раствора в поры): 1 - крупнозернистый песок; 2 - илы; 3 - среднезернистый песок; 4 - гравий; 5 - стабилизированная зона. Цифры в кружках: 1 - манометр; 2 - гидравлический подъемник трубы для подачи раствора; 3 - забивная труба для подачи раствора.

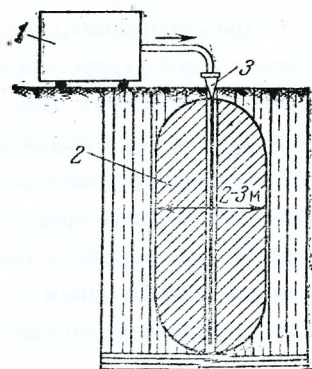


Рис. 158 Схема термического укрепления лессовых пород: 1 - термическая установка; 2 - зона обжига; 3 - форсунка.

Пропитку грунтов осуществляют по особым технологиям с использованием различных катализаторов и стабилизаторов.

Обжиг грунтов производят при температуре до 1000°C и более, что обуславливает частичное плавление и спекание минеральных частиц (рис. 158).

Прочностные характеристики таких грунтов мало чем отличаются от естественных скальных грунтов.

9.15 ХАРАКТЕРИСТИКА ИСКУССТВЕННЫХ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ

Искусственные дисперсные грунты подразделяются на сильно измененные и значительно измененные. Сильно измененные грунты наряду с молекулярными структурными связями имеют и слабые кристаллизационные связи, которые образуются в результате битумизации, электрохимического закрепления и термического прогрева.

Из органических вяжущих веществ чаще всего применяют битумы, которые вводятся в грунты в виде расплавов или холодных эмульсий. Поэтому битумизированные грунты не размокают в воде и в них отсутствует капиллярное поднятие воды.

В основе электрохимического упрочнения лежат процессы электроосмоса, электрофореза, электродиссоциации, обменные процессы и процессы образования нерастворимых солей и гидроокислов.

В группу значительно измененных дисперсных грунтов входят как улучшенные сознательно грунты, так и созданные вновь в процессе инженерной и хозяйственной деятельности человека. (рис. 159).

Улучшение грунтов, без создания кристаллизационных связей, основано на методах химической модификации и уплотнении.

Под химической модификацией понимается изменение свойств грунтов при их взаимодействии с различными химическими реагентами, масса которых не более 1% массы грунта. к ним относятся обработка лессовых и глинистых грунтов солями для агрегации частиц и гидрофобизация этих грунтов поверхностно-активными и кремнийорганическими соединениями.

например, обработка грунтов добавками *Ca*, *NaCl* обеспечивает уменьшение водопроницаемости, снижение величины морозного пучения, повышение уплотнения грунтов.

Уплотнения грунтов можно достичь их калематацией, уплотнением их оптимальными смесями и механическим уплотнением.

Улучшение грунтов оптимальными смесями заключается в добавлении в него грунтовых частиц определенной крупности, что позволяет оптимизировать его гранулометрический состав с целью получения наиболее плотной массы. Основные методы – пескование глин и глинование песка.

Механическое уплотнение грунтов может производиться с помощью трамбовок, катков, вибраторов, взрывов и др. Однако все эти методы не приводят к образованию новых связей, они только усиливают и перераспределяют силы трения и структурного сцепления.

К измененным грунтам относятся насыпные и намывные грунты.

Насыпные грунты делятся на строительные и промышленные, то есть они могут создаваться в строительных целях (дамбы в насыпи, подушки), либо быть следствием промышленно-производственной или культурно-бытовой деятельности человека (отвалы, свалки). В табл. 51 приведена классификация насыпных грунтовых толщ.

Строительные насыпи и подушки создают с заранее заданными свойствами, что требует обоснования технологии работ по их формированию. Основными расчетными параметрами являются: мощность слоя отсыпки; влажность отсыпки; влажность отсыпаемого грунта; давление, создаваемое уплотняющими механизмами.

Наиболее перспективным является гидравлический способ укладки грунтов, то есть с помощью намыва землеснарядами. Здесь определяющими параметрами являются: интенсивность намыва; консистенция пульпы; мощность слоя намыва за один прием. При оптимальных технологических параметрах грунты имеют плотность, мало отличающуюся от природной. На таких грунтах можно строить любые здания и сооружения.

Однако следует отметить, что в практике обычно во избежание деформируемости зданий, их строительство осуществляют на свайных фундаментах. Наиболее сложны в использовании насыпные грунты, созданные хао-

тически. Для них характерна разнородность состава (бумага, пищевые отходы, металл, пластмасса и т.д.), различная плотность и большая сжимаемость.

Классификация насыпных толи

Таблица 51

Тип насыпи	Состав насыпи	Способ укладки
1	2	3
Бытовая свалка	<i>Хаотически формирующиеся насыпи</i> Пищевые отходы, обрезки кожи, резины, утиль, грунт, строй-мусор, обломки посуды, щепа и другие отходы древесины и т.д.	Беспорядочная свалка
Производственные отходы	Строительные отходы (грунты, строймусор)	
	Металлургические отходы (шлак, металлолом, формовочные материалы)	То же
	Котельные отходы (зола, шлак)	То же
	Отходы металлообработки (стружка, металлолом)	То же
	Горные отходы (отвалы вскрыши или пустой породы – песок, глина, обломки скальных пород)	То же
	Отходы деревообработки (опилки, щепа, обрезки досок и бревен)	То же
Земляные массы	Кожевенные отходы (обрезки кожи и резины), смешанные отходы	То же
	<i>Организованно укладываемые насыпи</i> Галечник, гравий, щебень (с песчано-глинистым заполнением или без него) Песок, суглинок, глина (с включением обломков скальных пород или без них)	Навалом, гидравлическим способом с послойным уплотнением специальными механизмами, автотранспортом То же



Рис. 159 Методы искусственного улучшения оснований.

Глава 10 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

10.1 ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ, СОСТАВ И ПОРЯДОК ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью изучения инженерно-геологических условий района и участка намечаемого строительства является прогноз взаимодействия проектируемых сооружений с природной средой. На основе этого прогноза выбирают наиболее экономичные проектные решения и рациональные способы строительства, обеспечивающие устойчивость и надежность работы сооружений в эксплуатации.

Основными задачами инженерно-геологических исследований являются:

1. Изучение распространения, строения, состава, сложения, состояния и свойств грунтов для оценки возможности и целесообразности их использования в качестве среды, оснований и материалов проектируемых сооружений и выяснения особенностей грунтов как объектов разработки.

2. Установление условий залегания, распространения и особенностей режима подземных вод; характера, площади развития, интенсивности проявления и режима геологических процессов для оценки степени их влияния на строительство и эксплуатацию сооружений и зданий.

3. Поиски, разведка и опробование месторождений ископаемых строительных материалов, используемых при строительстве и в эксплуатации, включая и грунты для возведения насыпей.

В табл. 52 охарактеризованы задачи инженерно-геологических исследований на различных этапах инженерной деятельности.

Однако, нужно помнить, что все объекты проектируются на основе материалов геодезических, инженерно-геоэкологических, гидрометеоролого-климатических и инженерно-геологических изысканий, которые должны определять все данные, необходимые для разработки качественного проекта.

При этом следует учитывать природные особенности строительной площадки и опыт проектирования, возведения и эксплуатации сооружений в подобных условиях (местный опыт).

Инженерные изыскания производятся по программе изысканий, составленной на основе технического задания разработчика проекта.

Производят изыскания специализированные организации, имеющие действующие лицензии на требуемый вид деятельности и аттестационные свидетельства на применяемые приборы и оборудование.

*Задачи инженерно-геологических исследований
на различных этапах*

Таблица 52

Этап	Назначение	Методы	Результаты
1	2	3	4
Согласование задания на изыскания. Рекогносцировка	Изучение общих инженерно-геологических условий	Изучение геологических и геоморфологических условий по литературным и архивным данным, рекогносцировка местности, анализ материалов о региональном геологическом и тектоническом строении, маршрутное обследование района, составление обзорных карт	Составление экспертного заключения
Предварительные изыскания (первая стадия)	Выбор площадки или трассы. Оценка наиболее целесообразных типов оснований и фундаментов. Изыскания местных строительных материалов и их исследования	Инженерно-геологическое картирование; геологические и геоморфологические наблюдения с использованием имеющихся данных (обследование колодцев, карьеров, состояния сооружений); проходка разведочных выработок (шурфов, скважин); применение геофизических методов в больших объемах	Предварительное заключение об инженерно-геологических условиях района с общей характеристикой геологических, геоморфологических и гидрогеологических условий

1	2	3	4
Основные изыскания (вторая стадия)	Получение исходных данных для обоснования надежного и экономичного строительства, выбора участков для отдельных сооружений, выбора типа строительных конструкций и методов производства работ, составление окончательного заключения о пригодности местных строительных материалов	Геотехнические исследования в процессе детальной геологической съемки: инженерно-геологическое картирование с проходкой разведочных выработок; испытания пород и скальных пород (лабораторные и полевые); геофизические исследования; специальные полевые исследования (фильтрационные опыты, опытная цементация, опытные насыпи, опытные взрывы);	Заклпчение об инженерно-геологических условиях строительства конкретных объектов с количественными характеристиками свойств грунтов основания
Инженерно-геологические работы в период строительства	Консультации и участие в обсуждении геологических вопросов, возникающих в ходе строительства; приемка подготовленных оснований; составление документации строительных выработок	Инженерно-геологическая документация всех котлованов и прочих выработок; консультации при установке КИП для наблюдения за работой сооружений; надзор за использованием местных строительных материалов; рекомендации по методам искусственного улучшения свойств грунтов	Материалы, документации строительства, заключения, отчеты
Инженерно-геологические работы по окончании строительства	Сопоставление результатов изысканий и документации строительных выемок; сопоставление условий работы сооружений с геотехническими прогнозами	Анализ результатов инструментальных наблюдений; исследование эффективности различных специальных мероприятий; изучение природных процессов, вызванных воздействием строительства или эксплуатации сооружения	Отчеты, публикации, участие в составлении паспорта сооружения

Все результаты изысканий отражаются в отчетах и в зависимости от стадии проектирования, с достаточной степенью детализации, должны содержать данные для:

- оценки общей пригодности площадки для намечаемого строительства;
- установления вида и объема инженерных мероприятий по освоению площадки под строительство;
- установления типа основания, глубины заложения фундаментов, расчетных сопротивлений грунтов и возможности расчета оснований в соответствии с требованиями строительных норм;
- прогноза возможности изменения величин деформации сооружения при изменении естественных условий основания и миграции подземных вод площадки, в связи с ее застройкой и эксплуатацией сооружения;
- определение целесообразности проведения инженерной подготовки основания с целью улучшения строительных свойств грунтов;
- выявление наиболее целесообразных способов производства работ по устройству основания сооружения, а также возможных осложнений при производстве земляных работ;
- определение трудоемкости выполнения работ и способа их реализации;
- инженерной, в том числе экологической защите застраиваемой площадки и близлежащих территорий.

В целом, в комплекс инженерно-геологических исследований входят:

- а) аэрофотографирование, аэровизуальные наблюдения местности (с самолета, вертолета), камеральное и полевое дешифрирование (осмысливание) черно-белых, цветных и спектрально-анализных аэрофото- и перспективных снимков;
- б) наземные маршрутные обследования, называемые инженерно-геологической съемкой, в комплексе со всеми другими видами работ и поисками месторождений строительных материалов;
- в) геофизические исследования, главным образом электроразведка, резистивиметрия, сейсморазведка;

г) горнопроходческие работы и бурение скважин с отбором образцов грунтов, строительных материалов и проб воды;

д) полевые опытные инженерно-геологические и гидрогеологические работы (нагрузки на штампы, замачивание грунтов в котлованах, откачки, нагнетания и наливы воды и др.);

е) режимные наблюдения за грунтовыми водами, изменением температуры мерзлых грунтов, пучением грунтов, оползневыми, наледными и другими процессами;

ж) лабораторные определения физико-механических свойств грунтов и анализы химического состава воды;

з) обработка полевых и лабораторных данных и составление отчетных материалов (карт, профилей, текстов и табличных приложений).

На практике различные работы могут проводиться одновременно и даже с опережением съемочных и разведочных.

10.2 ХАРАКТЕРИСТИКА ЭТАПОВ ИНЖЕНЕРНО - ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Как отмечено выше, требования к инженерно-геологическим изысканиям при инженерно-строительной деятельности дифференцируются в зависимости от задач планирования, проектирования, строительства и эксплуатации объекта.

За последнее десятилетие произошли существенные изменения в стадийности проектирования. В настоящее время двухстадийное проектирование применяется лишь для ответственных объектов и при сложных природных условиях. Основные стадии проектирования – технический проект и рабочая документация. Иногда перед техническим проектированием выполняют предпроектные изыскания для технико-экономического обоснования (ТЭО) или технико-экономических расчетов. Но чаще всего применяется одностадийное проектирование – техно-рабочий проект (ТРП).

Однако, независимо от стадийности проектирования в период строительства должен осуществляться инженерно-геологический контроль, то есть устанавливаться соответствие встреченных инженерно-геологических

условий тем, которые выявлены в результате изысканий при проектировании.

В случае, если обнаружены несоответствия запроектированным условиям, проектировщикам выдается уточненный материал и они, при необходимости, вносят изменения в проект, чтобы обеспечить надежную работу будущего сооружения.

После возведения и сдачи в эксплуатацию крупных и ответственных сооружений, а также зданий, возведенных в сложных инженерно-геологических условиях (в районах развития оползневых и карстовых процессов, на сильно просадочных, набухающих и сильно засоленных грунтах, на вечномёрзлых грунтах и пр.), за изменением геологической среды ведутся стационарные наблюдения, при этом наблюдения ведутся за деформациями (осадками, просадками, набухаемостью, суффозионными осадками, смещениями и пр.), за режимом подземных вод (подъемом уровня, изменением химического состава), за движением склонов, развитием карстовых полостей, переформированием берегов водохранилищ и морей и т.п.

Анализ материалов по изменению природной обстановки в период строительства и эксплуатации сооружений имеет большое значение для последующей достоверной ее оценки. Эти материалы позволяют корректировать прогнозы, которые будут даваться в аналогичных природных условиях на новых объектах строительства, а также совершенствовать методику инженерно-геологических изысканий.

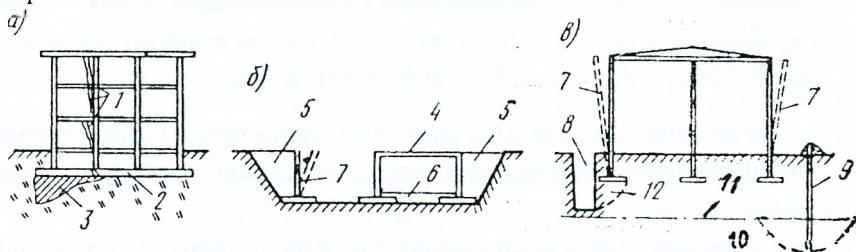


Рис. 160 Деформации сооружений в процессе производства работ: 1 - трещины; 2 - фундаментная плита; 3 - неуплотненный грунт; 4 - перекрытие; 5 - обратная засыпка; 6 - пол подвала; 7 - деформированные конструкции; 8 - траншея; 9 - иглофильтр; 10 - депрессионная кривая; 11 - уровень подземных вод; 12 - призма выпора.

На рис. 160 показаны основные виды деформаций зданий в процессе производства строительно-монтажных работ, а на рис. 161 – при эксплуатации зданий.

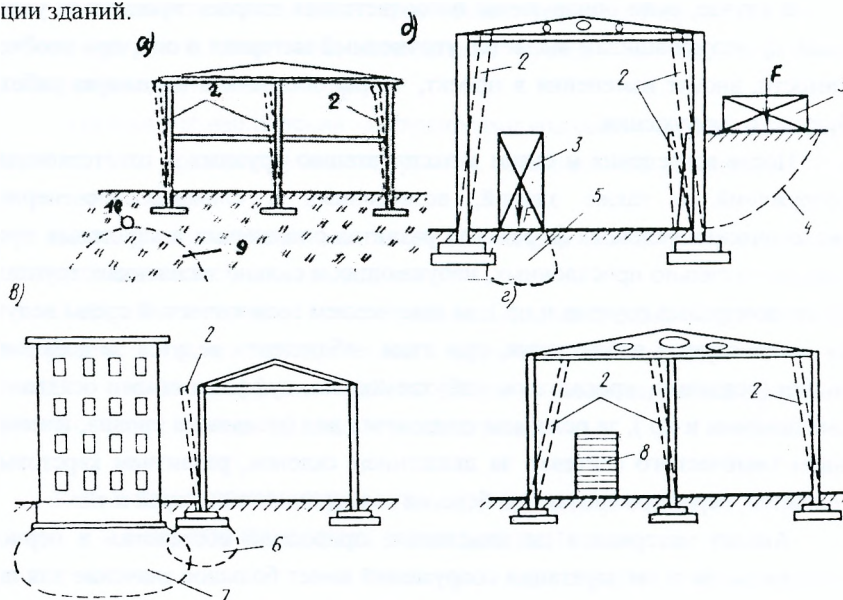


Рис. 161 Деформации сооружений в процессе эксплуатации: 1 - зона действия крана; 2 - деформированные конструкции; 3 - дополнительная нагрузка; 4 - плоскость сдвига; 5 - напряженная зона от складированного материала; 6 - то же, от фундамента существующего здания; 7 - то же, строящегося здания; 8 - оборудование, создающее динамические воздействия; 9 - зона увлажнения; 10 - источник увлажнения.

В зависимости от целей и задач инженерно-строительной деятельности инженерно-геологические изыскания целесообразно подразделить на шесть этапов:

- первый этап – исследования для общего планирования развития и строительства в целом по республике, областям, районам и населенным пунктам;
- второй этап – изыскания для выбора площадок строительства;
- третий этап – изыскания на выбранной площадке строительства;

– четвертый этап – изыскания для проектирования отдельных зданий и сооружений;

– пятый этап – инженерно-геологические работы и исследования в период строительства зданий и сооружений, а также при укреплении грунтов оснований зданий и сооружений и выполнении мероприятий, связанных с охраной геологической среды;

– шестой этап – исследования в период эксплуатации зданий и сооружений.

Изыскания на втором – четвертых этапах для массовых видов наземного строительства, в связи с принятым постановлением по сокращению стадий проектирования, нередко выполняются в одну стадию и только при сложных природных условиях и для ответственных объектов предусматриваются двухстадийные изыскания.

Остановимся кратко на целях и задачах инженерно-геологических изысканий при их выполнении на каждом этапе.

Первый этап. Исследования для общего планирования строительства выполняются с целью определения возможности и экономической целесообразности возведения объектов на территории, выбора площадки строительства и составления рациональных вариантов схем генерального плана крупных населенных пунктов. В результате изысканий должны быть получены необходимые материалы об инженерно-геологических условиях территории.

Оценка инженерно-геологических условий при планировании строительства осуществляется путем использования результатов выполненных ранее инженерно-геологических съемок различных масштабов, изысканий, а также обобщения литературных и фондовых материалов. В случае необходимости проводятся рекогносцировочные маршрутные исследования.

Второй этап. Изыскания при выборе площадки строительства должны выявить инженерно-геологические условия территории для сравнения и оценки намеченных вариантов размещения площадок строительства и дать информацию, позволяющую оценить ориентировочный объем мероприятий для охраны геологической среды.

Третий этап. Изыскания на выбранной площадке строительства (в том числе и на трассе коммуникаций) должны выявить инженерно-геологические условия с такой детальностью, чтобы можно было на их основании разработать генеральный план намеченного объекта строительства и определить конкретные мероприятия по охране геологической среды. Инженерно-геологические изыскания для разработки генерального плана объекта должны выполняться путем сбора и обобщения полученных ранее материалов изысканий по району и проведения инженерно-геологической съемки, если она не проводилась. Методика производства этих изысканий регламентируется нормативно-методическими документами.

Четвертый этап. Изыскания для проектирования отдельных зданий и сооружений должны дать оценку инженерно-геологических условий территорий, намеченных для возведения зданий и сооружений, с такой степенью детальности, которая бы обеспечила возможность выбора расчетных схем и выполнения расчетов оснований зданий и сооружений, а также позволила разработать окончательные решения по выполнению профилактических и защитных мероприятий, в том числе и по охране геологической среды. Изыскания по трассе коммуникаций должны дать материал для ее проектирования на выбранных участках и в местах ее переходов через естественные и искусственные препятствия. На этом этапе выполняется инженерно-геологическая разведка. Если в этом районе изыскания для составления генерального плана не выполнялись, а здания и сооружения предполагается разместить за пределами территорий действующих предприятий, либо в новом жилом массиве, то предусматривается выполнение инженерно-геологической съемки.

Пятый этап. Выполнение работ в период строительства производится для уточнения выявленных инженерно-геологических условий непосредственно на площадках. Если эти условия не соответствуют полученным ранее и существенно влияют на устойчивость зданий, инженеры-геологи совместно с проектировщиками вносят коррективы в проектные решения по конструкции сооружений, в разработанные планы мероприятий по укреплению оснований и других мер защиты. На этом этапе в основном выполняется обследование вскрытых котлованов и траншей, осуществляется контроль за

342

выполнением рекомендованных мероприятий по производству работ на площадке.

Шестой этап. Исследования в период эксплуатации зданий и сооружений обычно осуществляется строительными организациями либо специальной службой – на особо ответственных объектах и в районах со сложными инженерно-геологическими условиями. В задачу этих исследований входят длительные стационарные наблюдения за происходящими деформациями зданий, сооружений и их оснований и за изменением уровня подземных вод, их солевого состава и агрессивности, за возникновением разнообразных явлений, вызванных строительством и землетрясениями (в сейсмических районах); за переработкой берегов водохранилищ; за изменением температурного режима грунтов оснований (в мерзлых толщах) и др. Целью этих наблюдений является своевременное предупреждение аварий промышленно-гражданских объектов. Кроме того, эти наблюдения позволяют прогнозировать изменения инженерно-геологических условий при строительстве в аналогичных условиях.

10.3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО - ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Инженерно-геологическая съемка представляет комплексное изучение геологических, гидрогеологических, геоморфологических и других естественно-исторических условий района строительства. Эта съемка позволяет дать оценку территории (площадки) со строительной точки зрения.

Масштаб инженерно-геологической съемки может быть от 1:200000 до 1:10000 и крупнее. Основой для проведения съемки служит геологическая карта данной местности.

С помощью геоморфологических исследований уточняется характер рельефа, его возраст и происхождение. Геологические работы позволяют определить условия залегания пород, их мощность и возраст, а также тектонические особенности, степень выветрелости и т.д. Для этого обычно используют визуальный осмотр естественных обнажений пластов горных пород на склонах гор, оврагов и речных долин.

Районы, где имеется большое количество естественных обнажений, называют геологически открытыми, а где их нет – геологически закрытыми.

В закрытых районах геологическое строение изучают с помощью разведочных выработок – буровых скважин, шурфов, прикопок и прямков.

Все выработки документируются, а затем их изучают и отбирают пробы образцов пород для лабораторных исследований.

В целом инженерно-геологическая съемка позволяет изучить: гидрогеологические условия для выяснения обводненности пород, глубины залегания подземных вод, их режима и химического состава; геологические явления и процессы, которые могут повлиять на устойчивость и условия нормальной эксплуатации зданий и сооружений; опыт строительства на данной территории; физико-механические свойства пород.

В процессе инженерно-геологической съемки производят поиск месторождений естественных строительных материалов.

На основе материалов инженерно-геологической съемки составляется инженерно-геологическая карта района строительства, которая позволяет выделить участки, наиболее пригодные под строительство.

Геологические карты представляют собой проекцию геологических структур на горизонтальную плоскость. Все карты подразделяют на карты коренных пород и четвертичных отложений.

Среди геологических карт коренных пород выделяют несколько видов: стратиграфические, литологические и литолого-стратиграфические. Кроме того, для различных целей составляют карты специального назначения. Это – инженерно-геологические, гидрогеологические и карты строительных материалов.

Стратиграфическая карта показывает границы распространения пород различного возраста. При этом породы одного возраста обозначаются одними условными обозначениями и окрашиваются одним цветом. Стратиграфическая карта всегда сопровождается стратиграфической колонкой, которая отражает порядок напластования пород по их возрасту.

Литологическая карта отражает состав пород, и на ней каждая порода обозначается своим условным значком. Но чаще всего в строительной

практике составляют и используют литолого-стратиграфические карты, на которых отображают возраст и состав пород.

На картах четвертичных отложений показывают расположение в плане пород различного происхождения (ледниковые, речные и т.п.) и литологического состава.

Сведения о важнейших инженерно-геологических факторах и условиях в пределах изучаемой территории позволяют получить нам инженерно-геологические карты.

Инженерно-геологическая карта – это собирательное понятие, так как она состоит собственно из карты, условных обозначений, геологических разрезов и пояснительной записки.

Инженерно-геологические карты бывают трех видов:

- а) инженерно-геологических условий;
- б) инженерно-геологического районирования;
- в) инженерно-геологические карты специального назначения.

Карта инженерно-геологических условий содержит информацию, пригодную для удовлетворения всех видов наземного строительства и обеспечивает полный анализ общей оценки природных условий (рис. 162).

Карта инженерно-геологического районирования отражает разделение территории на условные части (регионы, области, районы) в зависимости от общности их инженерно-геологических условий.

Карты специального назначения составляются применительно к конкретным видам строительства и они, кроме оценки инженерно-геологических условий содержат и прогноз инженерно-геологических явлений.

Масштабы инженерно-геологических карт определяются их назначением и детальностью содержания и могут быть: общие обзорные (М 1:500000 и мельче); карты среднего масштаба (М 1:200000, М 1:100000); детальные крупномасштабные карты (М 1:10000 и крупнее).

Геологические разрезы представляют собой проекцию геологических структур на вертикальную плоскость и являются важным дополнением геологических карт.

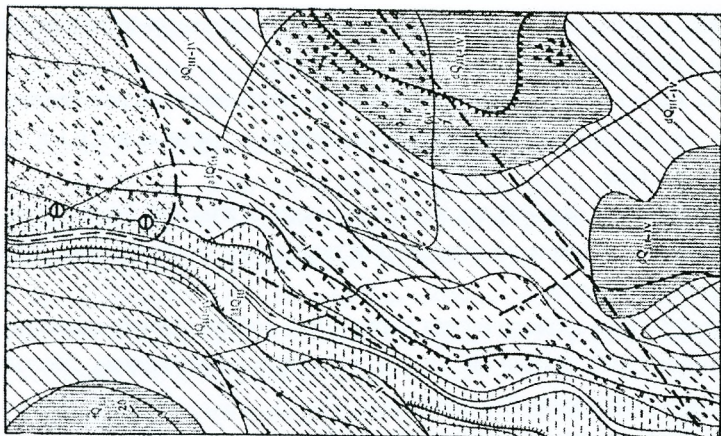


Рис. 162 Карта инженерно-геологических условий строительства.

На геологическом разрезе показываются возраст, состав, мощность, условия залегания пород и гидрогеологические условия.

Инженерно-геологический разрез в отличие от геологического отражает физико-геологические явления и свойства пород (рис. 163).

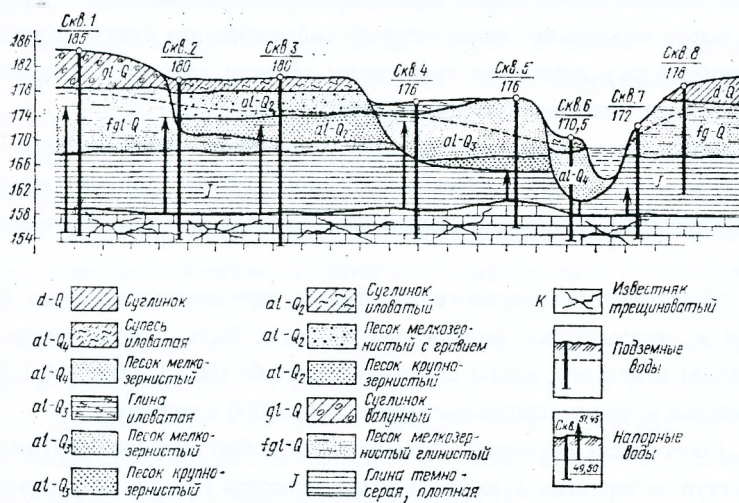


Рис. 163 Геолого-литологический разрез.

Вертикальный масштаб разрезов принимается обычно 1:100, 1:500 или 1:1000, то есть во много раз крупнее горизонтального.

Разрезы имеют важнейшее значение при общей инженерно-геологической оценке районов строительства и отдельных стройплощадок, выборе слоев грунта в качестве несущего основания, изучения режима подземных вод и т.д.

10.4 МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК И ОПРОБОВАНИЯ ПОРОД

Геологическое строение, гидрогеологические условия стройплощадки, определение типа и состояния пород, отбор образцов пород и подземных вод позволяют изучить разведочные выработки.

Наиболее распространены такие виды разведочных выработок как буровые скважины, шурфы, штольни, канавы и расчистки.

Буровые скважины представляют собой круглые вертикальные или наклонные выработки малого диаметра, выполняемые буровым инструментом.

В буровых скважинах нужно различать устье, стенки и забой (рис. 164).

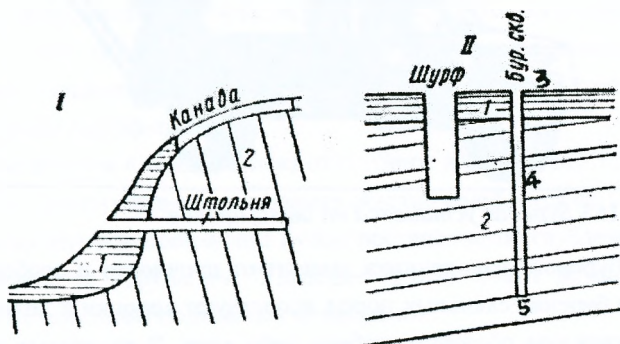


Рис. 164 Разведочные выработки: I - горизонтальные (канавка, штольня); II - вертикальные (шурф, буровая скважина); 1 - наносы; 2 - коренные породы; 3 - устье; 4 - стенки; 5 - забой.

С помощью бурения выясняют состав, свойства, состояния грунтов и условия их залегания. Все это основывается на исследовании образцов грунтов, которые непрерывно отбираются из скважины по мере ее углубления.

Образцы могут быть как в нарушенном состоянии, так и ненарушенном (керны).

Диаметр скважин, используемых в практике, обычно находится в пределах 50-150 мм.

Глубина скважин определяется задачами исследований, и для промышленно-гражданского строительства, она редко превышает 30 м.

При изыскании месторождений глубина скважин может достигать сотен метров.

В настоящее время наиболее распространены следующие виды бурения скважин: ручное ударно-вращательное; вращательное колонковое; шнековое и вибрационное. В любом случае буровая установка состоит из бурового снаряда, бурового станка и двигателя. Буровой снаряд состоит из бурового наконечника (бура) и бурильных труб (штанги) (рис. 165).

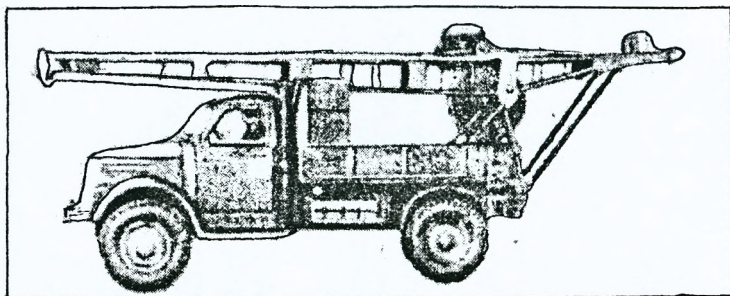


Рис. 165 Буровая установка на автомашине.

Тип бурового наконечника зависит от прочности и особенностей породы. Для бурения скальных пород используют коронки и долота, которые в забое скважины образуют щебень либо керн. В глинистых породах используются наконечники специальной конструкции (грунтоносы), дающие возможность получить образцы грунтов ненарушенной структуры (монолиты).

Иногда применяют вибрационный метод бурения, когда буровой снаряд погружается в породу с помощью вибратора. Однако при таком бурении пробы грунта всегда будут иметь нарушенную структуру, а уровень грунтовых вод зафиксировать вообще нельзя.

Если нет необходимости в точных определениях границ слоев, отборе проб ненарушенной структуры, то используют шнековое бурение. Шнеки — особые штанги, на поверхность которых навита стальная спираль, что образует непрерывный винтовой транспортер для разрушения забоя и извлечения грунта из скважины. Диаметр скважин может достигать от 150 до 1500 мм.

При проходке скважин в слабых и водонасыщенных породах, для защиты от обваливания и оплывания стенок, применяют стальные обсадные трубы.

При бурении обязательно оформляется буровой журнал, куда вносятся все данные по проходке скважин и отбору образцов. В конце бурения составляется буровая колонка скважины в масштабе от 1:100 до 1:500.

После завершения буровых работ устье скважины засыпается грунтом с уплотнением.

При необходимости более детального изучения геологического строения и производства отбора, любых по размеру образцов с сохранением их структуры и природной влажности, осуществляют проходку шурфов.

Шурф — это колодезобразные выработки прямоугольного сечения. При наличии специальной буровой техники шурф может устраиваться и круглого сечения (шурф-дудка).

Размеры шурфов в плане зависят от глубины и обычно это 1х1 м, 1х1,5 м и 1,5х1,5 м. Для шурфов-дудок диаметр обычно колеблется от 1 до 1,3 м.

Проходку шурфов производят путем постепенного углубления с укреплением стенок от обрушения. Удаление грунта может осуществляться вручную или с помощью подъемных механизмов.

Характер и способ крепления зависит от устойчивости пород.

По мере проходки шурфа в шурфовый журнал записывают данные о вскрытых породах, условиях их залегания, появлении грунтовых вод и отборе образцов. По всем стенкам и дну шурфа делаются зарисовки с после-

дующим составлением развертки шурфа по сторонам (А, Б, В, Г). Развертка позволяет точнее определить мощность слоев и элементы их залегания (рис. 166).

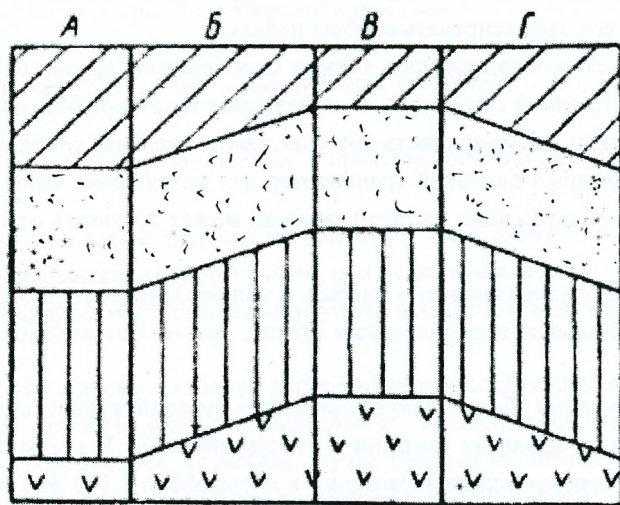


Рис. 166 Развертка шурфа.

Расчистки, канавы и штольни относятся к горизонтальным выработкам и их целесообразно применять на участках, сложенных крутопадающими слоями.

Расчистки – это выработки, применяемые для снятия слоя рыхлого делювия или элювия с наклонных поверхностей естественных обнажений.

Канавы (расчистки) – это узкие (до 0,8 м) и неглубокие (до 2 м) выработки, выполняемые вручную или с помощью техники с целью обнажения коренных пород.

Штольни – это подземные горизонтальные выработки, закладываемые на склонах и вскрывающие толщи горных пород в глубине массива.

Кроме установления геологического строения и гидрогеологических условий разведочные выработки позволяют получить обобщенные показатели состава, состояния и свойств пород. Этот комплекс работ называют опробованием пород.

Основные принципы системы опробования следующие:

- а) опробование необходимо проводить послойно;
- б) наиболее детальному опробованию подвергается несущий слой, то есть предполагаемое основание здания или сооружения;
- в) количество взятых проб должно обеспечивать требуемую точность определяемых показателей свойств пород.

Опробование пород ведут в три этапа: 1) установление системы отбора и количество проб в полевых условиях; 2) отбор проб, их обработка и консервация; 3) исследование образцов по определению показателей физико-механических свойств пород.

При отборе проб для инженерно-геологических целей используют три способа: 1) точечный – для отбора проб (монолитов) с ненарушенной структурой; 2) бороздовый; 3) валовый – для отбора проб с ненарушенной структурой. В целях сохранения природной влажности отобранные образцы пород немедленно консервируют (оборачивают водозащитной пленкой или помещают в эксикаторы).

10.5 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Геофизические методы исследования обычно сопутствуют разведочным работам и они позволяют значительно сократить объем бурения и шурфования.

В большинстве случаев геофизические методы являются вспомогательными для изучения физико-химических свойств пород и подземных вод, геологических и инженерно-геологических процессов и явлений.

В строительной практике наиболее распространены сейсмометрия и электрометрия. Электрометрия (электроразведка) основана на исследовании искусственно создаваемого в массивах пород электрического поля. она может осуществляться с помощью вертикального электроразведывания (ВЭЗ) и электропрофилирования. ВЭЗ позволяет определить глубину залегания коренных пород и уровня подземных вод, выделять слои различного литологического состава (водопроницаемые и водоупорные пласты) и т.д.

Сущность метода ВЭЗ заключается в том, что по мере увеличения расстояния между питающими электродами (рис. 167, а) линии токов перемещаются вглубь массива. Измеряя силу тока между питающими электродами А и Б и разность потенциалов между приемными электродами В и Г, легко определить значение электрического сопротивления пород. На рис. 167, б показана кривая ВЭЗ в сопоставлении с данными бурения.

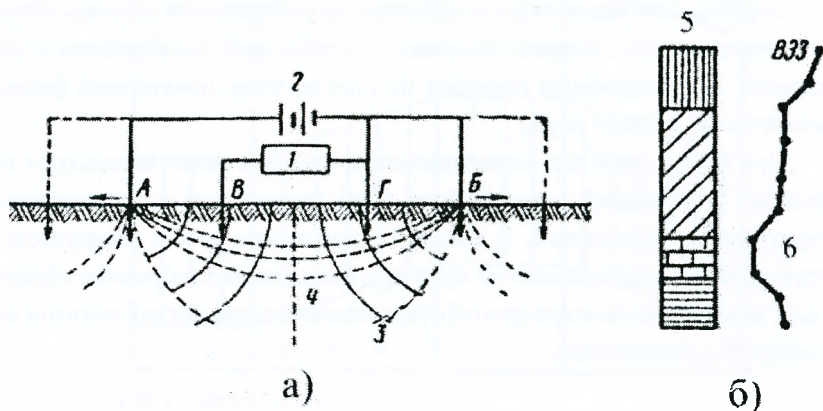


Рис. 167 Схема вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) (а) и кривая (ВЭЗ) (б): 1 - потенциометр; 2 - источник; А, Б, В, Г - электроды; 3 - equipотенциальные линии; 4 - линии тока; 5 - буровая колонка; 6 - кривая ВЭЗ.

Наибольшие погрешности метод ВЭЗ дает при незначительной мощности раздела слоев (2-3 м), а так же при значительных глубинах их залегания.

При электропрофилировании на исследуемом участке в грунт забивают электроды по створам и на каждом из них измеряют сопротивление пород (рис. 168).

Измерительный прибор может свободно перемещаться. Определение изменений на участке удельного сопротивления позволяет определить наличие карстовых и суффозионных процессов.

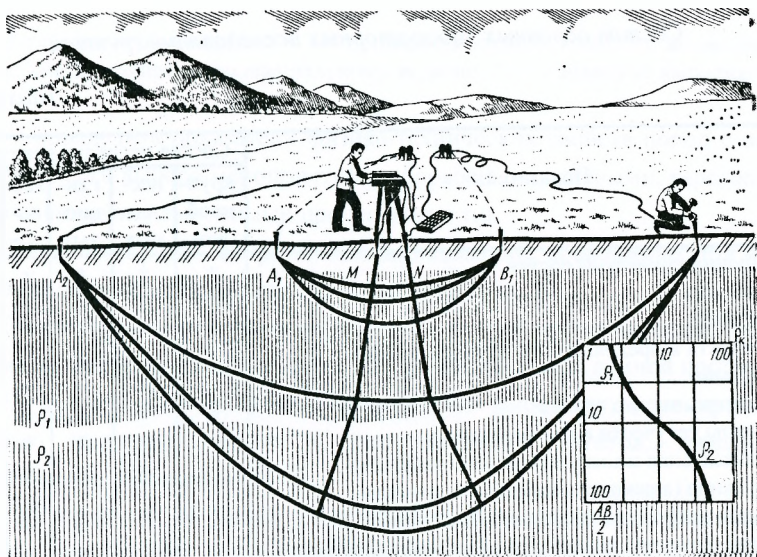


Рис. 168 Схема электроразведочных работ.

10.6 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Лабораторные исследования пород и подземных вод являются составной частью комплекса инженерно-геологических исследований.

Следует иметь в виду, что многие анализы можно выполнить в полевых условиях, с помощью полевых инженерно-геологических лабораторий.

Лабораторные исследования позволяют решить следующие задачи:

- 1) изучить геологические особенности пород (минеральный, химический, вещественный составы и т.п.);
- 2) установить классификационные показатели физико-механических, физико-химических и строительных свойств;
- 3) определить расчетные показатели физико-механических свойств пород с целью расчета устойчивости и долговечности зданий и сооружений;

Таблица 53

Показатель	Состав исследуемых грунтов				
	круп- нооб- лом.	пес- ча- ных	гли- нис- тых	лес- со- вых	скаль- ных
Гранулометрический состав	+	+	с	+	—
Влажность	+	+	+	+	+
Плотность	+	+	+	+	+
Плотность в предельно плотном и рыхлом состоянии	—	с	—	—	—
Плотность частиц грунта	—	+	+	+	с
Границы текучести и раскатывания	—	—	+	+	—
Максимальная молекулярная влагоемкость	—	с	с	с	—
Набухание (влажность набухания, относительное набухание, давление набухания)	—	—	с	с	—
Усадка (относит. усадка при заданной нагрузке)	—	—	с	с	—
Размокание (скорость размокания)	—	—	с	с	с
Растворимость	—	—	—	—	с
Просадочность (относительная просадочность, начальное просадочное давление)	—	—	с	+	—
Удельное сопротивление	—	—	+	+	—
Стандартное уплотнение	—	с	с	с	—
Угол естественного откоса	—	с	—	—	—
Коэффициент фильтрации	—	с	с	с	—
Относительная суффозионная осадка	—	с	с	с	—
Сопротивление грунтов сжимающим усилиям	с	с	+	+	—
Сопротивление грунтов срезу	с	+	+	+	—
Временное сопротивление одноосному сжатию (в водонасыщенном и воздушносухом состоянии)	с	—	с	с	+
Коэффициент выветрелости	с	—	—	—	—
Коррозионная активность грунтов	—	+	+	+	—
Суммарное содержание легко- и среднерастворимых солей (водные и соляно-кислые вытяжки)	с	с	с	с	с
Содержание растительных осадков	—	с	с	с	—
Степень разложения заторфованных грунтов	—	с	с	—	—
Петрографический состав	с	—	—	—	с
Минеральный состав	—	с	с	с	—
Валовой химический состав	—	с	с	с	с
Емкость поглощения и состав обменных катионов в поглощающем комплексе	—	—	с	с	—

Условные обозначения: “ + ” - проводится полный комплекс исследований; “с” – анализ выполняется по специальному заданию; “ – ” - анализ не выполняется

4) определить показатели физико-технических свойств пород с целью рационального выбора мероприятий по борьбе с оползневыми, карстовыми, суффозионными, пловунными процессами и т.п.

Состав основных лабораторных исследований, проводимых при инженерно-геологических изысканиях, приведен в табл. 53.

В зависимости от этапов изысканий и стадий проектирования лабораторные исследования выполняются по сокращенной или полной программе.

По сокращенной программе исследования выполняются для предварительного выделения видов и разновидностей грунтов, инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

При этом для песчаных и крупнообломочных грунтов обязательным является определение гранулометрического состава, влажности и плотности, для глинистых – границ текучести и раскатывания, влажности, плотности, для скальных грунтов – плотности.

По полной программе исследования проводятся для получения прочностных, деформационных и других характеристик грунтов, а также для уточнения границ инженерно-геологических элементов.

Результаты лабораторных исследований включаются в технические отчеты (заключения) по этапам изысканий.

Как видно из таблицы в основной перечень лабораторных исследований грунтов входят следующие группы показателей: вещественный состав; показатели структуры и текстуры; физическое состояние; показатели физических свойств; показатели сжимаемости; показатели механической прочности.

В подземных водах определяют минеральные, органические и газовые примеси. Важнейшим анализом является установление их агрессивности.

10.7 ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ (ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ)

С целью улучшения качества разведочных выработок и объема лабораторных работ проводят опытные работы, то есть испытания грунтов непосредственно в условиях их естественного залегания.

В ряде случаев они позволяют определить прочностные, деформативные и другие физико-технические характеристики грунтов с большей точностью, чем при лабораторных работах.

Опытные работы используются для изучения:

- 1) водопроницаемости галечниковых, трещиноватых и других пород (методом нагнетания и откачки);
- 2) деформативных характеристик песчаных и пылевато-глинистых пород (прессиометрия, опытные нагрузки);
- 3) прочностных характеристик и расчленения геологических разрезов (зондирование и опытные сдвиги).

Методика определения водопроницаемости грунтов рассмотрена в разделе “Основы инженерной гидрогеологии”.

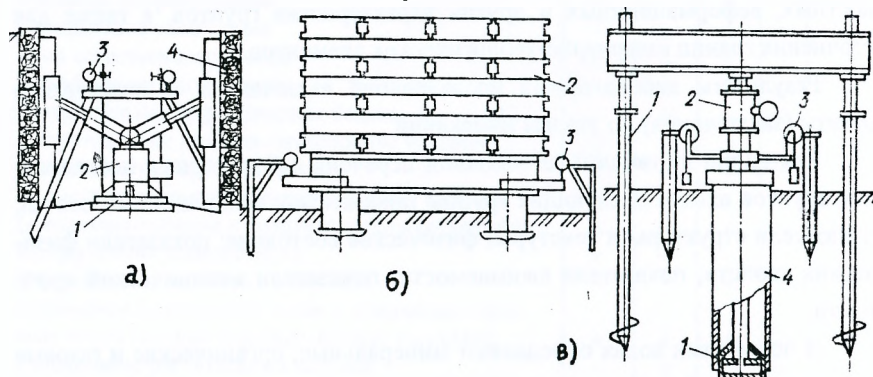


Рис. 169 Схемы установок для испытаний сжимаемости грунтов: а - в шурфах; б - в котлованах; в - в скважинах; 1 - жесткий штамп; 2 - нагрузочное устройство; 3 - устройство для измерений деформаций штампа; 4 - приспособления для укрепления стен скважин и шурфов.

Опытные нагрузки проводят в шурфах, скважинах или непосредственно в строительных котлованах.

Установки для испытаний грунтов включают штамп, нагружающее устройство, устройство для измерения деформаций (осадок) штампа и приспособления для крепления стен шурфов и скважин. На рис. 169 показаны типовые схемы установок.

К опытным нагрузкам относят также испытание несущей способности опытных свай, воздействие на грунты опытных фундаментов или даже целых зданий, специально выстроенных для этих целей.

Однако следует отметить, что исследование грунтов опытными нагрузками (штампами) является трудоемким и дорогостоящим методом. Поэтому иногда применяют прессиометрию, то есть используют прессиометры, дающие возможность определения деформативных характеристик песчано-глинистых пород в буровых скважинах (рис. 170).

Цилиндр с эластичными стенками, разделенный на три камеры давления, опускают на штангах в скважину. Верхняя и нижняя камеры соединены с бачком, а средняя – с измерительным цилиндром. Бачок и измерительный прибор соединены редуктором с газовым баллоном. Давление газа через воду, заполняющую систему, передается на грунт. Показания измерительного цилиндра и характеризуют деформативные характеристики. Зонд с камерой давления подается на нужную глубину посредством планок, а требуемое давление создается редуктором.

Опытные сдвиги выполняют с целью определения прочностных характеристик неоднородных грунтов, из которых нельзя отобрать образцы с ненарушенной структурой (трещиноватые, слабосвязанные, песчано-глинистые и т.д.), а также пород, которые при лабораторных исследованиях дают недостоверные показатели.

Показатели прочности (c и φ) используются для расчетов нормативного давления при проектировании фундаментов зданий и сооружений.

Опытные сдвиги могут проводиться в шурфах или скважинах.

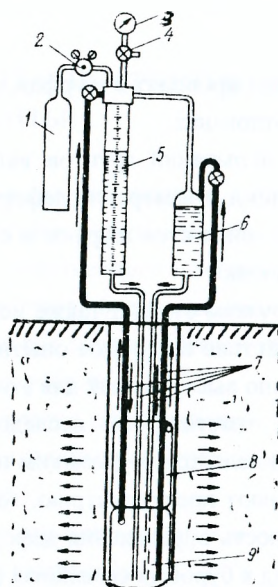


Рис. 170 Прессиометр: 1 - газовый баллон; 2 - редуктор; 3 - манометр; 4 - кран-тройник; 5 - измерительный цилиндр; 6 - бачок; 7 - планки; 8 - вспомогательные камеры; 9 - рабочая камера.

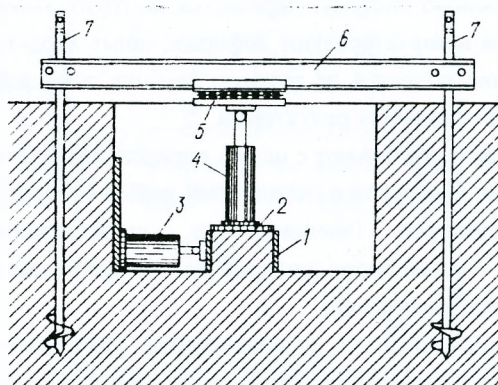


Рис. 171 Установка для определения сопротивления породы сдвиговыми усилиями: 1 - подвижная обойма; 2 - упор; 3 и 4 - домкраты; 5 - динамометр; 6 - опорная балка; 7 - анкерные сваи.

Для относительно устойчивых пород опытные сдвиги (сдвиговые испытания) проводят в шурфах (рис. 171).

Сдвиг возможен как по схеме целика, так и по схеме призмы. Результатом испытаний являются графики зависимости сдвигающих усилий от величины нормального давления.

В однородных иловатых и пластичных глинистых породах часто сопротивление сдвигу определяется крыльчаткой – сдвигомером (лопастным прибором) (рис. 172).

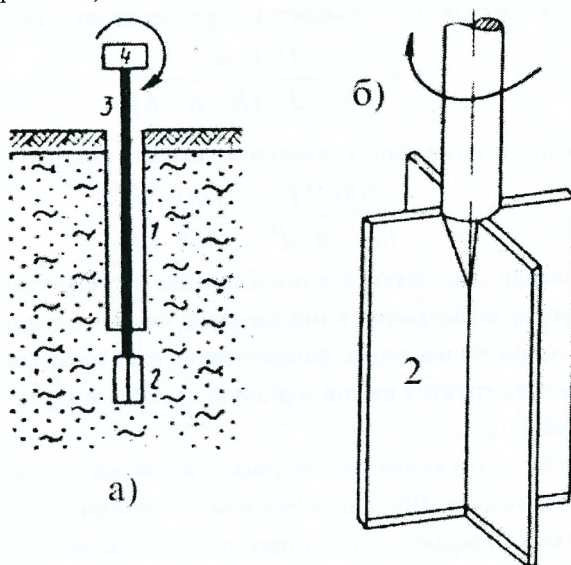


Рис. 172 Схема определения сдвига через скважину (а) и схема крыльчатки (б): 1 - скважина; 2 - крыльчатка; 3 - штанга; 4 - измерительный прибор.

Прибор состоит из четырехлопастной крыльчатки, штанг и измерительного устройства. Крыльчатка штангой вдавливается в грунт, а затем поворачивается. При повороте лопастей измеряют крутящий момент. После этого, зная размеры лопастей, рассчитывают сопротивление сдвигу по формуле

$$\tau = \frac{100 \cdot M}{1.57 \cdot d^2 \cdot (h + d / 3)}, \quad (57)$$

где M - крутящий момент; d - диаметр цилиндра вращения (двойная ширина одной лопасти), см; h - высота цилиндра вращения (высота лопасти), см; τ - сопротивление сдвигу, кПа.

Если испытания крыльчаткой производят не в скважине, а в шурфе или на обнажении, то есть методом вращательного среза на поверхности, то лопасти погружаются обычно полностью и расчет ведется по формуле

$$\tau = \frac{100 \cdot M}{1.57 \cdot d^2 \cdot (h + d / 6)}. \quad (58)$$

Обычно крыльчатки конструктивно выполняют так, что $h=2 \cdot d$, тогда

$$\tau = \frac{100 \cdot M}{1.17 \cdot \pi \cdot d^3} = \frac{100 \cdot M}{3.66 \cdot d^3}. \quad (59)$$

Зондирование выполняют для исследования песчано-глинистых пород. Сущность метода заключается в определении сопротивления проникновению в грунт наконечника зонда. Зондирование дает представление о плотности и прочности грунтов на той или иной глубине и характеризует изменение их с глубиной.

По способу погружения наконечника различают зондирование динамическое и статическое. При динамическом зондировании погружение зонда осуществляется ударами стандартного груза, падающего с определенной высоты. плотность и прочность грунтов характеризуется числом ударов, необходимых для забивки зонда на определенную глубину. Статическое зондирование заключается в задавливании зонда в толщу пород и фиксации, необходимых для этого, усилий. На рис. 173 приведены примеры графиков статического и динамического зондирования.

Зондирование дает менее точные результаты чем все другие методы, поэтому оно в сочетании с другими инженерно-геологическими исследованиями используется для:

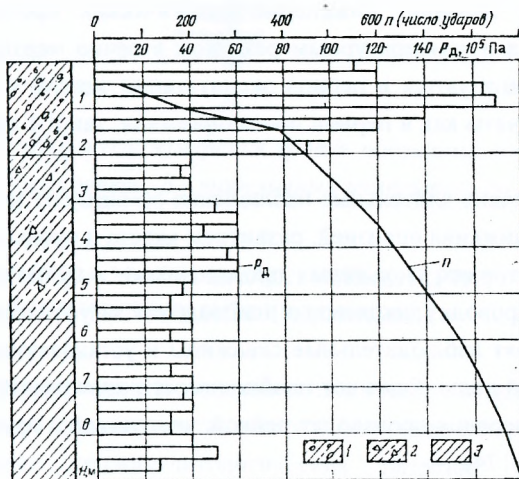
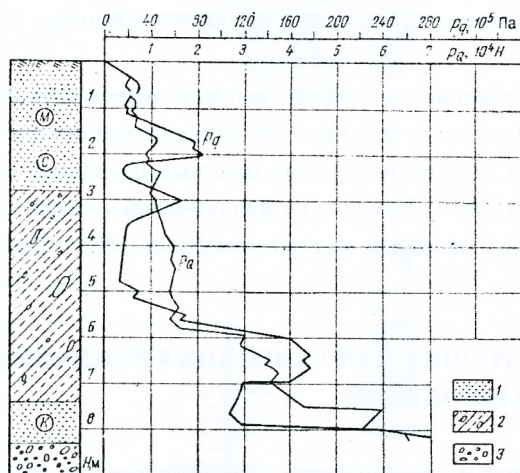


Рис. 173 Общий вид графиков зондирования: а) статического; б) динамического; 1 - пески (М - мелкие; С - средние; К - крупные); 2 - суглинки; 3 - галечники; 4 - супеси; 5 - лессовидные суглинки; 6 - глины.

- 1) выделения инженерно-геологических элементов (ИГЭ);
- 2) оценки пространственной изменчивости состава и свойств грунтов;
- 3) определения глубин залегания кровли скальных и крупнообломочных пород;
- 4) ориентационной оценки физико-механических свойств грунтов;
- 5) определения степени уплотнения и упрочнения грунтов во времени;
- 6) выбора мест расположения опытных площадок и отбора образцов грунта для детального изучения их физико-механических свойств.

Для зондирования используют установки С-979; С-832; УПБ-15; УТБ-50А и др.

10.8 МЕТОДИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ РЕЖИМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Стационарные наблюдения организуются за развитием физико-геологических явлений, инженерно-геологических процессов, режимом подземных вод и температурным режимом в вечно мерзлых грунтах. Наблюдения организуются в период эксплуатации зданий и сооружений, но могут быть начаты как в период проектирования, так и в период строительства.

Обычно такие длительные наблюдения организуют за скоростью и направлением движения оползней, развитием карста и суффозии.

На территориях, сложенных просадочными и пучинистыми породами обязательно проводят постоянные наблюдения за уровнем грунтовых вод. Для этого бурят наблюдательные скважины и устанавливают на них самописцы уровней воды. Если нет необходимости постоянной фиксации уровней, то их измерения производят рейкой, хлопущкой и другими приспособлениями (рис. 174).

Следует отметить, что стационарные наблюдения занимают важное место в обеспечении нормальной эксплуатации зданий и сооружений.

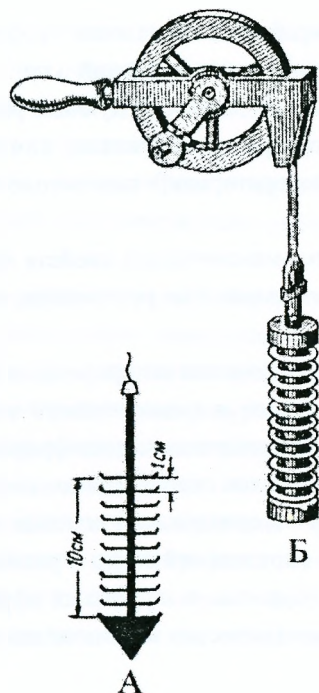


Рис. 174 Приборы для измерения уровня подземных вод в скважинах:
А - тарелочный измеритель; Б - тарелочный измеритель со свистком.

10.9 ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ИНЖЕНЕРНО - ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обработка материалов инженерно-геологических изысканий производится по мере необходимости в течение всего периода производства работ. Так, составление геолого-литологических разрезов и инженерно-геологических карт начинается уже в процессе инженерно-геологической съемки. Их предварительные варианты используются для уточнения геолого-литологических границ участков процессов, а также определения мест

заложения горных выработок, проведения геофизических, зондировочных, пенетрационно-каротажных исследований и пр.

В состав камеральных входят следующие работы:

- петрографическое, литологическое, химическое, минералогическое изучение грунтов в лабораториях; палеонтологические определения (при необходимости);

- изучение физико-механических свойств грунтов в стационарных лабораториях и систематизация этих результатов, составление графиков, таблиц;

- обработка и геологическая интерпретация материалов геофизических исследований, статического и динамического зондирования, пенетрационно-каротажных работ; окончательное дешифрирование аэрофотоснимков;

- обобщение материалов гидрогеологического изучения;

- систематизация материалов всех полевых наблюдений;

- корректировка определений видов и разновидностей грунтов во всех полевых материалах (буровых и шурфовых журналах, колонках и пр.) по результатам физико-механических и химических исследований их состава и свойств;

- уточнение геолого-литологических разрезов и карт на основании комплексного учета всех проведенных видов исследований;

- составление технического отчета (заключения) на основе анализа и обобщения материалов по изысканиям, проведенным на площадке.

Обработка материалов инженерно-геологических изысканий и составление технического отчета для районов развития просадочных, засоленных и вечномерзлых грунтов, а также других территорий со сложными природными условиями, должны выполняться с учетом особенностей, приведенных выше.

10.10 ИНЖЕНЕРНО - ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инженерно-геологический отчет – это итоговый документ инженерно-геологических исследований. Его содержание и объем зависит от стадии

проектирования, вида и сложности строительства. В состав отчета обычно входит четыре части: общая, специальная, графические приложения и инженерно-геологическая (пояснительная) записка.

Общая часть отчета начинается с введения, в котором указываются цели и задачи исследований, состав, объем и характеристика выполненных работ, состав исполнителей, местонахождение района исследований и сроки работ.

В разделе “Физико-географический очерк” описывается орография, гидрография и климат. Здесь дается характеристика рельефа, речной сети, паводков, половодий и климатических особенностей района (среднемесячные и максимальные температуры; количество осадков и интенсивность их выпадения; направление и роза ветров; промерзание грунтов и т.д.).

В разделе “Геолого-литологические условия” приводится весь материал по геологическому строению, стратиграфии и тектонике.

В разделе “Гидрогеологические условия” описываются подземные воды, условия их питания, движение, состав, агрессивность, фильтрационные свойства пород и т.д.

В разделе “Природные геологические явления и инженерно-геологические процессы” описываются все процессы, которые могут оказать влияние как на строительство, так и на эксплуатацию зданий и сооружений.

Общая часть обычно заканчивается разделом “Полезные ископаемые”, где описываются все имеющиеся месторождения с целью прогноза влияния строительства на условия их разработки, а также использование имеющихся запасов строительных материалов (песок, камни и т.д.) при строительстве данного объекта.

Специальная часть отчета также состоит из ряда отдельных разделов, которые содержат описание конструкций проектируемых зданий и сооружений, их требования к строительным условиям, расчетные значения физико-механических свойств грунтов и т.д. Иногда приводится технико-экономическое сравнение конкурентоспособных стройплощадок и участков застройки.

В конце отчета даются “Выводы и рекомендации” (то есть “Заключение”) по всем разделам, а также перечень используемой литературы и других архивных и нормативных материалов.

К отчету прилагается различный графический материал (карты, разрезы, колонки разведочных выработок и т.д.).

Следует иметь в виду, что инженерно-геологический отчет обычно заказчику не выдается, а остается в архиве проектной организации.

К проекту только прилагается краткая инженерно-геологическая записка, где дается краткое описание естественных условий и основные выводы.

В строительной практике зачастую вместо инженерно-геологического отчета составляется инженерно-геологическое заключение. Выделяют три вида заключений: 1) по условиям строительства объекта; 2) о причинах деформаций зданий и сооружений; 3) экспертное.

Заключение по условиям строительства имеет характер сокращенного инженерно-геологического отчета. Такое заключение обычно выполняется на строительство отдельного здания или сооружения.

Заключения о причинах деформаций зданий и сооружений могут иметь различное содержание и объем. В их основу ложатся материалы ранее приведенных исследований и осмотр сооружений и местности. При необходимости выполняется небольшой объем дополнительных инженерно-геологических исследований. Заключение должно вскрыть причины деформаций и указать пути их устранения.

Инженерно-геологическая экспертиза проводится только по проектам крупных сооружений. Основой для экспертизы является наличие спорных и разноречивых оценок природных условий (в процессе изысканий) или аварий сооружений (в процессе их эксплуатации).

Экспертиза проводится только специалистами высшей квалификации и позволяет установить правильность методов исследований, достаточность объемов работ по исследованиям, причины аварий, правомерность и обоснованность выводов и рекомендаций и т.д.

В зависимости от объема работ экспертиза может быть кратковременной и долговременной. При проведении экспертизы может осуществляться

не только анализ проектной и исполнительной документацией, но и выполнение специальных инженерно-геологических исследований (работ). Проведение таких работ требует составления заключения или даже инженерно-геологического отчета.

Экспертиза должна дать ответ на поставленные вопросы, содержать необходимые конкретные рекомендации, обоснования и доказательства целесообразности предлагаемых инженерно-технических мероприятий.

10.11 ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

Исследования инженерно-геологических условий территории строительной площадки требуют проведения инженерно-геологических изысканий в два этапа.

На первом этапе проводится комплекс работ для выбора участка строительства, а на втором – инженерно-геологические исследования с определением прочности и деформативности грунтов основания и их устойчивости, с учетом действующих нагрузок и конструктивных особенностей здания и сооружения. Результаты инженерно-геологических изысканий отражают в инженерно-геологических отчетах, в которых в зависимости от стадии проектирования даются с определенной степенью детализации инженерно-геологические условия территории проектируемого здания или сооружения.

В отчетах отражаются:

- местная природная обстановка;
- основные данные об инженерно-геологических явлениях на территории строительства, обнаруженных или возможных во время строительства или в процессе эксплуатации зданий и сооружений;
- рекомендации по преодолению инженерно-геологических явлений и процессов, представляющих опасность для объектов строительства, изучение местного опыта строительства зданий и сооружений;
- геологическое строение и тектоническая структура района;

- литологическое строение основания будущего здания или сооружения;
- гидрогеологическая характеристика района строительства;
- результаты определения физико-механических свойств грунтов основания и рекомендуемые расчетные характеристики.

К отчету об инженерно-геологических исследованиях территории строительной площадки прилагаются табличные и графические материалы. К таким относятся геологические и гидрогеологические карты и инженерно-геологические разрезы толщи грунта и инженерно-геологические колонки скважин.

Геолого-литологический разрез строят для ряда створов в целях освещения геологического строения грунтовой толщи, литологического состава слагаемых пород, их возраста, показателей состава и положения уровней подземных вод. Для каждой выработки по инженерно-геологическим колонкам строят геологические профили, на которые помимо указанных выше данных наносятся места отбора проб грунта (рис. 175).

Для расчета оснований и фундаментов по предельным состояниям необходимо располагать расчетными характеристиками всех обнаруженных разновидностей грунтов.

Очень важно установить механические свойства (прочность, деформируемость) с учетом привязки к проектируемому зданию или сооружению. В противном случае потребуется большой объем неоправданных исследований или необходимые исследования могут оказаться не проведенными.

Расчетные характеристики механических свойств грунтов должны определяться на образцах грунтов с ненарушенной структурой. Нарушение естественного состояния образцов при отборе их из толщи грунтов, как правило, приводит к значительному искажению показателей деформируемости и прочности. Не менее важным является соотношение объема полевых и лабораторных испытаний. Как известно, полевые опыты имеют ряд преимуществ перед лабораторными испытаниями. Главное в них заключается в том, что они проводятся в условиях естественного залегания грунтов

и их результаты являются более точными по сравнению с лабораторными данными.

Отметка устья 85,4 м				Начальный $d=127$ мм Конечный $d=89$ мм		Уровень подземных вод	Место отбора проб грунта	Описание пород
Геологический возраст	Глубина подошвы слоя, м	Отметка подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Литологический разрез; водоносность	Появление	Устойчивость		
р-р ₄	2	83,4	2		84,6	84,6	Δ	Песок пылеватый
	4,4	81	2,4			82,2	□	Суглинок мягкопластичной консистенции
рр-р ₂							□	Морена-суглинок тяжелый с включениями гравия, гальки и валунов, тугопластичный
	10,4	73	2		75		□	
ррр-р ₂	12,4	73	2				Δ	Песок разнородный с гравием и галькой
							Δ	Глина черная слюдистая
							□	

Рис. 175 Инженерно-геологическая колонка.

В табл. 53 также приведен сводный перечень основных расчетно-нормативных характеристик грунтов, которые должны интересовать инженера-строителя в первую очередь.

*Сводный перечень основных расчетно-нормативных
характеристик грунтов*

Таблица 53

Наименование группы показателей	Показатель	Услов. обозначение	Расчетная формула и размерность
1	2	3	4
I Вещественный состав	1 Минеральный состав	—	—
	2 Химический состав	—	—
	3 Органическая часть	—	—
	4 Включения, примеси	—	—
	5 Новообразования	—	—
	6 Состав и тип цемента	—	—
II Показатели структуры и текстуры	1 Гранулометрический состав	—	—
	2 Пористость	n	$n = \frac{e}{1+e}$, д. ед.
	3 Коэффициент пористости	e	$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1$, д. ед.
	4 Степень плотности	J_d	$J_d = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$, e_{max} и e_{min} соответственно коэффициент пористости в плотном и рыхлом состояниях
	5 Тип структурных связей	—	—
III Физическое состояние	1 Естественная влажность	W	$W = \frac{m_a}{m_{с.з.р}} \cdot 100\%$
	2 Пределы пластичности	W_L, W_P	$J_p = W_L - W_P$
	3 Число пластичности	J_p	$J_L = \frac{W - W_P}{W_L - W_P}$
	4 Показатель консистенции	J_L	$S_r = \frac{W \cdot \gamma_s}{e \cdot \gamma_w}$
	5 Степень влажности	S_r	—
	6 Выветренность	C_v	—

1	2	3	4
IV Показатели физических свойств	1 Плотность	ρ	$\rho = \frac{m}{V}, \text{ г/см}^3$
	2 Плотность частиц	ρ_s	$\rho_s = \frac{m_{m.z.}}{V_{m.z.}}, \text{ г/см}^3$ <i>m</i> и <i>m_{m.z.}</i> - соответственно масса грунта и масса твердых частиц грунта, <i>V</i> и <i>V_{m.z.}</i> - соответствующие объемы
	3 Плотность сухого грунта	ρ_d	$\rho_d = \frac{\rho}{1+W}, \text{ г/см}^3$
	4 Плотность в водонасыщенном состоянии	ρ_{sw}	$\rho_{sw} = \frac{\rho_s - \rho_w}{1+e}, \text{ г/см}^3$
	5 Удельный вес	γ	$\gamma = \rho \cdot g, \text{ кН/м}^3$
	6 Удельный вес частиц	γ_s	$\gamma_s = \rho_s \cdot g, \text{ кН/м}^3$
	7 Коэффициент фильтрации	K_ϕ	<i>g</i> - свобод. Ускорение $K_\phi = \frac{V}{J}, \text{ м/сут}$ <i>J</i> - установившийся градиент напора; <i>V</i> - установившаяся скорость фильтрационного потока
	8 Растворимость	k_r	—
	9 Размокаемость	k_{sof}	—
	10 Набухание	ϵ_{sw}	—
	11 Липкость	k_{ls}	—
	12 Водоотдача	μ	—
V Сжимаемость	1 Компрессия	—	—
	2 Модуль сжимаемости (осадки)	ϵ_z	$\epsilon_z = \frac{\Delta h}{h_0}, \text{ мм/м}$ <i>Δh</i> и <i>h₀</i> - соответственно уменьшение и начальная высота грунтового массива

продолжение таблицы 53

1	2	3	4
	3 Модуль общей деформации	E	$E = \frac{1 + e_0}{m_v} \cdot \beta$, МПа m_v - коэффициент относительной сжимаемости
V Сжимаемость	4 Модуль упругости	E_0	$E_0 = \frac{e_p}{\sigma}$, МПа
	5 Коэффициент Пуассона	ν	—
VI Механическая прочность	<u>А Связные породы:</u> 1 Сопротивление сдвигу 2 Удельное сцепление 3 Угол внутреннего трения 4 Коэффициент бокового давления <u>Б Рыхлые породы</u> 1 Общее сопротивление сдвигу 2 Угол естественного откоса 3 Коэффициент бокового давления <u>В Для скальных и полускальных пород</u> 1 Временное сопротивление сжатию 2 Коэффициент бокового давления	τ c φ ξ τ φ ξ R_c ξ	$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c$, кПа кПа град $\xi = \frac{\nu}{1 - \nu}$ $\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$, кПа град $\xi = \frac{\nu}{1 - \nu}$ кПа $\xi = \frac{\nu}{1 - \nu}$ ν - коэф. Пуассона

Характеристика природных условий территории
по степени пригодности для строительства

Таблица 54

Природные факторы	Территория		
	пригодная	ограниченно пригодная	непригодная
1	2	3	4
Рельеф	С уклоном от 0.5 до 8%	С уклоном менее 0.5% и от 8 до 12%, а в горных местностях до 20%	С уклоном свыше 12%, а в горных местностях более 20%

продолжение таблицы 54

1	2	3	4
Грунты	Допускающие возведение зданий и сооружений без устройства искусственных оснований и усиления фундаментов	Требующие устройства искусственных оснований для зданий и сооружений и усиления фундаментов	Требующие устройства сложных фундаментов при расчетном сопротивлении менее 100 кПа, а также плывуны и макропористые просадочные грунты III категории
Грунто-вые воды	Допускающие строительство без проведения работ по понижению уровня грунтовых вод или без устройства сложной гидроизоляции	Требующие понижения уровня грунтовых вод, устройства сложной гидроизоляции или проведения противокоррозионных мероприятий	
Заболоченность	Не имеющие заболоченности или допускающие возможность осушения территории простейшими методами	Требующие специальных работ по осушению	Значительная заболоченность. Торфяник слоем более 2 м.
Затопляемость	Незатопляемые	Затопляемые не чаще одного раза в 25 лет с наивысшим горизонтом высоких вод над поверхностью земли не более 0.6 м	Затопляемые чаще одного раза в 25 лет
Оползни, карсты и овраги	Отсутствуют	Имеются не действующие активные оползни, карсты, овраги на небольшой площади, требующие несложных инженерных мероприятий	Значительно распространены действующие оползни, карсты и овраги, требующие сложных инженерных мероприятий

продолжение таблицы 54

1	2	3	4
Обрушение береговой полосы, связанное с эрозийными и оползневыми процессами	Береговой откос ниже бровки весьма слабо подвержен эрозии и оползанию. Допустимое приближение застройки береговой полосы к бровке откоса <i>1Н-3Н</i> . (<i>Н</i> - высота откоса с учетом возможного данного размыва)	Береговой откос подвержен эрозии и оползням. Допускаемое приближение застройки береговой полосы к бровке откоса <i>3Н-10Н</i>	Береговой откос сильно подвержен эрозии и оползням. Допускаемое приближение застройки береговой полосы к бровке откоса <i>10Н-20Н</i>

В табл. 54 приведена сводная характеристика природных условий территории по степени пригодности для строительства.

Глава 11 МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНО - ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

11.1 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Инженерно-геологические изыскания для дорожного строительства выполняются в два этапа. Первый этап – для обоснования проектного задания, а второй – для разработки рабочего проекта.

Программа инженерно-геологических исследований составляется на основании технического задания. Особое внимание должно быть обращено на изучение участков, в пределах которых строительство и эксплуатация дорог и транспортных сооружений могут быть осложнены инженерно-геологическими процессами, или же на которых необходимо строительство сложных и ответственных сооружений (акведуков, виадуков, путепроводов, ливнесбросов и т.п.).

Объем исследований должен обеспечить получение данных, необходимых для размещения на всех конкурентоспособных вариантах трасс сооружений и предварительного выбора их типов, наилучшего варианта трассы и составления программы дальнейших исследований для утвержденного варианта трассы.

Первичной и основной является инженерно-геологическая съемка. Ширина ее полосы зависит от сложности инженерно-геологических условий и она принимается от 300 м (для простых) до 1 км и более (для сложных условий).

Наземная инженерно-геологическая съемка обычно сопровождается аэрогеологическими исследованиями, включающими как аэрофотосъемку, так и аэровизуальное обследование местности.

При дорожных изысканиях проходятся в основном мелкие скважины глубиной до 5 м (максимум до 10 м) и шурфы. Однако на участках мостовых переходов, глубоких выемок и косогоров иногда закладывают глубокие скважины, шахты и штольни.

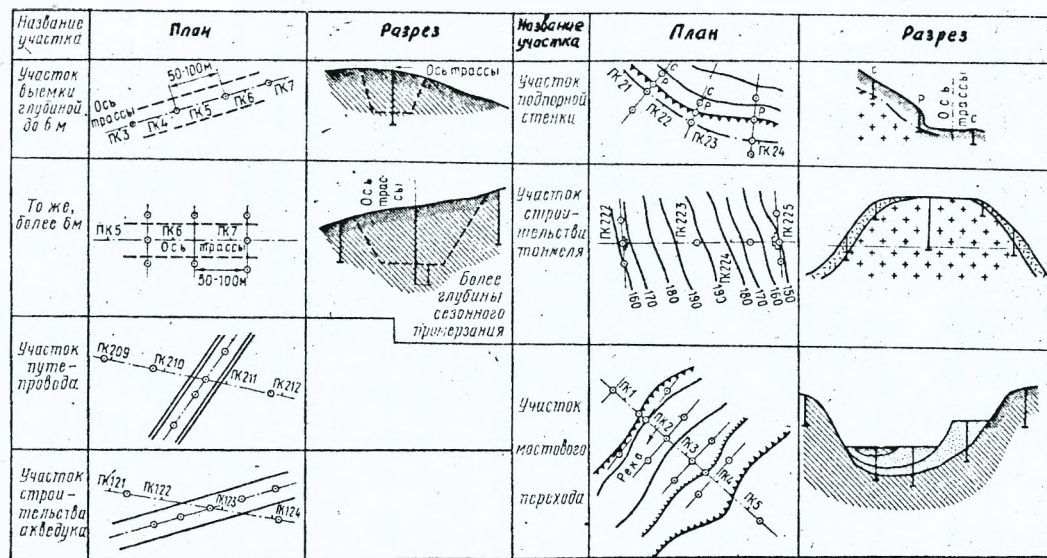


Рис. 176 Примерные схемы размещения выработок при изысканиях для дорожного строительства на участках с различными инженерно-геологическими условиями.

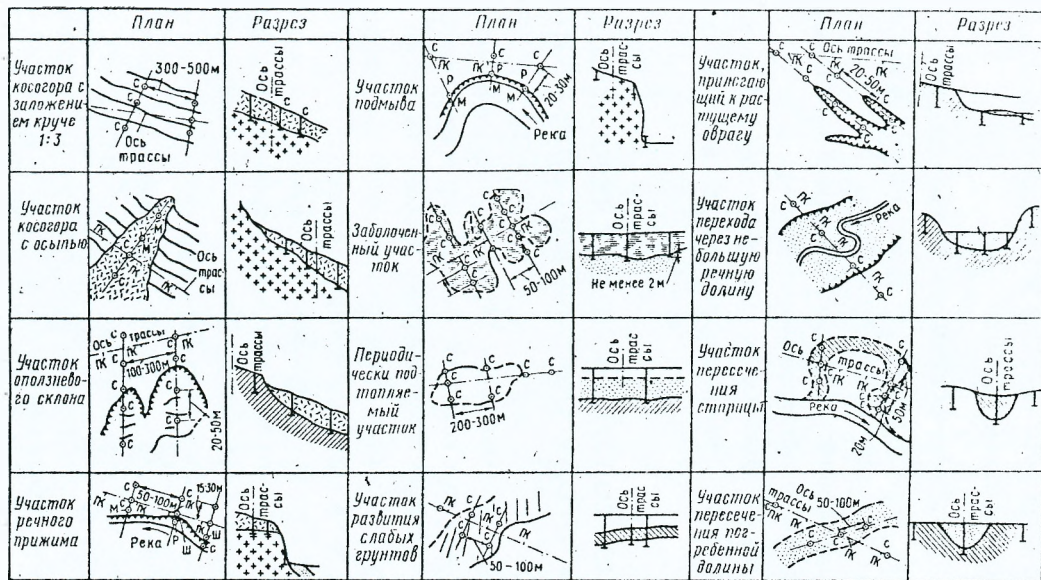


Рис. 177 Примерные схемы расположения выработок при изысканиях на участках строительства сооружений на дорогах.

На участках развития слабых прослоек и на болотах выработки закладываются по оси трассы на расстоянии 200-500 м и на поперечниках к трассе через 100-200 м. В местах развития оползней, осыпей и на косогорах разведочные поперечники задаются через 300-500 м, а на участках мостовых переходов и других сооружений – 25-50 м.

Примерные схемы расположения выработок при изысканиях для дорожного строительства на участках с различными инженерно-геологическими условиями приведены на рис. 176.

На рис. 177 приведена примерная схема расположения выработок при изысканиях на участках строительства сооружений на дорогах.

Кроме того значительные объемы исследовательских работ проводятся с целью поиска, разведки и опробования месторождений строительных материалов.

11.2 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОРРОЗИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГРУНТОВ

Все металлические конструкции и элементы, расположенные ниже поверхности земли, подвергаются коррозии. Почвенно-грунтовая коррозия металлов представляет собой электрохимический процесс, протекание которого зависит от химического состава грунтов, их влажности и воздухопроницаемости, вида металла и характера его поверхности.

Полевое определение степени коррозионности грунтов производится методом измерения их удельного электрического сопротивления с помощью измерителя МС-08 или М-416.

Величина удельного электрического сопротивления и определяет степень коррозионности: низкая – более 100 Ом·м, средняя – 20-100, повышенная – 10-20, высокая – 5-10 и весьма высокая – менее 50 Ом·м.

Исследование влияния блуждающих токов на подземные сооружения производится методом контактных замеров.

Интенсивная коррозия обычно наблюдается в щелочной среде ($pH \geq 8$) и при содержании SO_4^{2-} более 0,01%, а также в кислой среде ($pH < 5$).

Коррозионная активность всех грунтов (исключая засоренные посторонними веществами) приведена в таблице 55.

Показатели коррозионной активности

Таблица 55

Показатели грунтов				Коррозионная активность
pH	содержание ионов, %			
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Fe ³⁺	
1	2	3	4	5
6-7,5	<0.001	<0,005	<0,002	Низкая
4,5-6 и 7,5-8,5	0,001-0,005	0,005-0,01	0,002-0,01	Средняя
<4,5 и >8,5	>0,005	>0,01	>0,01	Высокая

Коррозионная активность водонасыщенных грунтов и соответственно подземных вод приведена в табл. 56.

Показатели коррозионной активности воды

Таблица 56

Показатели воды				Коррозионная активность
pH	содержание ионов, мг/л			
	Cl	SO ₄ ²⁻	Fe ³⁺	
1	2	3	4	5
6-7,5	<5	<30	<1	Низкая
4,5-6 и 7,5-8,5	5-50	30-150	1-10	Средняя
<4,5 и >8,5	>50	>150	>10	Высокая

По оценке коррозионности грунтов необходимо учитывать материалы исследований по уже существующим сооружениям, расположенных вблизи проектируемых.

В техническом отчете должны быть освещены характеристика почв и почвообразующих грунтов, включая данные об их химическом составе,

физических и механических свойствах, а также их коррозионные свойства с учетом опыта ранее осуществленного строительства и эксплуатации подземных металлических сооружений. К отчету должны быть приложены: продольный геолого-литологический профиль и план участка с указанием степени коррозионности грунтов, графики удельных электрических сопротивлений грунтов, колонки скважин и шурфов, потенциометрический журнал.

В выводах даются рекомендации по выбору защитных противокоррозионных мероприятий, вытекающие из всей совокупности данных о коррозионной активности грунтов и естественно-исторических условий района исследований.

11.3 ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО – ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ ДЕФОРМАЦИЙ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

При деформации зданий и сооружений необходимо в первую очередь определить характер деформаций и причины, приведшие к этим деформациям. На рис. 178 показаны основные формы деформаций сооружений.

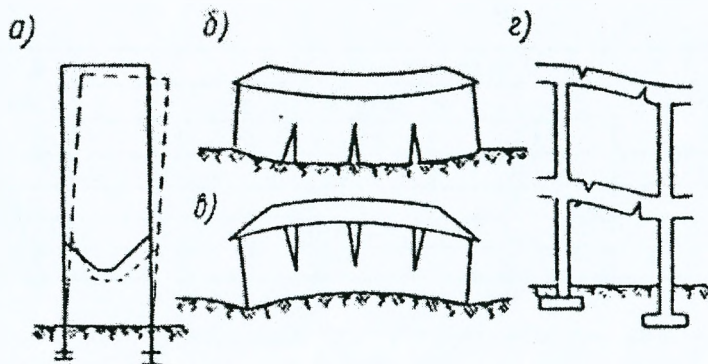


Рис. 178 *Формы деформаций сооружений: а - крен; б - прогиб; в - выгиб (перегиб); г - перекос.*

Причинами деформаций могут быть:

- недостаточная прочность материалов фундаментов;
- увеличение нагрузок на фундаменты и основания;
- строительство новых зданий и сооружений, заглубляемых ниже подошвы фундаментов существующих зданий;
- агрессивность подземных вод;
- изменение уровня подземных вод;
- замачивание оснований атмосферными и производственными сточными водами с последующим снижением несущей способности оснований и изменением сжимаемости;
- допущенные при инженерно-геологических изысканиях ошибки, к которым относятся, например, недостаточная глубина геологических выработок, не обнаруженные торфяные прослойки, не выявленная многолетняя мерзлота, пропущенные карстовые пустоты и подземные выработки, недостаточное число геологических выработок и т.д.;
- морозное пучение грунтов при закладке фундаментов в деятельный слой;
- неправильно выбранный метод укрепления грунтов основания.

Обследование зданий и сооружений начинается с анализа инженерно-геологических материалов, проекта и строительной документации. Затем осматривается надземная часть зданий и сооружений и территория, прилегающая к ним. Следующим этапом работ является обследование фундаментов и грунтовых оснований. Завершающий этап исследований состоит в составлении заключения по результатам полевых и лабораторных работ.

Для обследования фундаментов и грунтовых оснований в местах деформаций, закладывают шурфы и по мере их углубления производят тщательный осмотр, при котором устанавливают прочность фундамента, наличие пустот, трещин и т.д. При вскрытии грунтового основания определяется вид и разновидность грунта, замеряется уровень подземных вод. Для изучения физико-механических свойств грунтов отбираются монолиты с сохранением структуры и влажности. Геолого-литологическое строение на глубину активной зоны определяется бурением скважин со дна шурфов. Число скважин устанавливается в зависимости от размера здания или сооружения.

Заключение о причинах деформаций зданий и сооружений должно содержать: перечень документов, на основании которого составлено заключение; сведения об объеме выполненных полевых и лабораторных работ; характеристику рельефа и водоотвода; данные о состоянии подземных частей зданий и фундаментов; характеристику грунтов оснований и активной зоны по результатам полевых и лабораторных исследований; анализ причин, приведших к деформациям и рекомендации по усилению фундаментов, оснований и надземных частей зданий и сооружений.

При длительных деформациях зданий и сооружений организуется служба наблюдений за ходом изменений форм отдельных конструкций или же сооружения в целом. Для этого к перечисленным выше исследованиям добавляется цикл точного нивелирования относительно постоянного глубинного репера, установленного на глубине 10-20 м, то есть примерно на глубине пояса постоянной температуры.

Инструментальное изменение осадок зданий и сооружений должно выполняться по сезонам года. полученные инженерно-геологические материалы в совокупности с данными по изменению осадок, как правило, дают исчерпывающие сведения о характере и причинах деформаций зданий и сооружений и позволяют разработать надежные методы по их устранению.

11.4 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

Проектирование для городского и поселкового строительства осуществляется поэтапно: планировка и план размещения первоочередного строительства; детальная планировка; проект застройки. Соответственно этим стадиям проводятся инженерно-геологические исследования.

Инженерно-геологические исследования для проекта планировки городов (поселков) должны дать оценку значительной территории с точки зрения возможности использования ее для строительства. Геологические работы проводятся в сочетании с другими исследованиями и проектными проработками; экономическими, климатическими, гидрологическими, санитарно-гигиеническими и т.д.

По изучаемой территории должны быть получены сведения о рельефе, гидрологии, климате, почвах, растительности, геологическом строении, гидрогеологии, природных геологических явлениях и инженерно-геологических процессах (оползнях, карсте, просадках, сейсмике и т.д.), составе и свойствах грунтов.

Инженерно-геологические изыскания проводят в три периода: подготовительный, полевой и камеральный.

В подготовительный период главной работой является сбор и анализ материалов инженерно-геологических работ прошлых лет. При достаточном количестве таких материалов исследования для проекта планировки города могут быть ограничены выездом инженера-геолога на местность с целью рекогносцировочного осмотра участка и проходки небольшого числа разведочных выработок для уточнения инженерно-геологических условий.

В полевой период на изучаемой территории проводят инженерно-геологическую съемку, проходят разведочные выработки (скважины и шурфы), при необходимости выполняют полевые опытные работы и стационарные наблюдения.

Инженерно-геологическая съемка производится в масштабе 1:5000, 1:25000 в зависимости от сложности геологического строения и размеров изучаемой территории. В результате съемки на территории могут быть выделены участки:

- 1) благоприятные для строительства;
- 2) условно благоприятные, то есть допускающие строительство, но при условии проведения некоторых защитных мероприятий;
- 3) неблагоприятные для строительства.

Разведочные выработки вскрывают геолого-литологическое строение местности, подземные воды и позволяют произвести отбор образцов. Размещение и характер выработок, их количество и глубина зависят от сложности и местных особенностей изучаемой территории. Ориентировочное расстояние между разведочными точками равняется 300-500 м. При необходимости задаются дополнительные скважины. Глубина скважин чаще всего – 20-25 м.

Опытные работы в виде опытных нагрузок на грунты оснований, опытных откачек подземных вод и других работ проводятся, главным образом в случаях сложных инженерно-геологических условий и для районов, предназначенных для многоэтажного строительства.

При наличии на изучаемой местности ряда процессов и явлений, которые в будущем могут оказать отрицательное воздействие на здания, организуют стационарные наблюдения за режимом подземных вод, поведением оползней, поверхностной эрозией, размывом берегов, просадками, карстовыми явлениями и суффозией.

Лабораторные исследования должны определить тип и свойства грунтов, дать оценку подземным водам с точки зрения их агрессивности и возможности использования в целях водоснабжения.

Очень часто в сферу исследования попадают сложные территории, обладающие специфическими, особыми условиями. Помимо вышеуказанных исследований, эти участки земной поверхности требуют проведения дополнительных инженерно-геологических работ. К участкам с особыми условиями относятся районы вечной мерзлоты, карстовые, сейсмические, оползневые, с просадочными лессовыми грунтами, а также берега морей, озер и водохранилищ, заболоченная местность, участки с подземными горными выработками и др.

Камеральная обработка результатов исследований начинается еще в период полевых работ. Это позволяет обнаружить ошибки и вовремя их исправить. Окончательную обработку всех материалов и написание инженерно-геологического отчета производят после окончания всех полевых и лабораторных работ. Отчет служит основанием для составления проекта планировки и плана размещения первоочередного городского и поселкового строительства.

Проект детальной планировки города (поселка) включает в себя архитектурно-планировочную и техническую организацию районов застройки первой очереди, устанавливает последовательность застройки, решает вопросы благоустройства, содержит проекты детальной планировки и застройки отдельных городских районов.

Основой инженерно-геологических исследований для проекта детальной планировки являются материалы, полученные при изысканиях для проекта планировки. Аналогичны состав и содержание работ и их последовательность (подготовительные работы, полевой период, камеральная обработка материалов).

На этой стадии производят более детальное изучение геологии местности и свойств грунтов. Для этого закладывают дополнительные буровые скважины по створам для новых или реконструируемых улиц, в местах специальных сооружений. Глубина скважины под сооружением в большинстве случаев достигает 8-10 м. При наличии слабых пород закладываются шурфы с отбором 2-3 образцов для проведения полного комплекса лабораторных исследований.

Проект застройки в пределах существующего города предусматривает строительство отдельных микрорайонов, кварталов, улиц и площадей. Проектирование проводится в две стадии – проектного задания и рабочих чертежей. Перед каждой стадией выполняются инженерно-геологические исследования.

Исследования для проектного задания освещают геологические и гидрогеологические условия всей изучаемой площадки, характеризуют инженерно-геологические свойства грунтов. В случае, если для данной площадки ранее проводились изыскания для проекта планировки и проекта детальной планировки, то этих материалов вполне достаточно, чтобы не проводить новых исследований на стадии проектного задания застройки. При отсутствии каких-либо инженерно-геологических исследований изыскания проводятся в составе и объеме, как это было показано выше, для проекта планировки и проекта детальной планировки.

На стадии рабочих чертежей инженерно-геологические материалы могут быть оформлены в одном отчете.

При составлении рабочих чертежей возможны случаи назначения дополнительных исследований. Это связано главным образом с изменениями в размещении зданий или проверкой имеющихся геологических материалов.

11.5 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ОТДЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Для разработки проекта строительства отдельных зданий изучению подвергается ограниченная площадь (строительная площадка). Объем проводимых на них работ зависит от сложности инженерно-геологических условий, которые подразделяются на три категории:

I категория – участки с простой геологией; слои залегают горизонтально; несущая способность грунтов не вызывает сомнения; грунтовые воды залегают ниже активной зоны; мощность насыпных грунтов не превышает 2 м;

II категория – участки средней сложности; толща сложена из 4-5 литологически различных слоев в виде складок; грунтовые воды залегают в пределах активной зоны; мощность насыпных грунтов составляет 3-4 м;

III категория – участки сложные; расположены в пределах пересеченного рельефа; толща многослойная; залегание слоев складчатое; нарушенное; грунтовые воды залегают выше подошвы фундаментов; активная зона содержит слабые грунты типа ила, торфа; мощность насыпных грунтов превышает 4 м; на участке развиты природные геологические явления.

Инженерно-геологические работы выполняются в обычном порядке. Вначале проводят сбор и анализ материалов ранее проводимых изысканий. В соответствии с этим намечается программа исследования. Далее участок изучают разведочными выработками. Отобранные при этом образцы грунтов и пробы подземных вод направляют для лабораторных исследований. Для высотных зданий (более 9 этажей) на площадке проводят испытания грунтов опытными нагрузками.

Выполненные исследования обобщают и представляют в виде заключения об инженерно-геологических условиях площадки. К заключению прилагают план расположения выработок, разрезы, таблицы. Это служит основанием для составления проекта застройки отдельного здания. Большое значение при этом имеет изучение и обобщение опыта строительства и эксплуатации зданий на соседних участках в сходных геологических условиях.

Разведочные выработки должны выявить геолого-литологическое строение площадки, определить наличие подземных вод, дать необходимое количество монолитов грунтов для различных исследований. Кроме буровых скважин в небольшом количестве закладывают шурфы. Это позволяет уточнить геологию участка и отобрать монолиты большого размера. Количество шурфов по отношению скважин составляет 1:10 - 1:20. Расстояние между скважинами зависит от категории сложности инженерно-геологических условий и колеблется от 150 до 50 м. Глубина разведочных выработок ориентировочно определяется нагрузкой будущего здания, типом фундамента и уровнем грунтовых вод.

На рис. 179 показан план расположения выработок при исследовании участка строительства здания школы.

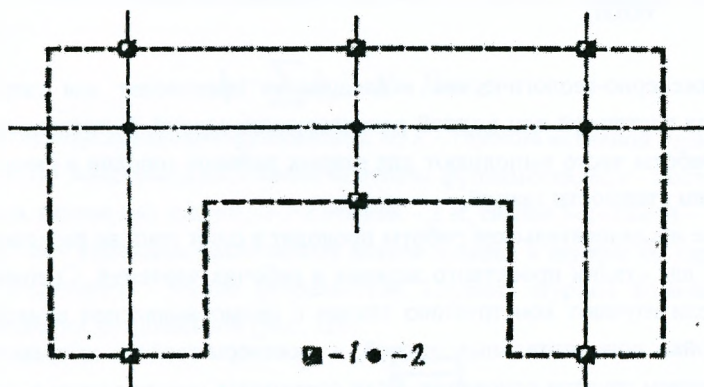


Рис. 179 Вариант расположения выработок при исследовании участка строительства здания школы: 1 - шурфы; 2 - скважины.

При нагрузках до 100 кН/м глубина разведочных скважин обычно не более 6 м, при 500 кН/м она уже должна быть не менее 12 м, а при нагрузках, превышающих 2000 кН/м глубина скважин не менее 20 м.

В просадочных грунтах выработками необходимо пройти всю просадочную зону. Если ширина фундамента более 10 м, глубина выработок должна быть не менее 30 м. При неглубоком залегании скальных грунтов скважины должны вскрыть неветрелую зону.

Для лабораторных работ образцы грунта должны отбираться послойно, чтобы дать характеристику свойств грунтов в толще на 1,5-3,0 м ниже границы зоны, где существенно оказывается давление от сооружения. Литологический тип грунтов определяют в пределах всей глубины разведочных выработок, определение расчетных показателей проводят только для грунтов активной зоны.

На площадках, расположенных в сложных условиях, например в пойме реки, количество выработок, отобранных образцов и лабораторных испытаний может быть увеличено.

11.6 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СВЯЗИ С РЕКОНСТРУКЦИЕЙ (НАДСТРОЙКОЙ ЗДАНИЙ)

Инженерно-геологические исследования производят для разработки проектов частичной или полной реконструкции зданий. В последнее время такие работы часто выполняют для старых районов городов в связи с увеличением этажности зданий.

Все исследовательские работы проводят в один этап, не разделяя их на работы для стадии проектного задания и рабочих чертежей. Специалисты-строители изучают конструкцию здания с целью выявления возможности надстройки дополнительных этажей, а инженеры-геологи занимаются исследованием грунтов основания. Если сохранился проект здания и материалы прежних инженерно-геологических изысканий, то объем работ может быть минимальным.

В этом случае достаточно отобрать монолиты грунта для лабораторных анализов и проверить состояние здания. Если эти материалы не сохранились, то необходимо выполнить полный объем инженерно-геологических работ.

В состав полного объема инженерно-геологических исследований входит изучение геологических и гидрогеологических материалов по данной территории или для соседних участков, изучения геолого-литологического строения площадки, грунтовых вод, инженерно-геологических процессов и

природных геологических явлений. С помощью шурфов определяют глубину заложения и состояния фундаментов, стен подвалов, гидроизоляцию, конструкцию дренажей и т.д.

Для решения всех геологических вопросов используют разведочные выработки. Количество разведочных выработок и их глубину определяют размерами зданий, а также сложностью геологического строения участка. Размер здания оценивают числом секций (секция – часть здания длиной не более 30 м). При 1-2 секциях бурят 4 скважины, при 3-х – 6 скважин, более 4-х – 8 скважин. Число шурфов устанавливают также количеством секций: 1 секция – 2 шурфа, 2 секции – 5, при 3 секциях – 7, более 3 – 10 шурфов. Указанное количество выработок может быть уменьшено для участков с простым геологическим строением. Глубину скважины (h) определяют по формуле

$$h = \sum h_i + K \cdot B + c, \quad (60)$$

где h_i - глубина заложения фундамента, м; K - глубина активной зоны основания, м; B - максимальная ширина подошвы фундамента, м; c - постоянная величина, равная для зданий до 3-х этажей – 2 м, свыше 3-х этажей – 3 м.

Буровые скважины располагают вокруг здания, а шурфы по характерным его сечениям – около фундаментов. Глубина шурфов должна быть ниже подошвы фундаментов (рис. 180).

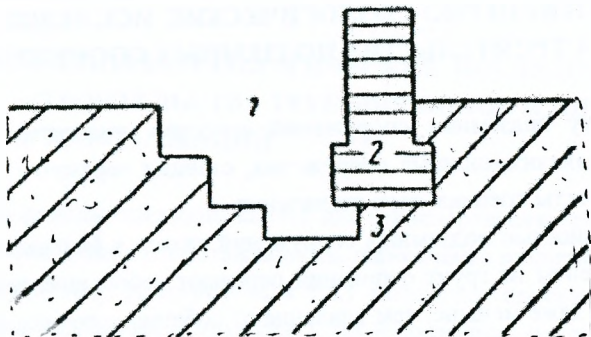


Рис. 180 Расположение шурфа по отношению фундамента: 1 - шурф; 2 - фундамент; 3 - место отбора монолита.

Образцы грунтов для лабораторных исследований получают из скважин и шурфов. Монолиты отбирают с глубины заложения фундаментов и ниже через каждые полметра проходки и в зависимости от смены слоя грунта до нижней границы активной зоны основания.

При оценке грунтов, как основания, следует помнить, что под воздействием веса здания грунты уже в какой-то мере уплотнены и приобрели повышенную несущую способность. Такое состояние грунты приобретают для песков через 1 год после окончания строительства, для супесей и суглинков – через 1,5-2,0 года, а для глин – через 2-3 года. Вывод о том, что грунты уже имеют повышенную несущую способность, получают на основе сравнения характеристик образцов грунтов, взятых под подошвой фундамента и вне контура здания.

Удовлетворительное состояние здания и необходимая уплотненность грунтов позволяют произвести надстройку здания без уширения существующих фундаментов. Это значит, что на грунты основания можно допустить увеличение давления по отношению к фактическому на 25-35%, а при особо благоприятных условиях даже на 45-50%.

Все исследования, выполненные в связи с надстройкой здания, оформляются в виде инженерно-геологического заключения, которое дает возможность проводить проектные работы.

11.7 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

К числу подземных сооружений относятся подземные резервуары, очистные канализационные сооружения, станции перекачки, а также различные объекты специального назначения.

Особенностью подземных сооружений является большое заглубление. Их фундаменты на грунт оснований передают небольшие давления, которые иногда даже меньше, чем давление от собственного веса грунта, вынуженного при отрывке котлована. В связи с этим в лабораторных исследованиях вопрос прочности грунтов не является главным. Значительно большее значение имеет устойчивость грунтов в откосах котлованов, особенно при

наличии подземных вод, а также боковое давление грунтов на сооружение после осуществления засыпки пространства между стенками сооружений и откосами котлованов.

Все необходимые данные о геолого-литологическом строении участков, предназначенных под застройку, гидрогеологии, инженерно-геологических процессах дают разведочные выработки, буровые скважины. Глубина скважин определяется условием – забой скважины должен находиться на 5-6 м ниже проектируемого основания подземных сооружений. В том случае, когда в этих пределах могут быть встречены неустойчивые породы, скважину углубляют до нижележащих устойчивых пород. Из скважины извлекают монолиты грунтов для лабораторных исследований, среди которых наибольшее значение имеют данные о сопротивлении грунтов сдвигу. Количество скважин зависит от размера сооружений и сложности геологического строения.

Большая глубина заложения сооружения в большинстве случаев приводит к контакту с подземными водами, поэтому изучают режим, состав и агрессивность подземных вод. Одновременно решаются вопросы водоотлива, если подземные воды препятствуют производству работ, а также конструкции дренажей на период эксплуатации сооружений.

Результаты исследований оформляют в виде инженерно-геологического отчета.

11.8 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРУБОПРОВОДОВ И ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Трубопроводы предназначаются для транспортировки различных жидкостей и газов. Большая протяженность, пересечение различных природных препятствий (горы, реки, болота и т.д.) заставляют проектировать трубопроводы как подземные (в траншеях), так и подводные (на дне водоемов) и наземные (на опорах). По своей значимости трубопроводы разделяют на магистральные, ответвления и разводящую сеть.

Вдоль трубопровода располагаются объекты обслуживания – насосные, водонапорные башни, резервуары, жилые дома и т.д.

Инженерно-геологические исследования под эти здания и сооружения проводят согласно инструкций и указаний для промышленного, городского и поселкового строительства. При инженерно-геологических исследованиях исходят из того, что трубопроводы характеризуются незначительной удельной нагрузкой на грунты оснований (не более 20 кПа), но отличаются высокой чувствительностью к осевым перемещениям с повреждением стыковых соединений.

Для проектирования трубопроводов необходимо знать прочность грунтов и оснований, характер грунта, который пойдет для засыпки траншеи (или создания насыпей), рельеф местности, особенности строения речных долин и их эрозионную деятельность, глубину промерзания грунтов, сейсмичность, блуждающие электрические токи, наличие грунтовых вод и их агрессивность, характер берегов морей, озер и водохранилищ, а также процессы и природные геологические явления, которые могут отрицательно сказаться на устойчивости трубопроводов и затруднить работу по их укладке (оползни, карсты, просадки, овраги, сели, осыпи и пр.).

Инженерно-геологические исследования трасс трубопроводов проводят в две стадии: предварительные для обоснования проектного задания и детальные для рабочих чертежей. Иногда при сложных объектах перед предварительными исследованиями проводят рекогносцировочные работы с целью технико-экономического обоснования целесообразности строительства.

Предварительные инженерно-геологические исследований выполняют с целью обоснования выбора варианта трассы трубопровода. Работу начинают со сбора фондовых и литературных материалов по всем геологическим и прочим вопросам. В полевых условиях намечают ряд вариантов трасс. Каждая трасса изучается в полосе шириной до 500 м. Особое внимание обращается на наиболее неблагоприятные участки (оползни, карсты и т.д.), коррозионную активность, агрессивность грунтовых вод, выявление блуждающих токов. На этом этапе работ большое значение имеет аэрогеологическое обследование и аэрофотосъемка местности.

В инженерно-геологическом отчете дается сравнительная инженерно-геологическая характеристика всех вариантов трасс трубопроводов с представлением инженерно-геологических карт и разрезов. Рекомендуется наиболее благоприятный в инженерно-геологическом отношении вариант трассы.

Детальные инженерно-геологические работы производят на окончательно выбранном варианте трассы. К материалам, полученным на предварительном этапе, добавляют новые исследования: разведочные выработки по трассе; лабораторные исследования грунтов, в том числе анализы коррозионной активности грунтов и агрессивность грунтовых вод.

Разведочные выработки выполняются, в основном, в виде буровых скважин. На каждый километр задают в среднем две скважины. Глубина выработок назначается с учетом возможной глубины заложения трубопроводов и глубины промерзания грунтов. Чаще всего это 3-5 м, а на болотах и переходах через водотоки 10-15 м. При необходимости из скважины отбирают образцы грунтов и пробы подземных вод.

Для выявления границ скальных, илистых или торфянистых грунтов закладывают дополнительные выработки. То же самое делают на участках переходов через реки, растущие овраги, большие ущелья.

При пересечении трассой трубопровода районов со сложными инженерно-геологическими условиями к обычным исследованиям добавляют специальные работы, значительно увеличивая при этом количество разведочных выработок. К таким районам относят оползневые и карстовые участки, многолетнюю мерзлоту, сейсмические территории, площади с развитием лессовых просадочных грунтов, болота, засоленные грунты, участки с горным рельефом и другие. Так, например, в районах развития лессовых просадочных грунтов дополнительно следует установить тип и мощность просадочных пород; на заболоченных территориях изучают условия формирования болот, устанавливают их тип, строение и состав; в карстовых районах исследуют морфологию, возраст и другие особенности карста, выделяя при этом участки, пригодные и непригодные под строительство, а также пригодные после проведения специальных мероприятий. В районах вечной мерзлоты устанавливают тип мерзлоты (сплошная, слоистая), мощ-

ность мерзлых пород, склонность к пучинистости деятельного слоя, наличие наледей и т.д. В горных районах особое внимание уделяется возникновению селей, оползней, осыпей, обвалов, снежных лавин и выявляется возможное их воздействие на трубопроводы.

Детальные исследования оформляются в виде инженерно-геологического отчета, который дает основания для разработки рабочих чертежей.

11.9 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПОИСКА И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Скопление в земной коре определенных горных пород (или минералов), разработка которых представляет практический интерес, в частности, для строительства, называется месторождением.

В состав месторождений входят горные породы, которые являются естественным строительным материалом либо сырьем для их производства. Все эти породы составляют так называемые нерудные полезные ископаемые.

К естественным строительным материалам относятся различные горные породы (граниты, известняки, галечники и др.), которые можно использовать в строительной практике в естественном виде. Так получают строительный камень, песок, глину, щебень и т.д.

Во многих случаях горные породы являются лишь сырьем для изготовления тех или иных строительных материалов. Так, мергели служат для получения цементов, глины – для кирпича и т.д.

Нерудные полезные ископаемые в большинстве случаев добывают из открытых горных выработок. Совокупность таких выработок, предназначенных для этих целей, называется карьером.

В недрах Беларуси выявлено и разведено более пяти тысяч месторождений и залежей полезных ископаемых, в которых представлено более 30 видов минерального сырья. Важнейшие полезные ископаемые – калийная и

каменная соль, нефть, торф, строительные материалы, агроруды, подземные пресные и минеральные воды.

Глубина залегания калийных солей (Старобинское и Петриковское месторождения) от 300 до 4000 м, а общий их промышленный запас более 7 млрд. тонн. Отложения каменной соли (Мозырское и Старобинское месторождения) имеют распространения по площади более 20 тысяч км², а их запас более 25 тысяч км³.

На 35-ти месторождениях разведаны запасы нефти и газа, с глубиной их залегания от 1,5 до 50 км.

Запасы торфа составляют не менее 2,5 млрд. тонн, а горных сланцев – 11 млрд. тонн.

Наиболее распространены месторождения строительных материалов: более 300 – легкоплавких глин; 100 – строительных песков; 150 – песчано-гравийных материалов, с общими запасами 3 млрд. м³.

Цементное сырье (глины цементные, карбонатные компоненты и мергели) выявлено во всех областях и его общие запасы составляют более 1 млрд. тонн.

Выявлены месторождения доломита (1 млрд. тонн) и железных руд (1 млрд. тонн).

Среднесуточный ресурс подземных вод в республике составляет 45 млн. м³. Более 20 млн. м³ подземных вод обладают целебными свойствами.

Поиск месторождений проводится на выбранной территории по предварительному разработанному плану, который составляется на основании изучения материалов предыдущих исследований (геологические карты и отчеты). Поиски должны решить следующие задачи:

1) на выбранной территории обнаружить необходимое полезное ископаемое;

2) отобрать пробы для предварительной оценки материала;

3) приближенно определить запасы месторождения;

4) оценить целесообразность дальнейших разведывательных работ.

Работа подразделяется на подготовительный и полевой периоды. В подготовительный период изучают литературу, геологические карты, фонды рукописей геологических станций. На основе этого материала для дан-

ной территории составляется представление о месторождениях тех или иных нерудных полезных ископаемых. После этого в полевых условиях организуется осмотр намеченных месторождений, изучаются естественные обнажения и при необходимости закладывается небольшое количество разведочных выработок (расчистки, шурфы, буровые скважины).

В результате поисковых работ составляется карта-схема с указанием выявленных месторождений и карьеров полезных ископаемых, составляется пояснительная записка с краткой характеристикой их размещения, качественной и количественной оценкой материала, изложением соображений по дальнейшим работам.

Разведка месторождений может быть предварительной и детальной.

При предварительной разведке необходимо выполнить следующие работы:

1) установить геологические условия залегания полезного ископаемого (глубин залегания, мощность вскрыши, то есть пород, покрывающих полезное ископаемое, мощность и форма залегания полезной толщи, характер подземных вод и т.п.);

2) определить границы распространения полезного ископаемого, то есть оконтурить месторождение и выделить участки, наиболее пригодные для эксплуатации;

3) подсчитать запасы (количество) месторождения;

4) изучить качество материала полезного ископаемого;

5) уточнить условия эксплуатации месторождения и возможность транспортировки строительного материала.

Целесообразность разработки месторождения устанавливается на основе технико-экономического анализа и во многом определяется соотношением между мощностью вскрышных пород (H) и мощностью слоя полезного ископаемого (h). Отношение H / h носит название геологического коэффициента. Ценность месторождения повышается с уменьшением значения этого коэффициента. Экономически допустимо соотношение 2:1, для месторождений линзовидной формы допускают 1:1, но только в случае, если полезный слой залегает на глубине не более 3-5 м от поверхности.

Границы распространения месторождения устанавливаются с помощью горных выработок (шурфы, буровые скважины), которые располагают в виде правильной сетки (рис. 181, а). Расстояние между выработками чаще всего составляет 50-100 м и зависит от местных условий. При разведке скальных пород ограничиваются изучением имеющихся обнажений и заложением неглубоких шурфов (2-5 м) для определения мощности вскрыши и слоя элювия. При разведке осадочных пород горные выработки закладывают на глубину проходки всей толщи полезного ископаемого либо на глубину той части толщи, которая намечается к эксплуатации.

Разведочные горные выработки позволяют составить геологические разрезы, по которым можно судить о форме залегания полезного ископаемого, мощностях вскрыши и полезной толщи, решить вопрос о влиянии грунтовых вод на разработку месторождения (рис. 181, б).

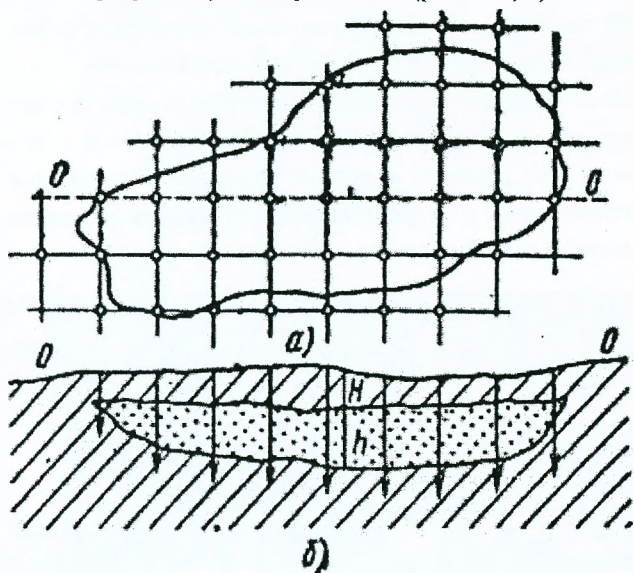


Рис. 181 Определение границ месторождения заложением горных выработок по сетке: а - в плане; б - в разрезе; H - мощность вскрыши; h - мощность полезного ископаемого.

Для изучения качества полезного ископаемого с помощью разведочных выработок отбирают характерные пробы. Для производства лабораторных испытаний необходимо взять следующее количество проб: 1) песок – 2-3 кг; 2) гравий – 10-15 кг; 3) камень – 15-20 кг и т. д.

Подсчет запасов на оконтуренной территории производится различными способами. Чаще всего применяют среднеарифметический метод или метод поперечных сечений. Вначале подсчитывают площадь контура S полезного ископаемого, далее устанавливают среднюю мощность полезной толщи

$$h_{cp} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n}. \quad (61)$$

Запас полезного ископаемого V равен $V = S \cdot h_{cp}$, м³.

Аналогичным путем определяется объем вскрышных пород, подлежащих удалению перед разработкой полезного ископаемого.

Для детальной разведки выбирают один или несколько участков, которые наиболее полно отвечают требованиям технического задания. Основными задачами этой разведки являются: уточнение запасов, сбор дополнительных геологических и гидрогеологических данных и тщательное опробование полезного ископаемого.

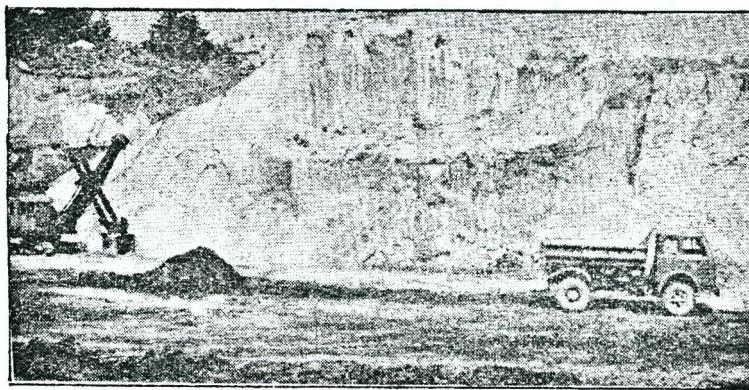


Рис. 182 Общий вид производственного карьера по добыче мела.

В процессе проведения детальной разведки выявляются технические условия разработки месторождения, устанавливается способ разработки, определяется техника для ведения горных работ, намечается технологическая схема разработки полезного ископаемого и т. д.

На рис. 182 и 183 даны фотоснимки карьеров по добыче мела и песчано-гравийных материалов.

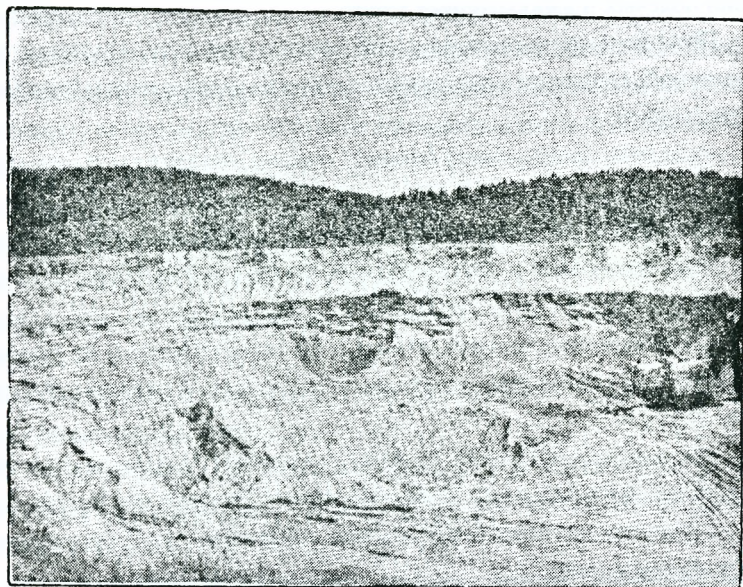


Рис. 183 *Общий вид строительного карьера по добыче песчано-гравийных материалов.*

11.10 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ПО СОСТОЯНИЮ ГРУНТОВ

В районах распространения специфических по составу и состоянию грунтов (просадочных, набухающих, засоленных, вечномёрзлых и др.) и развития неблагоприятных физико-геологических процессов и явлений

(карста, оползней, селей и др.) следует учитывать ряд дополнительных требований как при изысканиях, так и при строительстве.

Как отмечалось ранее для лессовых грунтов характерен ряд особенностей, которые требуют учета на всех этапах инженерно-геологических изысканий и при производстве каждого вида работ – сборе и обобщении материалов, рекогносцировке, съемке, разведке и опробовании, а также выполнении полевых и лабораторных работ.

При инженерно-геологической рекогносцировке, съемке и разведке территорий, сложенных лессовыми грунтами, особое внимание обращается на следующее:

- наличие просадочных блюдцев, западин, псевдокарста, оврагообразования и др.;

- характер деформаций лессовых оснований, зданий и сооружений, построенных на них, а также недалеко расположенных строительных систем;

- цикличность строения лессовых толщ по глубине и по площади, наличие выдержанных горизонтов ископаемых толщ и литологических разностей;

- изменение мощности лессовых грунтов и просадочных толщ, установление величин просадок и типа грунтовых условий по просадочности;

- наличие временных водоносных горизонтов и их приуроченность к характерным слоям;

- распределение карбонатов и гипсов в грунте; их формы, размеры, строение; приуроченность этих включений;

- текстурные и структурные особенности (микрослоистость, столбчатая отдельность, ходы землероек, макропористость и пр.).

Мощность просадочной толщи изучается в опорных выработках, а образцы для определения просадочности, деформационных и прочностных свойств отбираются из шурфов. Бурение скважин обычно выполняют “всухую” для выявления водоносных горизонтов, а также из-за необходимости сохранения естественной структуры и состояния грунтов. Монолиты для лабораторных исследований берут из каждого горизонта, но не реже чем через 1-2 м. Применение геофизических методов особенно перспектив-

400

но для определения мощности лессовых грунтов, подстилаемых крупнообломочными и скальными грунтами, глубин залегания грунтовых вод, изучения лессового псевдокарста.

В период полевых опытных работ для определения просадочных свойств лессовых пород применяется их замачивание в опытных котлованах. Характеристики просадочности и модули деформации уточняются при испытании грунтов штампами в водонасыщенном состоянии.

При лабораторном испытании грунтов дополнительно определяются:

- относительная просадочность при природном давлении и нагрузках от сооружений, начальное просадочное давление, начальная просадочная влажность;
- деформационные прочностные показатели при естественной влажности и в водонасыщенном состоянии;
- гранулометрический и микроагрегатный состав;
- содержание карбонатов, легкорастворимых солей, емкость обмена и состав обменных катионов;
- фильтрационная анизотропия (водопроницаемость в вертикальном и горизонтальном направлениях).

Все перечисленные особенности отражаются в техническом отчете (заключении), к которому прилагаются фактические материалы по результатам выполненных исследований.

Проект укрепления просадочных лессовых грунтов механическими методами составляется на основании инженерно-геологических изысканий, выполненных на площадках строительства под отдельные здания и сооружения.

При проектировании химических и физико-химических способов укрепления грунтов дополнительно к выполненному на строительном объекте комплексу изысканий должны определяться: химико-минеральный состав грунта; pH среды; емкость поглощения лессовых грунтов; коэффициент фильтрации грунтов (полевым методом). При проектировании термического способа закрепления грунтов, кроме того определяются коэффициент воздухопроницаемости и температура плавления грунтов. Пробные закрепления грунтов необходимо выполнять в лабораторных условиях.

При проведении инженерно-геологических изысканий в районах распространения набухающих грунтов необходимо выявлять ряд их специфических особенностей. При инженерно-геологической рекогносцировке, съемке и разведке устанавливаются: мощность набухающих разновидностей грунтов; условия их залегания и площади развития; проявление процессов, связанных с набухающими грунтами, в естественных условиях и в результате строительства, а также деформаций зданий и сооружений, вызванные набуханием и усадкой грунтов оснований; текстура и природная трещиноватость грунтов (ширина, глубина трещин, их форма и пр.).

Проходка опорных горных выработок в основном должна выполняться “всухую”, а глубина их определяться глубиной активной зоны и мощностью набухающих грунтов (но не менее 5 м). В состав опытных полевых исследований включается определение характеристик набухания и усадки.

Лабораторные исследования включают в себя определение:

- гранулометрического, микроагрегатного и минерального состава;
- состава поглощенных оснований и емкости обмена;
- свободного набухания;
- давление набухания P_{sw} в вертикальном и горизонтальном направлениях;
- относительного набухания ϵ_{sw} при свободном набухании и давлениях в интервале нагрузок от 0.5 до P_{sw} ;
- влажности набухания w_{sw} ;
- относительной усадки ϵ_{sh} ;
- влажности на пределе усадки w_{sh} ;
- прочностных характеристик при влажности набуханий w_{sw} ;
- водопроницаемости трещиноватых набухающих грунтов в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Выявленные особенности и установленные характеристики набухающих глинистых грунтов приводятся в техническом отчете (заключении).

При изысканиях для проектирования строительства на засоленных грунтах следует обращать особое внимание на возможность возникновения суффозионных осадок в результате фильтрации воды и производственных

стоков и соответственно на резкое снижение прочностных характеристик и несущей способности грунтов; на проявление грунтовой коррозии и агрессивного воздействия вод на материалы фундаментов, подземных частей зданий и сооружений, а также сетей коммуникаций. При производстве изысканий и проектировании строительства на этих грунтах должны учитываться все научно-производственные рекомендации.

Инженерно-геологическая рекогносцировка, съемка и разведка должны выявить:

- характер распространения засоленных грунтов по площади и глубине; их мощность;
- приуроченность засоленных грунтов к определенным геоморфологическим элементам и микроформам рельефа;
- распределение солей (линзы, прослои, скопления, вкрапления и др.), форму, размер и степень их кристаллизации (друзы, кристаллы, тонкодисперсные присыпки в виде цемента);
- количественный состав солей в толщах, типы засоленных грунтов и их пространственное распределение, взаимосвязь степени и характера засоленности с литологическим составом и условиями залегания;
- участки современного интенсивного континентального засоления и засоления в результате хозяйственного освоения;
- участки проявления суффозионных осадков, просадок грунтов в природных условиях, а также связанных с ними деформаций зданий и сооружений;
- коррозионную активность грунтов;
- химический состав и агрессивные свойства вод; прогноз повышения уровня подземных вод и изменение их состава в результате эксплуатации строительного объекта.

Места заложения горных выработок выбираются с учетом характерных по составу и степени засоления участков, выделяемых в процессе рекогносцировки и съемки. Глубина выработок назначается с учетом проходки всей толщи грунтов, на которую будет воздействовать строительство. Опорные скважины, предназначенные для опробования следует проходить “всухую”.

При полевых испытаниях выявляются прочностные и деформационные характеристики в естественном состоянии и после выщелачивания солей при длительном замачивании засоленных грунтов, а также относительная суффозионная осадка и характер выщелачивания солей испытание статической нагрузкой с длительным замачиванием грунтов.

В лабораторных испытаниях изучаются:

- гранулометрический и микроагрегатный состав грунтов;
- химический состав грунтов (и в первую очередь содержание легко- и среднерастворимых солей), состав обменных катионов, pH среды;
- изменение прочностных и деформационных характеристик грунта при длительной фильтрации воды или раствора, с которым грунт будет взаимодействовать в результате возведения и эксплуатации сооружения;
- относительная суффозионная осадка ϵ_{sf} и суффозионная осадка толщи s_{sf} (компрессионно-фильтрационные испытания).

При изучении химического состава подземных вод и их агрессивности особое внимание уделяется содержанию в них углекислоты.

Если засоленные грунты проявляют просадочность или набухают, то следует учитывать требования, предъявляемые к изысканиям на просадочных и набухающих грунтах.

При проектировании строительства на вечномерзлых грунтах требуется учет таких особенностей, в результате которых при изменении температурного режима происходит оттаивание грунта и содержащегося в нем льда, что приводит к очень резкой потере прочности грунтов и их осадке, а при промерзании – к солифлюкции, пучению, наледям и пр. Все эти изменения, если не учесть их при проектировании, могут привести к полному разрушению зданий и сооружений, поэтому при изысканиях необходимо получить ряд дополнительных инженерно-геокриологических материалов:

- распространение, мощность и характер залегания по площади и по глубине основных видов вечномерзлых грунтов с учетом их литологического состава, льдистости, строения и температурного режима;
- наличие засоленных и заторфованных грунтов, сильнольдистых грунтов и подземных льдов;

- глубины сезонного оттаивания и промерзания грунтов, слияние или неслияние этого слоя с толщей вечной мерзлоты;

- развитие мерзлотных процессов и явлений (пучение грунтов, термокарста, наледей, солифлюкции и др.) на участке проектируемого строительства и в прилегающих к нему районах;

- наличие надмерзлотных и подмерзлотных подземных вод и степень их агрессивности к материалу фундаментов;

- возможное изменение мерзлотно-грунтовых и гидрогеологических условий в зависимости от среднегодовой температуры грунта, глубины сезонного оттаивания-промерзания, образования перелетков, термокарста (в результате удаления растительного покрова, уменьшение толщины снежного покрова, водопонижения и других факторов, связанных с инженерной подготовкой площадки);

- обобщение опыта по участкам строительства и соседним с ними района со сходными мерзлотно-грунтовыми условиями для выбора рационального принципа использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований зданий и сооружений, а также способов устройства оснований и фундаментов.

В процессе изысканий и проектирования результаты полевых и лабораторных исследований, а также испытаний грунтов дополняются определением:

- суммарной влажности и суммарной льдистости мерзлого грунта;
- степени заполнения льдом и незамерзшей водой пор слоя грунта, расположенного между ледяными прослоями;

- плотности сухого мерзлого грунта ρ_d ;

- характеристик оттаивающих и мерзлых грунтов для расчетов оснований и фундаментов на силовые воздействия;

- глубины сезонного промерзания и оттаивания грунта, характеристик грунтов слоя сезонного промерзания-оттаивания на действие сил морозного пучения;

– теплофизических характеристик грунтов – температуры начала заморзания воды в порах грунта, а также теплопроводности в объемной теплоемкости грунта в мерзлом и талом состоянии;

– наличие в районе криогенных процессов, образований и явлений (морозного растрескивания, термокарста, солифлюкции, наледей и др.), их размеров, формы, приуроченности к определенным геоморфологическим элементам.

Перечисленные характеристики служат для обоснования использования вечномёрзлых грунтов в качестве оснований, способа инженерной подготовки территории и конструктивных особенностей строительного объекта. Следует подчеркнуть, что в районах развития многолетней мерзлоты особое внимание следует обращать на чрезвычайную “чувствительность” территорий даже к небольшим изменениям естественной обстановки, поэтому в результате изысканий целесообразно дать рекомендации по следующим вопросам:

– сохранению установленного расчетного температурного режима грунтов в основании;

– сохранению растительного покрова (в том числе кустарников и деревьев);

– отводу дождевых и других поверхностных вод со строительной площадки;

– возведению дорог, подъездов и насыпных площадок для строительных механизмов до начала земляных и фундаментных работ;

– вертикальной планировке площадки подсыпкой при льдистости более 0,4 и допустимости срезки грунта при льдистости менее 0,003.

11.11 РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО - ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОХРАНЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

В настоящее время одной из актуальнейших проблем является охрана геологической среды. Строительство и эксплуатация разнообразных зданий и сооружений вызывают нежелательные изменения геологической среды –

нарушается естественный режим подземных вод, истощаются их запасы; в результате повышения уровня подземных вод подтопляются большие территории, выводятся из землепользования площади сельскохозяйственных угодий и т.д. В пределах крупных городов и промышленных центров происходит загрязнение вод, изменение рельефа, климата, усиливается проявление инженерно-геологических процессов.

Обширная программа строительства и хозяйственного освоения территорий вызвала необходимость регулирования взаимоотношений человека с окружающей природной средой, с целью рационального ее использования и охраны.

При компоновке зданий и сооружений на выбранной строительной площадке инженеры-геологи обязаны ориентировать проектировщиков на то, чтобы каждое проектируемое здание и сооружение вписывалось в существующую инженерно-геологическую обстановку, а строительство оказывало на нее наименьшее влияние. При производстве строительных работ на крупных объектах в группу авторского надзора должен быть включен инженер-геолог, осуществляющий выполнение рекомендаций по охране геологической среды, переданных проектировщикам по результатам изысканий.

Зачастую избежать вредных последствий строительства на геологическую среду невозможно: например, промышленные предприятия неизбежно загрязняют подземные и поверхностные воды, изменяют тепловой и водный балансы и т.д. В таких случаях необходимы защитные мероприятия, рациональное проведение которых в значительной степени зависит от качества выданных изыскателем прогнозов изменения инженерно-геологических условий в результате строительства. Направленность и интенсивность развития прогнозируемых процессов не всегда отвечает наблюдаемым. Так, например, много ценных земельных угодий было утрачено в результате непредвиденной большой переработки берегов водохранилищ, неожиданного подтопления подземными водами больших площадей крупных городов и промышленных предприятий, оседания земной поверхности городов, для водоснабжения которых используются подземные воды.

Глава 12 ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ БИОЛОГИИ

Строительная экология, принципы организации мониторинга и охраны природной среды рассматриваются в спецкурсе “Отраслевая экология”. Однако рассматривая проблемы охраны среды нельзя обойтись без знания основ инженерной биологии, которая позволяет, во-первых, использовать растения как живой строительный материал, а во-вторых, как индикатор геологического строения и гидрологических условий стройплощадки.

Для жизни растений, как и в формировании геологической Среды большое значение имеет климат.

Под климатом понимается характерный режим погоды в каком-либо районе за длительный период времени (макроклимат). Элементы климата (давление и температура воздуха, солнечная радиация, влажность воздуха, облачность, осадки и ветры) имеют большое значение как экологические факторы. Они оказывают непосредственное воздействие и на почвообразование и на жизнь растений.

Пространственно ограниченные погодные режимы называются микроклиматом. Микроклимат может иметь отклонения от средних значений его элементов для больших географических районов и длительных периодов времени под воздействием местных условий (плотности застройки, водного баланса, морфологии, вида почв, влажности почв, состояния почв и растительных ассоциаций). Микроклимат имеет решающее значение для осуществления инженерно-биологических мероприятий.

В качестве основных экологических факторов необходимо рассматривать – солнечный свет, воду, температуру и ветер.

Солнечный свет является источником энергии, необходимой для накопления органических веществ растениями (ассимиляции). Количество световой энергии, получаемой растениями, зависит от высоты солнца над горизонтом, облачности, высоты местности над уровнем моря и ориентации склона. Растения могут приспосабливаться к интенсивности освещения в данной местности за счет образования особых ассимилирующих органов. Свет оказывает воздействие на облик растений и существенно влияет на их рост, ветвистость и формирование корневой системы.

Решающим жизненным фактором для всех организмов является вода. Вода находится в непрерывном круговороте в процессе выпадения осадков, стока, инфильтрации и испарения (рис. 184). На инфильтрацию, накопление и испарение воды большое влияние оказывают растительный покров, состав почв и грунтов, высота над уровнем моря, крутизна и ориентация склона, рельеф и растительный покров.

Ветры часто могут оказывать неблагоприятные воздействия на произрастание растений. В местностях, подверженных ветровому воздействию, часто наблюдается пересыхание и ветровая эрозия почв.

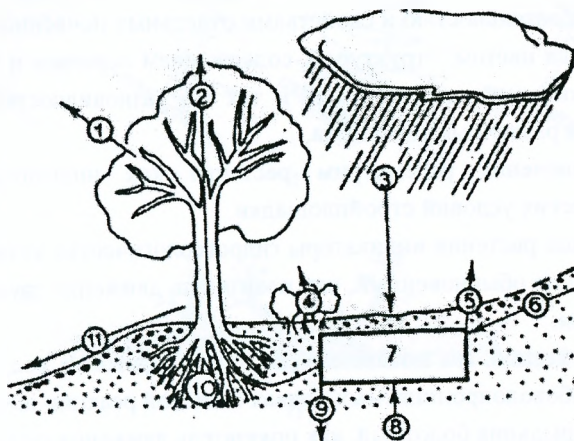


Рис. 184 *Круговорот воды с участием растений: 1 - испарение; 2 - транспирация; 3 - осадки; 4 - транспирация; 5 - испарение; 6 - инфильтрационные воды склонов; 7 - водоносные грунты; 8 - напор подземных вод; 9 - инфильтрация; 10 - поглощение воды корневой системой; 11 - поверхностный сток.*

С инженерно-геологической точки зрения почва представляет собой самый верхний слой рыхлых продуктов преобразования коры выветривания, в котором в той или иной степени развивается жизнедеятельность растительных и животных организмов. В результате процессов химического и физического выветривания породы с помощью живых организмов преобра-

зуются в субстрат, состоящий из минеральной и органической составных частей. В субстрате имеются также поры, заполненные водой и воздухом.

На почвообразование решающее влияние оказывают климат, тип исходных пород, рельеф, растительность, вода, почвенная фауна, обработка почвы человеком и время.

Почвы разделяются на разновидности и типы. В основу выделения разновидностей почв положена классификация по гранулометрическому составу (скелетные почвы – содержащие гальку, камни, валуны; песчанистые, суглинистые, пылеватые, глинистые почвы). Типы почв характеризуются последовательностью и свойствами отдельных почвенных горизонтов, отличающихся цветом, структурой, содержанием перегноя и т.д. В разных климатических условиях из одних и тех же разновидностей почв могут образоваться различные типы почв.

В заключение рассмотрим растения как индикаторы геолого-гидрологических условий стройплощадки.

Основные растения-индикаторы гидрогеологических условий:

- тростник обыкновенный, как показатель движения грунтовых вод на глубине 1-2 м;
- хвощ лесной, как показатель движения грунтовых вод, наличия родников на слабоводопроницаемых почвах и кислой реакции почвы;
- белокрыльник болотный, как показатель движения грунтовых вод;
- осока, как показатель переувлажнения почв, движения грунтовых вод и скоплений инфильтрационной воды.

Основные растения-индикаторы разновидностей почв и степени их засоления и защелачивания:

- мать-и-мачеха – показатель влажных суглинков и глин;
- ландыш – показатель тощих песчаных и суглинистых почв;
- булавоносец – показатель бедных известью сухих минеральных грунтов;
- чертополох – показатель известковых пород;
- сельдерей – показатель почв с содержанием солей до 2% ;
- солерос – показатель почв с содержанием солей до 10% и более.

Возможность проявления тех или иных инженерно-геологических процессов (оползни, обрушения, осыпи) характеризуется формой стволов деревьев.

На оползающих склонах (рис. 185) можно наблюдать как искривление стволов, так и “пьяный” лес.

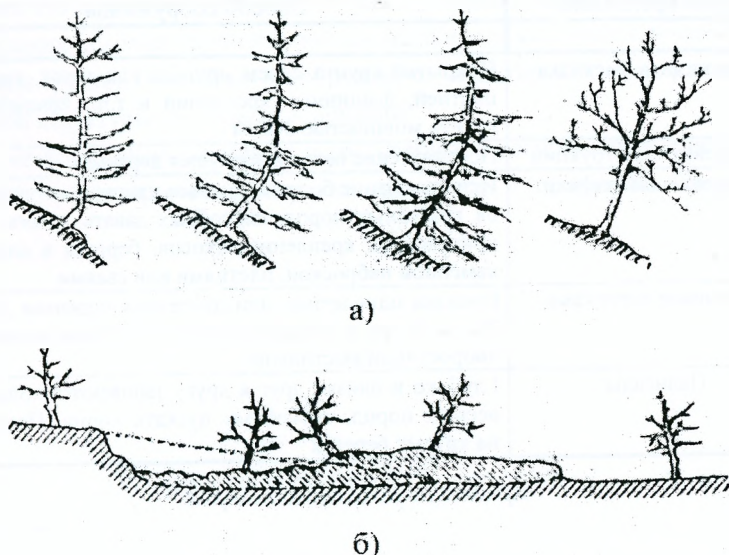


Рис. 185 Искривление стволов (вследствие движения склона) (а) и “пьяный” лес (формирование оползня) на движущихся склонах.

Если посмотреть на растения как на живой строительный материал, то можно отметить, что из ивняков (лоза, плакучие ивы) можно выполнять многие виды креплений (плетневые конструкции, хворостяные тюфаки, черенковые крепления).

В табл. 57 и табл. 58 приведены примеры применения инженерно-биологических методов для различных целей.

Почвы можно укрепить одерновкой и засевом трав. Защищать берега от размыва целесообразно посевом тростника и камыша, посадкой быстро-

растущих выносливых кустарников и созданием берегозащитных лесополос шириной 50-100 м.

Типы креплений из ивняка

Таблица 57

Типы креплений	Способ сооружения
1	2
Хворостяная выстилка	Покрытие грунта слоем прутьев или веток, сооружение плетней, фашинных креплений и т.п.; присыпка слоем грунта мощностью 3-8 см
Плетневые конструкции	Переплетение веток и верхушек деревьев
Хворостяные тюфяки	Использование более или менее длинных ветвистых сучьев древесных пород, способных давать побеги. Область применения: крепление откосов, берегов в сочетании с каменной наброской, плетнями или сваями
Крепление черенками	Посадка однолетних или двулетних черенков длиной от 20 до 40 см и диаметром от 6 до 25 мм в сочетании с хворостяной выстилкой
Палисады	Глубоко и близко друг к другу забиваются колья из древесных пород, способных пускать корни. Применяются на крутых берегах

Крепление почв посевом трав

Таблица 58

Типы креплений	Способ сооружения
1	2
Одерновка	Срезанный дерн укладывают кусками одинаковой величины размером не менее 25×25 см и толщиной 3-7 см (крепление откосов, защита берегов от воздействия волн)
Дерновые дорожки	Используются рулоны дернины шириной 30 см и длиной около 2м
Дерновые маты	Заранее специально засеваются участки шириной не менее 80 см и длиной до 12 м
Засев травами	Засев семенными травами подготовленной или подходящей естественной почвы (растительного грунта)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показано в учебном пособии в строительстве очень важным фактором является выбор оптимального варианта, назначаемого на основании вариантного проектирования и оптимизационных методов расчета.

А все это возможно только на основе правильной оценки инженерно-геологических условий строительной площадки и обеспечении совместности работы грунтов оснований и сооружений, гарантирующих сохранность природной структуры грунтовых оснований.

Не меньшее значение имеют и достоверные прогнозы изменений геологических, инженерно-геологических процессов и природной Среды в целом.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 **Ананьев В.П., Коробкин В.И.** Инженерная геология. – Высшая школа, М., 1973.
- 2 **Безрук В.М., Костушко М.Г.** Геология и грунтоведение. – Недра, М., 1969.
- 3 **Бусел И.А.** Прогнозирование строительных свойств грунтов. – Наука и техника, Минск, 1989.
- 4 **Денисов Н.Я.** Инженерная геология. – Госстройиздат, М., 1960.
- 5 **Дранныков А.М.** Инженерная геология. – Изд. КГУ, К., 1967.
- 6 **Живаго Н.В. Пиотровский В.В.** Геоморфология с основами геологии. – Недра, М., 1971.
- 7 **Коломенский Н.В., Комаров И.С.** Инженерная геология. – Высшая школа, М., 1964.
- 8 **Костюкович П.Н.** Гидрогеологические основы вертикального дренажа. – Наука и техника, Минск, 1979.
- 9 **Колпашиников Т.А.** Проблемы охраны геологической среды Белоруссии от опасного воздействия экзогенных геологических процессов и некоторые пути их решения. – Наука и техника, Минск, 1991.
- 10 **Колпашиников Т.А., Бусел И.А. и др.** Комплект инженерно-геологических карт, Минск, 1989.
- 11 **Кузнецов С.С.** Геология (динамическая). – Учпедгиз., М., 1959.
- 12 **Ларионов А.К., Ананьев В.П.** Основы минералогии, петрографии и геологии. – Высшая школа, М., 1969.
- 13 **Маслов Н.Н., Котлов М.Ф.** Инженерная геология. – Стройиздат, М., 1971.
- 14 **Маслов Н.Н.** Основы механики грунтов и инженерной геологии. – Высшая школа, М., 1982.
- 15 **Основания, фундаменты и подземные сооружения.** Справочник проектировщика. Под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. – Стройиздат. М., 1985.
- 16 **СТБ 943-93.** Грунты. Классификация. – Минск, 1994.

17 **Швецов Г.И.** Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты. – Высшая школа, М., 1986.

18 **Шведовский П.В. и др.** Выбор оптимальных решений в строительстве. – ЦНИИЭПСельстрой, М., 1990.

Учебное издание

**ШВЕДОВСКИЙ Петр Владимирович
ФЕДОРОВ Владислав Германович**

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Редактор Т. В. Строкач

Ответственный за выпуск П.В. Шведовский

Художник П.В. Шведовский

Набор и компьютерная верстка В.В. Лукша

Сдано в набор 20.03.98. Подписано в печать 27.11.98. Формат 60×84_{1/16}.
Бумага Uni Paper. Гарнитура Times New Сут. Усл. печ. л. 24,18. Уч. изд. л.
26. Заказ № 182. Тираж 250 экз.

Отпечатано на ризографе Брестского политехнического института.
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.