

Основы грунтоведения

«грунт» - от нем. Der grund – основа

*«Коль грунты мы знаем точно,
дом всегда построим прочно».*

1. Общие представления и классификации

- ▶ **Грунтоведение — это наука о грунтах.**

Понятие «грунт» до сих пор является неоднозначным.

Грунты — это любые горные породы (магматические, осадочные, метаморфические) и твердые отходы производства, залегающие на поверхности земной коры и входящие в сферу воздействия на них человека при строительстве зданий, сооружений, дорог и других объектов.

Грунты

(ГОСТ – 25100-2011 «Грунты. Классификация»)

➤ *любые горные породы, почвы, осадки и техногенные образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамичные системы и как часть геологической среды и изучаемые в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека.*

В грунтоведении горные породы изучаются как среда, в которой живет и на которой строит человек.

Исследование грунтов

- ▶ необходимо для решения проблемы развития железнодорожных и автодорожных магистралей, освоения морского шельфа, возведения тепловых, атомных и гидроэлектростанций, сельскохозяйственной мелиорации, промышленного и гражданского строительства, а также для других целей.

Предмет изучения грунтоведения

- ▶ Изучение физико-механических свойств горных пород, которые определяют их поведение под воздействием инженерных сооружений.

Важнейшие физико-механические свойства грунтов:

- ▶ Прочность;
- ▶ Деформируемость;
- ▶ Изменчивость во времени под воздействием инженерных сооружений и природной обстановки;
- ▶ многие другие.

Классификации грунтов

- ▶ *общие - ГОСТ – 25100-2011 «Грунты. Классификация»;*
- ▶ *отраслевые и частные (СНиП 11-02-96);*
- ▶ *Региональные.*

Общая классификация

основывается на следующих основных признаках:

- ▶ **геологические** – по возрасту, генезису, условиям и формам залегания;
- ▶ **химико-минералогические** – по минсоставу, степени и характеру засоленности, составу обменных ионов;
- ▶ **петрографические** – по гранулометрическому составу, структуре, текстуре, сцементированности;
- ▶ **стойкость** – по способности сопротивляться факторам выветривания и растворения;
- ▶ **механическая прочность** – по способности сопротивляться внешним механическим воздействиям, степень и характер деформирования под нагрузками.
- ▶ **физическое состояние** – по степени влажности, выветренности, степени плотности, трещиноватости и др.;

Специальные классификации пород – грунтов - СНиП 11-02-96:

- ▶ по гранулометрическому составу;
- ▶ по степени плотности;
- ▶ по числу пластичности;
- ▶ по консистенции;
- ▶ по степени влажности.

Все классификации используются при проектировании фундаментов зданий и сооружений.

Отраслевые классификации

- ▶ *М.М.Протодьяконова* - по коэффициенту крепости пород, используемая в горном деле (табл. 42);
- ▶ *по разрабатываемости*, используемая в геологоразведочном деле (табл. 42) и др.

Выписка из **ГОСТ 25100-2011**
«КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ»(см. табл. грунты)

- **класс (подкласс)** - по природе структурных связей
- **тип (подтип)** - по генезису;
- **вид (подвид)** - по вещественному, петрографическому или литологическому составу;
- **разновидность** - по количественным показателям состава, строения, состояния и свойств грунтов.

Можно сказать, что классификационные определения являются своеобразной «визитной карточкой» грунта.

Генетический подход к грунтам – методологическая основа грунтоведения

- ▶ *Грунты* — горные породы зарождаются и претерпевают различные изменения, проходя своеобразные стадии «детства», «зрелости» и «старости». В конечном счете они исчезают, образно говоря, «умирают», но вещество, слагающее их, не исчезает, а, изменяясь, дает начало новым горным породам.

ОСНОВНОЙ ЗАКОН ГРУНТОВЕДЕНИЯ

С учетом изложенных ранее положений основной закон грунтоведения с использованием термина «грунт» сформулирован В.Т.Трофимовы (1999) так: *состав, строение, состояние и свойства грунтов определяются их генезисом, характером постгенетических процессов и современным пространственным (координатным) положением.* Подчеркнем, что в данном случае пространственное положение, включая глубину залегания грунта, определяет тепло- и влагообеспеченность объекта и характер техногенного воздействия. Этот закон следует называть законом Приклонского—Сергеева—Ломтадзе.

Более общая формулировка этого закона звучит так: инженерно-геологические особенности горных пород, почв, осадков и техногенных геологических образований определяются их генезисом, характером постгенетических процессов и современным пространственным (координатным) положением.

В грунтоведении

применяются методы схематизации процессов и создания моделей грунтов, т.к. в сферу воздействия попадает **не одна какая-то отдельная ГП, а массив различных ГП, который представляет собой сложную систему, состоящую из систем отдельных ГП.** Они находятся во взаимодействии с водой, газами, биотой, содержащихся в грунте, и между собой.

2. КЛАСС 1 - СКАЛЬНЫЕ ГРУНТЫ (СкГ)

➤ 1 *Грунт скальный* –

➤ 1 а) грунт, состоящий из зерен одного или нескольких минеральных видов, имеющих жесткие структурные связи кристаллизационного типа, которые при разрушении естественным путем не восстанавливаются.

➤ Магматические, метаморфические и некоторые осадочные породы.

Класс с жесткими связями между зернами
- кристаллизационные (Гранит, базальт, кварцит, мрамор) отличается свойствами:

- ▶ Прочность очень высокая и высокая;
- ▶ Твердые связи необратимые — при разрушении естественным путем не восстанавливаются;
- ▶ Практически несжимаемы;
- ▶ Невлагоемкие.
- ▶ Водопроницаемость зависит от степени трещиноватости;
- ▶ стойкость против растворения (30% всех плотин земного шара построены на таких породах),
- ▶ не размокают и не размываются.

Собственно СкГ с кристаллизационными жесткими связями

- ▶ Прочные - практически несжимаемы.
- Невлагоемкие.
- Водопроницаемость зависит от степени трещиноватости.
- Большей частью стойки против растворения, не размокают и не размываются.



1 б Класс - грунт, состоящий из кристаллов одного или нескольких минералов, имеющих жесткие структурные связи цементационного типа – ***преимущественно осадочные породы*** (известняки, песчаники и др.)

Прочность и водостойкость зависят от состава цемента:

- ▶ при кремнеземном и кварцевом цементе прочность высокая, породы с таким цементом не размокают;
- ▶ при глинистом цементе прочность небольшая; порода размокает.
- ▶ При карбонатном цементе - выщелачиваются
- ▶ Водопроницаемость зависит от степени трещиноватости.
- ▶ Связи необратимые

Цементационные связи: известняки, песчаники, конгломераты и др.





Скальные грунты с жесткими цементационными связями

- Прочность и водостойкость зависят от состава цемента: кремнеземный и кварцевый цемент - прочность высокая; при глинистом цементе - прочность небольшая; порода размокает. Водопроницаемость зависит от степени трещиноватости



Тип (подтип) скальных грунтов

- ▶ 1 *Магматические*: интрузивные и эффузивные - по текстуре, структуре – степень выветриваемости - степень водопроницаемости и др.
 - ▶ – залегают в виде сплошных крупных монолитов,
 - ▶ *Отрицательные качества* – трещиноватость и склонность к выветриванию.
 - ▶ Как правило, они покрыты корой выветривания → фундаменты должны прорезать кору выветривания или же при значительной ее мощности необходимо укреплять (упрочнять) методом технической мелиорации.
- 2 **Метаморфические** близки к магматическим по строению, но отличаются анизотропностью свойств: прочность на сжатие, сопротивление сдвигу, модуль упругости и др. **ниже вдоль сланцеватости, чем перпендикулярно сланцеватости.**
 - ▶ Вдоль сланцеватости породы быстро выветриваются, слюды превращаются глинистые минералы, что ведет к **соскальзыванию и оползанию грунтов на склонах**.
 - ▶ Мрамор – растворим (Сугомакская пещера).
- 3 **Осадочные сцементированные**: виды и подвиды по составу – силикатные – песчаники, конгломераты и др.

**Осадочные сцементированные
силикатные глинистые , отвердевшие с
цементационным (кристаллизационно-
конденсационным) типом связи:
аргиллиты, алевролиты, глинистые
сланцы, мергели имеют**

- ▶ связи необратимые,
- ▶ прочность относительно невысокая из-за невысокой водостойкости,
- ▶ чаще размокают в воде, набухают

Глинистые п., отвердевшие с цементационным типом связи



Гр. I.2. Грунт полускальный- (отдельно в ГОСТ 25100-2011 не выделен)

- очень пористые, либо растворимые породы, не способные выдерживать большие нагрузки и меняться, не восстанавливая связи:
 - опоки, трепела, диатомиты; мел, мергели, известняки ; гипсы, ангидриты; алевролиты, песчаники
- Условная граница между ними – по прочности на одноосное сжатие – R_c :
- скальный грунт – $R_c > 5$ МПа,
полускальный грунт $R_c < 5$ МПа

Выделение разновидностей СкГ

Свойства скальных грунтов

Характеристика свойств	Состояние грунтов	Показатели характеристик
Временное сопротивление одноосному сжатию R_c , МПа	Очень прочные Прочные Средней прочности Малопрочные Полускальные	$R_c > 120$ $120 \geq R_c > 50$ $50 \geq R_c > 15$ $15 \geq R_c > 5$ $R_c < 5$
Коэффициент размягчаемости в воде k_{pz}	Неразмягчаемые Размягчаемые	$k_{pz} \geq 0,75$ $k_{pz} < 0,75$
Степень выветрелости $k_{вс}$	Невыветрелые (монолитные) Слабовыветрелые (трещиноватые) Выветрелые Сильнотрещиноватые	Грунты залегают в виде сплошного массива, $k_{вс} = 1$ Грунты залегают в виде глыб, $1 \geq k_{вс} \geq 0,9$ Грунты залегают в виде кусков с переходом в трещиноватую скалу, $0,9 \geq k_{вс} \geq 0,8$ Грунты во всем массиве залегают в виде кусков $k_{вс} < 0,8$

Характеристика СкГ по строительным свойствам

- 1 - **Временное сопротивление одноосному сжатию** в водонасыщенном состоянии (предел прочности грунта на одноосное сжатие) - отношение нагрузки, при которой происходит разрушение образца грунта, к площади его предварительного поперечного сечения
- 2 - **Степень (коэффициент) выветрелости** - отношение плотности выветрелого образца грунта к плотности монолитного (невыветрелого) образца одного и того же грунта : невыветрелые $K_{WS} = 1$, слабыветрелые сильно выветрелые (рухляк) - $< 0..8$)
- 3 - **Коэффициент (степень) размягчаемости в воде** – отношение временных сопротивлений одноосному сжатию в водонасыщенном и в воздушно-сухом состояниях. Он зависит от пористости и влагоемкости пород – способность пород впитывать влаги так, что все поры заполнены водой – неразмягчаемые ($K_{SOF} > 0,75$) и размягчаемые ($K < 0,75$ осадочные кремнистые, гипс).

Основные свойства некоторых скальных грунтов

Различия в максимальных значениях **временных сопротивлений сжатию**, МПа: гранит — до 400,
кварцит — до 570,
хемогенный известняк — до 200,
мергель — до 42,
кремнистый песчаник — до 17,
глинистый песчаник — до 1,6;

Основные свойства скальных грунтов

- ▶ при небольших нагрузках, например, от гражданских зданий, практически не сжимаются, но под воздействием очень больших нагрузок и в течение длительного времени они могут проявлять реологические свойства

Виды скальных грунтов по растворимости

- ▶ **труднорастворимые** — известняки, доломиты, известковые конгломераты и песчаники;
- ▶ **среднерастворимые** — гипс, ангидрит, гипсоносные конгломераты;
- ▶ **легкорастворимые** — каменная соль.

3. КЛАСС II : ПРИРОДНЫЕ ДИСПЕРСНЫЕ (нескальные) ГРУНТЫ

грунты состоят из твердых частиц зерен, обломков и др.элементов, между которыми есть физические, физико-механические, физико-химические структурные связи.

Подразделяются на группы:

II.1 – Связные грунты – осадочными глинистыми и органоминеральными породами с ионно-электростатическими, капиллярными структурными связями, зависящими от влажности

II.2 – Несвязные грунты, представленные осадочными, обломочными, несцементированными породами

Состав дисперсных грунтов может быть разным, т.к. в них выделяются части:

1– твердая, 2 - органическая и 3 - вода.

Твердая составляющая = первичные части – обломки г.п. или минералов (кварц, полевые шпаты и др.) +

вторичные: глинистые, гидроксиды железа, алюминия и некоторые другие, которые выполняют роль цемента или покрывают первичные в виде пленки.

Органический материал: торф – грубая полуразложившаяся масса растительных остатков + гумус – сложные высокодисперсные органо-минеральные образования.

3.1. ПРИРОДНЫЕ ДИСПЕРСНЫЕ (нескальные) ГРУНТЫ

► *Выделяются на разновидности по:*

1 - *Гранулометрическому составу -*

относительное содержание в дисперсных несвязных (или нескальных рыхлых) грунтах фракций частиц различной крупности, выраженное в процентах к массе сухого грунта, взятого для анализа.

Гранулометрические фракции — группы обломков пород или минералов, которые имеют близкие размеры и окатанности,

Гранулометрический состав дисперсных грунтов

- ▶ Каждая фракция имеет свои предельные размеры обломков (частиц) и свое наименование.
- ▶ Размеры фракций выражаются в мм, а количественное содержание — в процентах к общему массе высушенного грунта.
- ▶ *Гранулометрический состав* — один из важных факторов, определяющих свойства грунтов. От него зависят такие важные характеристики, как пластичность, пористость, сопротивление сдвигу, сжимаемость, усадка, набухание, высота капиллярного поднятия, водопроницаемость.

Классификация фракций и пород по гранулометрическому составу		
Наименование фракций	Степень крупности	Размер частиц, мм
Валуны (окатанные) и камни (угловатые)	Крупные	>800
	Средние	800—400
	Мелкие	400—200
Галька (окатанные) и щебень (угловатые)	Очень крупные (булыжник)	200—100
	Крупные	100—60
	Средние	60—40
	Мелкие	40—20
Гравий (окатанные) и дресва (угловатые)	Крупные	20—10
	Средние	10—4
	Мелкие	4—2
Песчаные частицы (песок)	Очень крупные	2—1
	Крупные	1—0,5
	Средние	0,5-0,25
	Мелкие	0,25—0,10
	Тонкие	0,10—0,05
Пылеватые частицы (пыль)	Крупные	0,05—0,01
	Мелкие	0,01—0,005
Глинистые частицы	Грубые	0,005—0,001

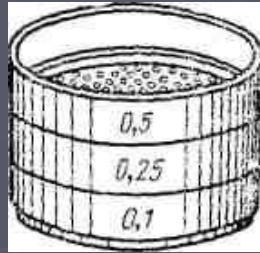
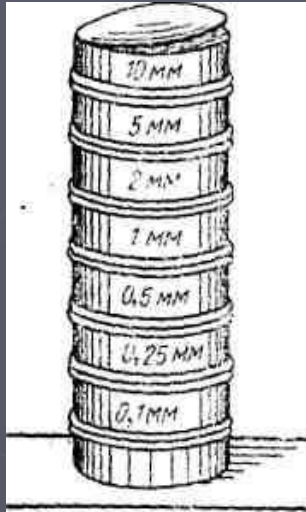
Классификация крупнообломочных и песчаных пород для строительных целей по СНиП

Наименование видов пород	Распред. частиц по крупности в % от веса сухой породы
<i>Крупнообломочные</i>	
Грунт щебенистый (при преобладании окатанных частиц — галечниковый)	Вес частиц крупнее 10 мм составляет более 50%
Грунт дресвяный (при преобладании окатанных частиц — гравийный)	Вес частиц крупнее 2 мм составляет более 50%
<i>Песчаные</i>	
Песок гравелистый	Вес частиц крупнее 2 мм составляет более 25%
Песок крупный	Вес частиц крупнее 0,5 мм составляет более 50%
Песок средней крупности	Вес частиц крупнее 0,25 мм составляет более 25%
Песок мелкий	Вес частиц крупнее 0,1 мм составляет 75%
Песок пылеватый	Вес частиц крупнее 0,1 мм составляет менее 75%

Наименование грунта	Содержание частиц, %		
	глинистых <0,005 мм	пылеватых 0,005—0,05 мм	песчаных 0,05-2,0 мм
Глина	>30	-	-
Суглинок тяжелый	30—20	-	-
Суглинок средний	20—15	-	Больше, чем пылеватых
Суглинок средний пылеватый	20 - 15	Больше, чем песчаных	-
Суглинок легкий	15 - 10	-	Больше, чем пылеватых
Суглинок пылеватый	15 - 10	Больше, чем песчаных	
Супесь тяжелая	10 - 6		Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 2—0,25 мм
Супесь мелкозернистая	10 - 6		Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 0,25—0,05 мм
Супесь тяж. пылеватая	10 - 6	Больше, чем песчаных	
Супесь легкая	6 - 3		Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 2—0,25 мм
Супесь легкая мелкозернистая	6 - 3		Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 0,25—0,05 мм
Супесь легкая пылеватая	6 - 3	Больше, чем песчаных	
Песок	<3		Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 2—0,25 мм
Песок мелкозернистый	<3		Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 0.25—0.05 мм

Методы изучения гранулометрического состава

Для определения зернового — гранулометрического, или механического, состава породы производят гранулометрический анализ такими способами : визуальные, ситовые, гидравлические, аэродинамические и оптические



К группе *визуальных методов* - серия методов, основанных на измерении и описании зернового состава пород на глаз или под лупой путем сравнения с эталонными коллекциями, сравнения с таблицами (трафаретами) и шкалами и др., используются для полевого описания пород и предварительной оценки их гранулометрического состава.

Ситовой метод гранулометрического анализа основан на использовании различных комплектов сит для разделения песчаных пород на различные фракции (рис. 3)

Гидравлические методы анализа основаны на различии в скорости падения в воде частиц разной крупности. непрерывный отбор проб из приготовленных суспензий (метод Робинзона, пипеточный анализ); взвешивание осадков, последовательно выпадающих из суспензии при ее отстаивании; учет изменения плотности или гидростатического давления суспензии (ареометрический анализ, метод Вагнера и др.).

Для установления наименования грунта (см. сл.37)

- ▶ последовательно суммируются проценты содержания частиц исследуемого грунта: сначала крупнее 200 мм, затем крупнее 10 мм, далее крупнее 2 мм и т. д.
Наименование грунта принимается по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименований в таблице.
- ▶ При наличии в крупнообломочных грунтах песчаного заполнителя более 40 % или глинистого заполнителя более 30 % общей массы воздушно-сухого грунта в наименование крупнообломочного грунта добавляется наименование вида заполнителя и указывается характеристика его состояния.
- ▶ Вид заполнителя устанавливается после удаления из крупнообломочного грунта частиц крупнее 2 мм.

Песчаные гр. – песчаные частички (2-0,05 мм), в сыпучем виде, лишенные структурных связей.

При увлажнении пески приобретают небольшую СВЯЗНОСТЬ.

Плотность их оценивается по величине коэффициента пористости (e).

Чем ниже значение e , тем плотнее песчаный грунт:

- при значении $e < 0,6$ мелкие пески считаются плотными,
- при $0,6 < e < 0,75$ — среднеплотными и
- при $e > 0,75$ — рыхлыми.

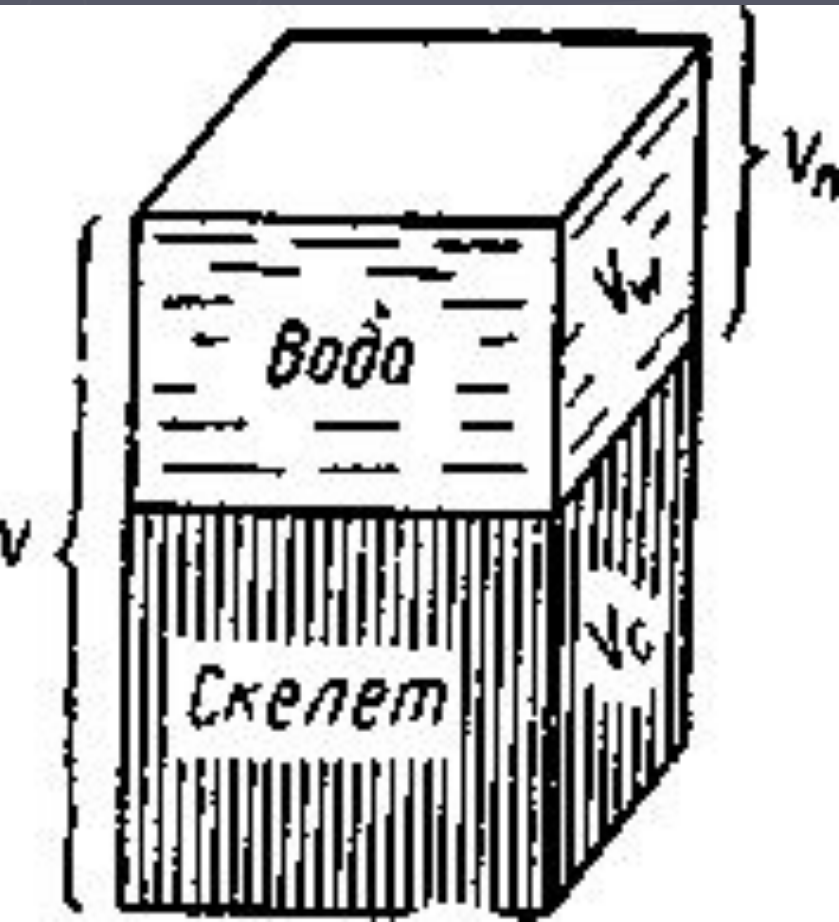
Рыхлые пески

- легко переводятся в плотное состояние с помощью вибрации, а также в результате воздействия фильтрующейся воды.
- обладают водопроницаемостью (от средней до высокой),
- капиллярно поднимают воду на высоту **0,9—1,0 м** при мелкозернистых, до **0,1—0,2 м** — при крупнозернистых песках.
- Под давлением незначительно и быстро уплотняются, независимо от влажности.
- Наиболее прочными - кварцевые, полевошпатовые и др.
- устойчивые и надежные основания для различных инженерных сооружений, но бывают **пльвуны**

- ▶ **3.1.2 Степень неоднородности (U)** зернового состава крупнообломочных и песчаных грунтов
- ▶ **$U = d_{60} / d_{10}$, где d_{60} и d_{10} – диаметры частиц**, меньше которых в данном грунте содержится (по весу) соответственно 60 % и 10% частиц фракции. определяется особенно при проектировании оснований гидротехнических сооружений
- ▶ Песчаные и крупнообломочные грунты считаются неоднородными при **U более 3.**
- ▶ В целом крупнообломочные грунты являются хорошим основанием для зданий и сооружений, при плотном сложении под нагрузкой не уплотняются, но при большом содержании **глинистых минералов** **появляется тенденция к сжимаемости.**
- ▶ При сильных землетрясениях водонасыщенные грунты могут разжижаться и терять устойчивость

3.1.3. Пористость

- ▶ Схема составных частей трехфазной (А) и двухфазной (Б) породы:
- ▶ V — объем всей породы;
- ▶ $V_{ск}$ — объем скелета; $V_{п}$ — объем пор;
- ▶ $V_{а}$ — объем воздуха в порах; $V_{в}$ — объем воды в порах



Пористость (n) = V_p/V где

V_p — объем пор; V —объем породы

- Величина общей пористости грунтов (n) выражается в процентах или в долях единицы и представляет собой суммарный объем пустот в единице объема грунта.
- пустоты между обломками в нескальных грунтах - галечниках, песках, суглинках и глинистых грунтах, а
- для крупнообломочных грунтов - термин «**скважность**».
- Наибольшей пористостью обладают:
 - мелкозернистые гр. — пески — 28-35%,
 - глинистые — 60-75%.
- Пустоты в грунтах могут быть заполнены воздухом, чаще - водой. По порам происходит движение воды или ее накопление в грунтах, что оказывает непосредственное влияние на их свойства и, прежде всего, на их прочность.

Макропоры (более 1 мм) – свободное движение воды

Мезопоры (1 – 0,1 мм) – гравитационная вода движется при определенном напоре; капиллярное поднятие происходит на значительную высоту.-

- **Микропоры** (10 – 0,1 мкм) – поры в органохимических и глинистых породах, движение гравитационной воды не происходит, капиллярное давление на большую высоту

Активная пористость – характеризует объем пустот гр.с диаметром более 0,02 мм, по которым происходит свободное движение.

- **Коэффициент пористости - e** – отношение объема пор к объему твердой части (скелета грунта)
- Между общей пористостью и коэффициентом пористости установлена следующая связь:
- **$e = n/(1-n)$, или $n = e/(1 + e)$.**

Обломочные несцементированные без структурных связей: пески, гравий и пр.

-Прочность высокая и средняя, зависит от минералогического состава и крупности зерен-обломков коренных пород.

- ▶ Слабо сжимаемы, сопротивление сдвигу высокое и увеличивается с увеличением размера зерен.
- ▶ Хорошо водопроницаемы, фильтрационные свойства увеличиваются также с увеличением размера зерен-обломков

3.2. Связные (глинистые) грунты и их свойства

➤ **Минеральные – глинистые** грунты с физическими и физико-химическими структурными связями между частицами, самые распространенные на земной поверхности (не менее 60 % объема осадочных пород): **супеси, суглинки и глины.**

➤ **органоминеральные; - органические.**



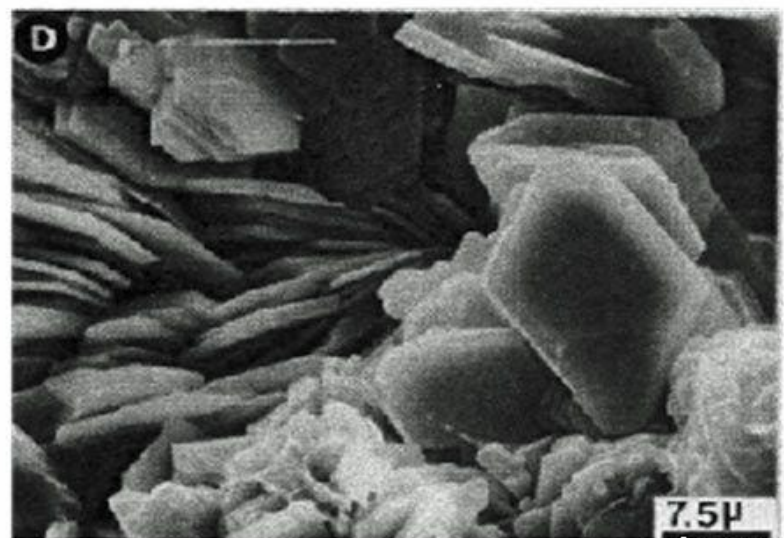
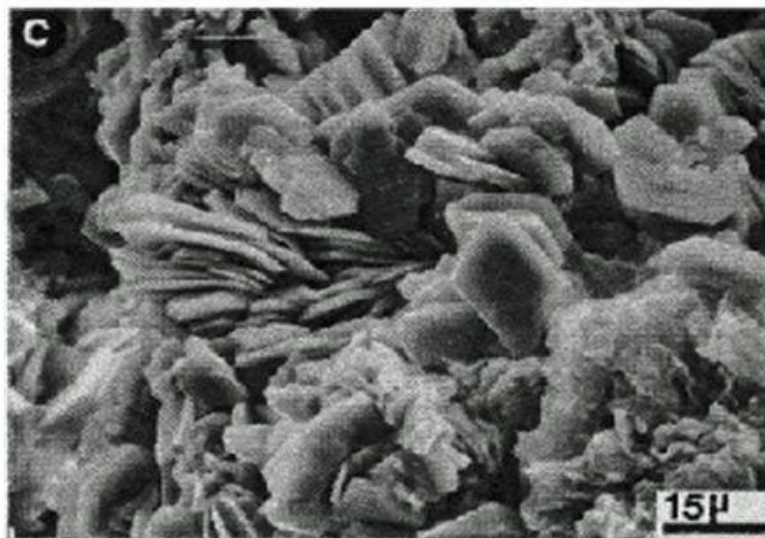
Пористость глинистых грунтов

- Супеси — 10...15%, суглинки — 20...30 %, глины — до 90...95 %.
- В супесях, легких и средних суглинках поры имеют открытый характер, т. е. они соединяются друг с другом → позволяет достаточно свободно проникать в грунт воздух и воде.
- В глинах большинство пор имеет **закрытый характер, поры изолированы друг от друга, могут содержать «защемленные» воздух и воду.** Закрытость пор придает глинам характер «водоупоров» и **через глины вода не фильтруется.**

Глинистые породы состоят из глинистых минералов

- **Каолинита** (каолинит, диккит, галлуазит)
- **Монтмориillonита** (монтмориillonит, бейделлит);
- **Гидрослюды** (серицит, иллит) – занимают промежуточное положение между слюдами и глинами
- ▶ Высокая дисперсность – размер частиц менее 0,001 мм;
- ▶ Пластинчатая и чешуйчатая форма;

Фото глины — каолинита, под электронным сканирующим микроскопом, x 10000



Каолинит



Другие характерные особенности **глинистых минералов**

- ▶ Большая удельная поверхность - на 1 г монтмориллонита = 800 м² ; гидрослюда - только 80 м².

Чем больше удельная поверхность, тем больше способность грунта к поглощению, особенно у минералов, алюмосиликатного или силикатного состава с отрицательными зарядами;

- ▶ Самый высокий потенциал поверхностной энергии;
- ▶ Способность впитывать и отдавать воду не разрушаясь – **гигроскопичность**;
- ▶ Поглощать одни катионы из растворов и отдавать другие – **адсорбционная**;
- ▶ Набухать, усыхать и сжиматься особенно монтмориллонит;
- ▶ Незначительная **водопроницаемость** – водоупорность.

Минеральные (глинистые) грунты

характеризуются большой группой физических свойств:

- ▶ пористостью,
- ▶ влагоемкостью,
- ▶ поглонительной способностью,
- ▶ специфическими свойствами:
пластичностью, консистенцией, липкостью,
- ▶ набуханием и усадкой,
- ▶ коррозионными свойствами

Поглотительная способность грунтов

При прохождении через грунты жидкостей и газов поверхность частиц притягивает к себе содержащиеся в них вещества или наоборот отдает в эти жидкости и газы какие-либо вещества со своей поверхности.

Наиболее активную роль играют молекулы воды, органические соединения и катионы химических элементов: K, Na, Ca, Mg.

Емкость объема грунта

Максимально возможное количество поглощенных катионов; выражается в миллиграмм-эквивалентах (мг-экв) на 100 г сухого глинистого грунта.

Емкость объема зависит:

- 1) от дисперсности частиц, т. е. чем мельче частицы и их больше в единице объема грунта, тем больше будет суммарная поверхность частиц и общая поверхностная энергия;
- 2) от минерального состава грунта - например, наибольшей поглотительной способностью обладают монтмориллониты.

Влияние вторичных минералов на свойства глин

- ▶ **Ионы кальция** – ведут к снижению пластичности, сжимаемости;
- ▶ **Ионы натрия** – увеличивают набухаемость, пластичность, сжимаемость, уменьшают водопроницаемость.

Меняя состав и концентрацию солей в поровом растворе можно искусственно воздействовать на инженерно-геологические свойства пород, менять в нужном направлении

3.2.1. Виды воды в глинистых грунтах

➤ В горных породах и грунтах может быть:

➤ 1 - Химически связанная - ХСВ - вода, входящая в состав минералов, по В. И. Вернадскому следующие виды ХСВ:

➤ а) **конституционную** - прочно связана с веществом минерала (малахит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$);

➤ б) **кристаллизационную** - участвует в построении кристаллических решеток минералов в виде нейтральной молекулы H_2O - гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ;

➤ в) **цеолитную** - частью кристаллизационной воды и характеризуется переменным содержанием в минерале и более низкой температурой (30 – 110) выделения из минерала .

Виды воды в глинистых грунтах

► **2 - Физически связанная:**

- пленочная прочносвязанная (1);
- пленочная рыхлосвязанная (2);
- капиллярная (3)

3 – В твердом состоянии (лед) –
дисперсные и крупные кристаллы,
прослой и линзы

5 - Свободная (гравитационная)

В зависимости от влажности грунтов вода образует в глинах различные формы. 1 — 4 — вода: пленочная прочносвязанная (1); пленочная рыхлосвязанная (2); капиллярная (3); свободная (4)

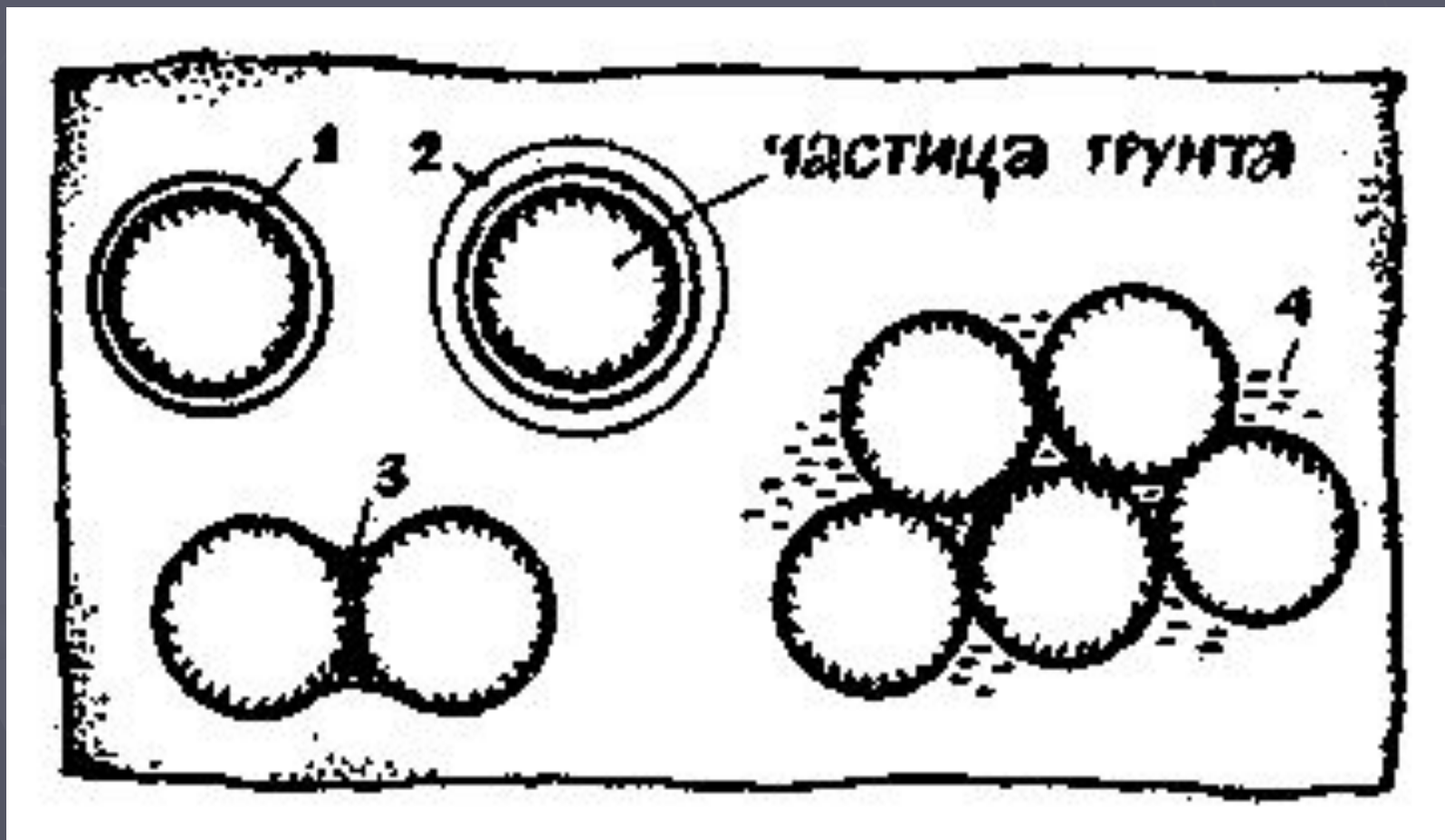
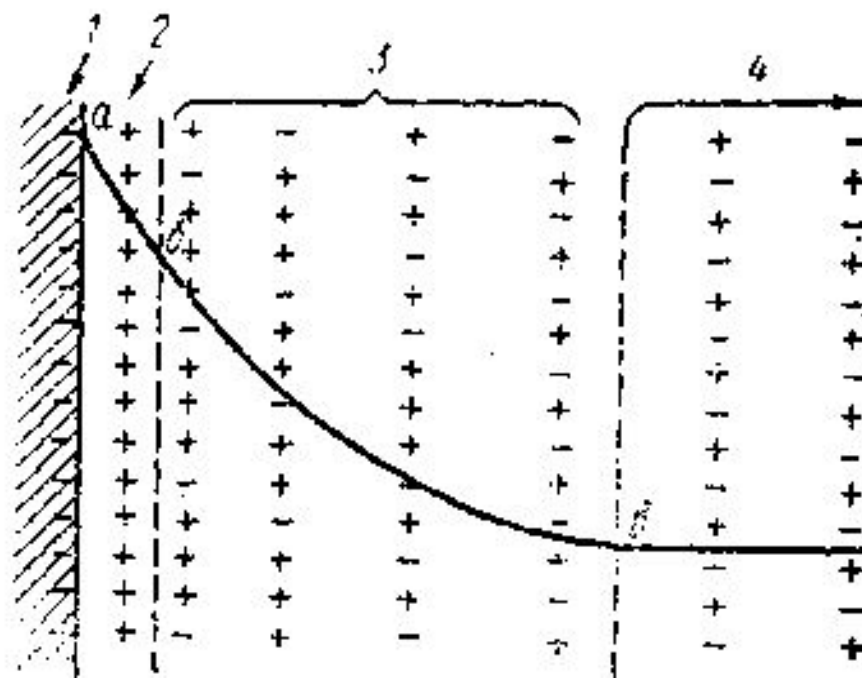
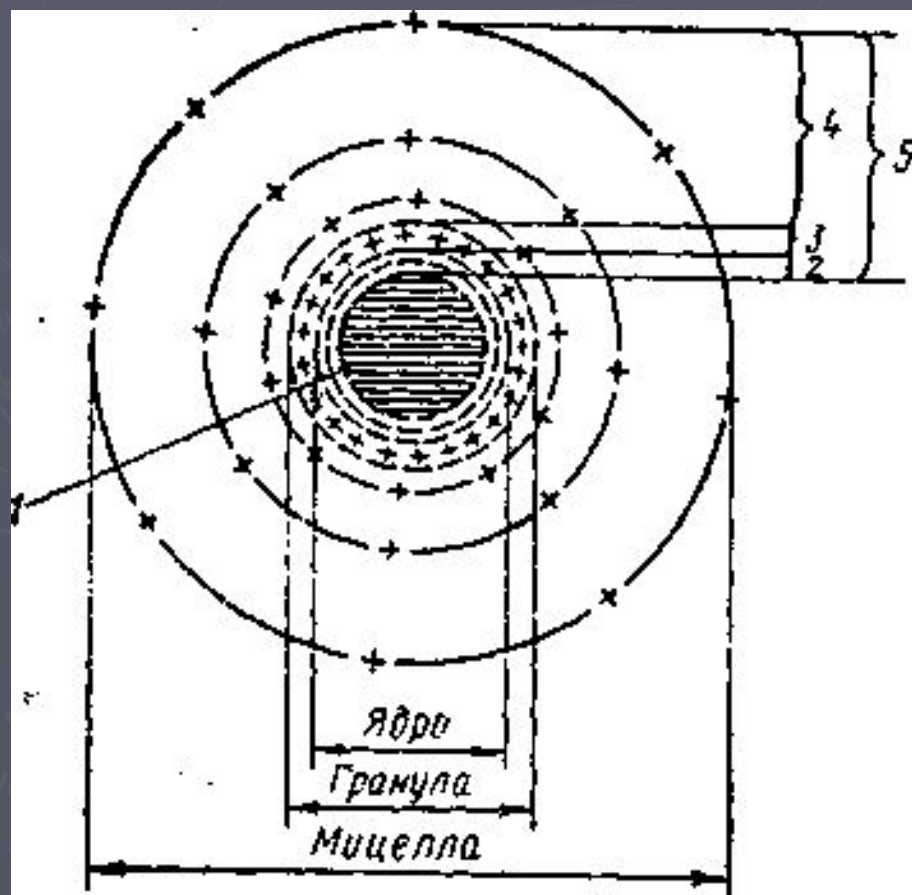


Схема строения коллоидной мицеллы:

- 1 — глинистая коллоидная частица;
- 2 — отрицательные заряды на поверхности частицы;
- 3 — адсорбционный (неподвижный) слой катионов;
- 4 — диффузный (подвижный) слой;
- 5 — двойной электрический слой



Физически связанная вода (ФСВ) на поверхности глинистых минералов

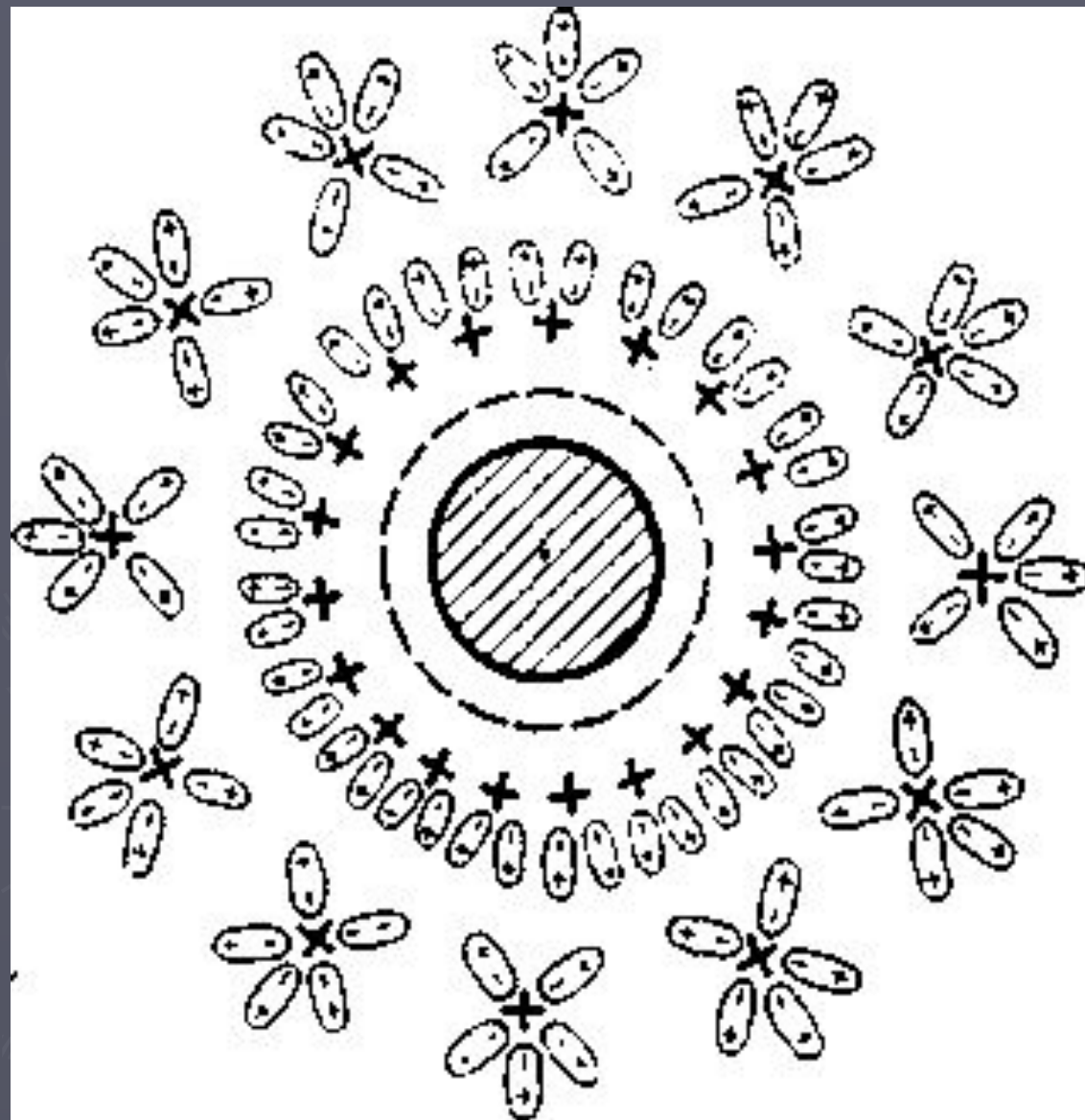


Схема строения
коллоидной мицеллы в
водном растворе:

1 – отрицательно
заряженная
глинистая частица;

2 – катионы
адсорбционного и
диффузного слоя;

3 – диполи воды

Физически связанная вода (ФСВ)

1 Прочносвязанная (адсорбированная) или гигроскопическая вода, по терминологии А. Ф. Лебедева, связана с поверхностью минеральной частицы зарядами внутренней части двойного электрического слоя, т. е. зарядами ядра и катионов адсорбционного слоя. Она:

- Трудноподвижна
- Замерзает при температуре от 0 до -78°C
- Электропроводность ее значительно меньше, чем электропроводность свободной воды.
- Плотность изменяется от 1,2 до $2,4\text{ г/см}^3$.
- Обладает большой вязкостью и упругостью.

Максимальное количество прочносвязанной, или адсорбированной воды

- ▶ называют *максимальной гигроскопичностью*, или *максимальной гигроскопической влагоемкостью*.
- ▶ Определяют путем высушивания образцов изучаемой породы до постоянного веса при температуре $105—110^{\circ}\text{C}$ и рассчитывают отношение веса воды к весу сухой породы.

Физически рыхлосвязанная, или диффузионная вода

содержится в большем количестве по сравнению с прочносвязанной.

Образует вокруг мицеллы гидратные оболочки, толщиной не более 0,005—0,01 мкм.

Перемещается :

- 1) под действием сил молекулярного притяжения от частиц с толстой гидратной оболочкой к частицам с тонкой гидратной оболочкой (пленкой) независимо от влияния силы тяжести;
- 2) под влиянием напора, создаваемого внешней нагрузкой.
- 3) под влиянием осмотических и электроосмотических сил

Температура замерзания - ниже 0. Плотность – выше

Максимальная молекулярная влагоемкость

(W_m)
Максимальное количество этой воды, удерживаемое данной породой в данных условиях (А. Ф. Лебедев)

Величина максимальной молекулярной влагоемкости различных пород зависит от:

- ▶ 1) минерального состава,
- ▶ 2) степени дисперсности породы (т. е. от гранулометрического состава) и
- ▶ 3) состава поглощенных катионов.

При данной влажности **глинистые породы** сохраняют **твердое или полутвердое состояние;**
непластичны, не поддаются формовке.

Но вблизи земной поверхности встречаются и глинистые породы, находящиеся в пластичном состоянии.

Очень рыхлосвязанная (пленочная) вода

- Связана с периферическими частями диффузного слоя, образует самые внешние части гидратных оболочек и характерна только для тонкодисперсных — глинистых пород.
- Оказывает влияние на пластичность глинистых пород только в образцах с нарушенной структурой (для илистых глин, современных аллювиальных и морских отложений),
- набухание, усадка
- Механическая прочность очень невелика.
- При строительстве на таких породах требуется закрепление пород основания или устройство искусственных оснований фундаментов.

3.3.2. Естественная влажность грунтов (W)

Это все количество воды во всех ее видах, которое содержится в грунте в условиях его природного залегания. $W =$ весовое количество воды / вес сухого образца грунта.

Степень влажности, или относительная влажность грунтов (G или S), показывает долю заполнения пор грунта водой.

Естественная влажность грунтов

(W)

Влажность грунтов ниже уровня грунтовых вод практически не изменяется.

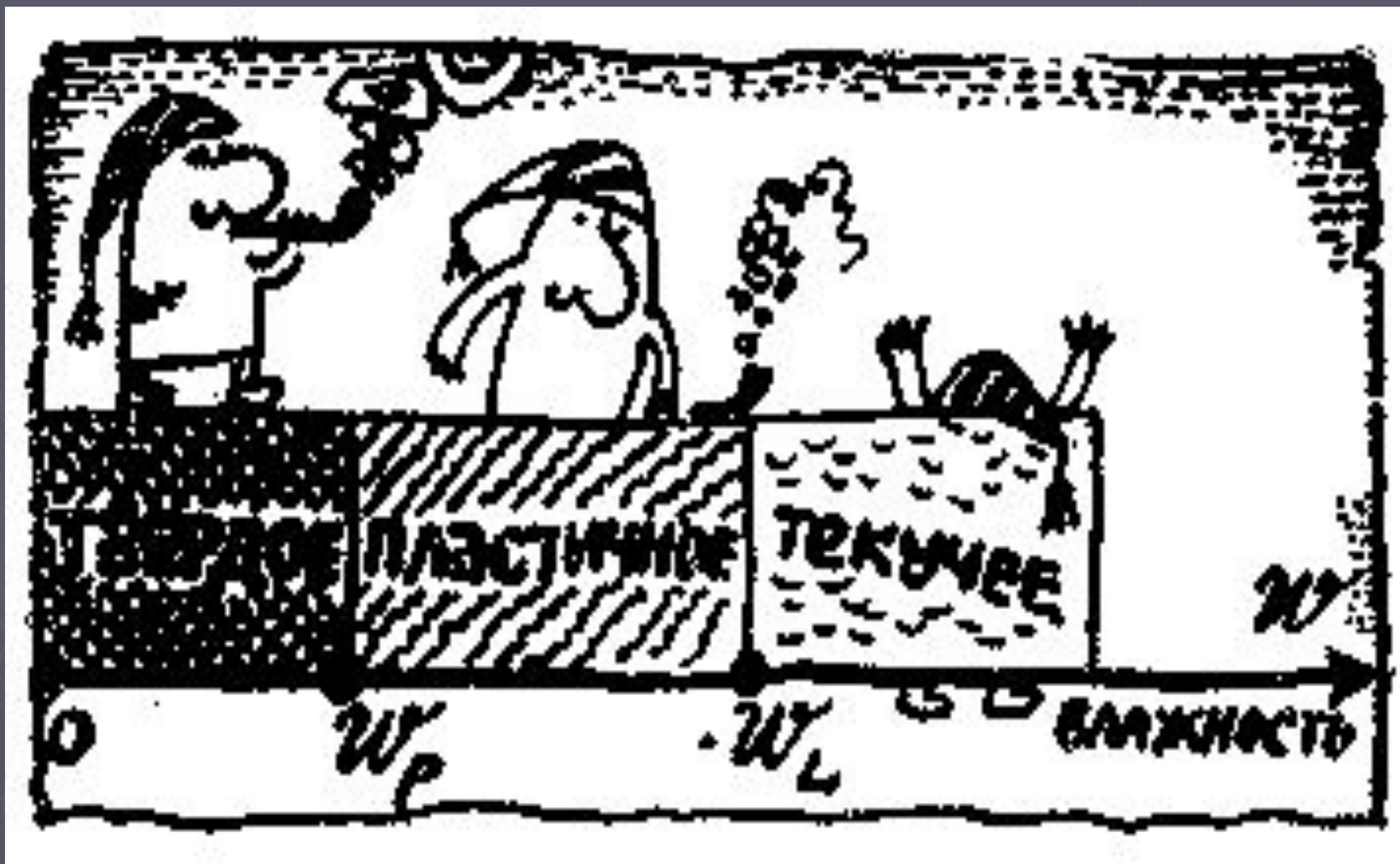
Выше этого уровня, особенно в зоне аэрации, влажность непрерывно изменяется. Наблюдаются суточные, сезонные и годовые колебания естественной влажности.

По величине G грунты подразделяют на:

- маловлажные ($G > 0,5$),
- влажные ($G > 0,54-0,8$)
- насыщенные водой ($G = 0,8-1,0$).

► Природная влажность и плотность грунта — ГОСТ

При возрастании влажности глинистый грунт
переходит в различные состояния (с.70-71)



3.2.3. Пластичностью

- способность глинистого грунта под действием внешнего давления изменять свою внешнюю форму без разрыва сплошности (без образования трещин) и сохранять приданную ему форму после прекращения давления.
- Пластичные свойства обусловливаются наличием пленочной воды на частицах глинистых грунтов.
- Влажность, при которой глинистый грунт переходит из твердого состояния в пластичное, или наоборот, называют **границей раскатывания (W_p)**,
- а влажность грунта при переходе из пластичного состояния в текучее, или наоборот, — **границей текучести (W_L)**.
- Диапазон влажности между этими границами отвечает пластичному состоянию грунта. Разность между ними — **числом пластичности (IP)** $IP = W_L - W_p$

Показатели пластичности успешно служат для определения литологического типа грунта (табл.).

Классификация глинистых грунтов по числу пластичности

Пластичность грунтов	Число пластичности	Литологический тип грунтов
Высокопластичные	$I_p > 0.17$	глины
Пластичные	$0,07 < I_p < 0.17$	суглинки
Слабопластичные	$0,01 < I_p < 0.07$	супеси

3.2.4. Особые свойства глинистых грунтов

- ▶ **Консистенция** - степень подвижности частиц глинистого грунта, обусловленная различным содержанием в нем воды. Кроме основных трех форм консистенции (твердой, пластичной и текучей) выделяют также промежуточные: *полутвердую, тугопластичную, мягкопластичную и текучепластичную.*
- ▶ Формы консистенции определяют механические свойства глинистых пород, их поведение под нагрузками от сооружений
- ▶ Консистенция характеризуется *показателем консистенции (IL)*, представляющим числовую характеристику состояния грунта, определяемую по формуле
$$IL = (W - W_p) / I_p$$

Набухание

- ▶ *Набухание* — способность глинистого грунта при увлажнении увеличиваться в объеме за счет утолщения пленок связанной воды, что приводит к увеличению расстояний между частицами. Влажность грунта при максимальном набухании называется *влажностью набухания* (W_n). Наибольшее набухание имеют глины с содержанием **монтмориллонита и обменного натрия**.
- ▶ При увеличении объема грунт развивает *давление набухания* (P_n), которое может достигнуть 0,3—0,5 МПа и более.
- ▶ **Мероприятия по защите от набухания:**
 - Водозащита вокруг зданий и сооружений для предотвращения попадания воды — асфальтовые отмостки, канавы и лотки,
 - Устройство компенсирующих подушек под всем зданием (в виде уплотненного песка, суглинка, глины),
 - Замена набухающего грунта,
 - Полная или частичная прорезка сборными фундаментами слоя набухающего грунта и др.

Усадка

- ▶ процесс уменьшения объема глинистого грунта при высыхании.
- ▶ В природных условиях набухание и усадка соединяются в единый процесс попеременного увеличения и уменьшения объема грунта. В процессе усадки в грунте образуются трещины, грунт переходит в переуплотненное состояние - величиной *относительной усадки* при высыхании (E).
- ▶ Предупреждают теми же мероприятиями, что и набухание.
- ▶ Набухание и усадка глинистых грунтов могут вызвать значительные неравномерные атмосферные осадки → подъем оснований зданий и сооружений (плотин, трубопроводов, полотна дорог и т. д.) и их деформации.

- ▶ **Водостойкостью** или **водопрочностью** называют способность глинистых грунтов сохранять механическую прочность и устойчивость при взаимодействии с водой.
- ▶ Ее подразделяют:
- ▶ **Размокаемость** - процесс взаимодействия грунтов с водой при погружении грунта в воду. При этом одни грунты разрушаются, например лёссовые породы, другие — частично, а третьи сохраняют свою структуру, например жирные глины.
- ▶ **Размываемость** - способность глинистого грунта отдавать свои частицы или агрегаты движущейся по грунту воде.
- ▶ **Липкость** — способность глинистых грунтов при определенном содержании воды прилипать к различным предметам. Она появляется в пластичных грунтах при влажности, несколько большей, чем нижний предел пластичности. Количественно липкость оценивается величиной усилия (в МПа), которое надо приложить, чтобы оторвать предмет от грунта.
- ▶ Наиболее часто величина липкости составляет $5 \cdot 10^{-3}$ — $2 \cdot 10^{-2}$ МПа. Величина липкости снижается при подсушке грунта или введении в него песка.

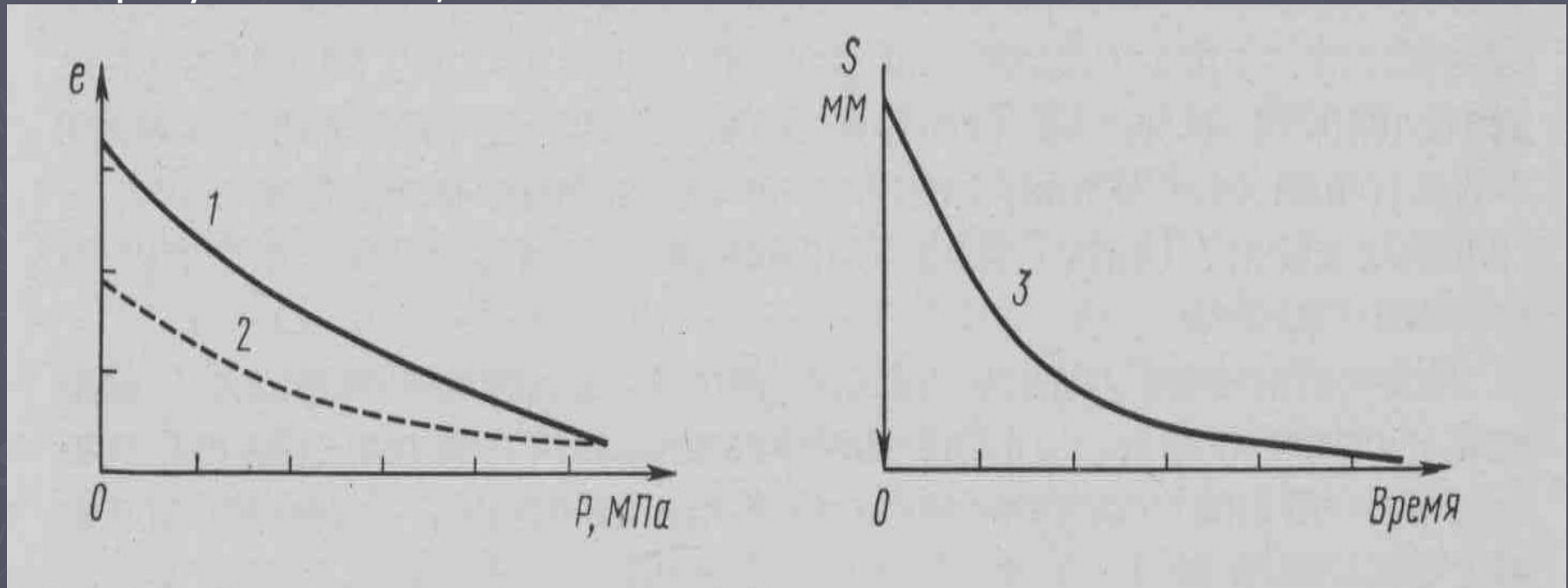
- ▶ **Коррозионные свойства глинистых грунтов** проявляются при соприкосновении подземных металлических сооружений с электролитом, т. е. с жидкой составляющей грунтов. Скорость разрушения металла в значительной мере определяется *коррозионной активностью* грунтов, зависящей от их химического состава, влажности, воздухопроницаемости и электропроводности.

Частным случаем почвенной коррозии является биокоррозия, протекающая под воздействием микроорганизмов, ускоряющих коррозионные процессы.

- ▶ Наиболее энергично подземная коррозия развивается в условиях переменной влажности грунтов.
- ▶ С работой электрических устройств, у которых в качестве токопровода земля (грунты), связана *коррозия металла блуждающими токами*. Возникает она при пересечении трассой трубопровода линий электропередач, электрифицированных железных дорог и т. д.

Сжимаемость — способность глинистых грунтов под нагрузкой уменьшаться в объеме за счет вначале вытеснения газа (воздуха), а после и воды из пор грунта → нагрузка постепенно передается на минеральные частицы грунта.

Компрессионные кривые для глинистого грунта: 1 — сжимаемости; 2 — разуплотнения; 3 — консолидации



- ▶ **Компрессионная кривая или кривая сжимаемости** - кривая, выражающая зависимость между коэффициентом пористости и давлением на грунт.

Уменьшение объема глинистых грунтов под нагрузкой происходит медленно. После снятия нагрузки в грунте происходит некоторое увеличение объема, или разуплотнение.

На рис. показана также кривая консолидации - 3, отражающая уменьшение коэффициента пористости грунта во времени при неизменяющейся нагрузке.

Особый случай представляет собой сжатие водонасыщенных глинистых грунтов. Вначале нагрузка воспринимается водой, заполняющей поры грунта. Твердые частицы испытывают только всестороннее гидростатическое давление. После отжатия воды давление передается на минеральные частицы.

Величина сжимаемости глинистых грунтов измеряется *коэффициентом уплотнения* или *сжимаемости*, α и модулем осадки e_p , показывающим величину сжатия грунта в миллиметрах, приходящуюся на 1 м толщи грунта под нагрузкой 0,1 МПа.

- ▶ ***Показатели сопротивления сдвигу*** — угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c являются важнейшими показателями прочности грунтов. Их используют при оценке устойчивости откосов, карьеров, оползневых склонов и т. д.

Сцепление и угол внутреннего трения в значительной степени зависят от консистенции и коэффициента пористости глинистых грунтов. Чем выше коэффициент пористости e , тем меньше значение удельного сцепления

Таким образом, глинистые грунты с КОЛЛОИДНЫМИ СВЯЗЯМИ

- Прочность невысокая, при увлажнении уменьшается и иногда доходит до нуля.
- Связи обратимые — при разрушении могут восстанавливаться.
- В зависимости от степени влажности могут находиться в твердом, пластичном и текучем состояниях.
- Сильно сжимаемы. Сопротивление сдвигающим усилиям низкое.
- Сильно влагоемкие. Практически водонепроницаемы.

3.3. Органические соединения

- полуразложившиеся растительные и др. остатки, торф и т.п, изменяют свойства грунтов:

- ▶ высокая влагоемкость, пластичность
- ▶ низкая водопроницаемость
- ▶ высокая сжимаемость
- ▶ низкое сопротивление к сдвигу

Что же это такое — прочность грунтов?

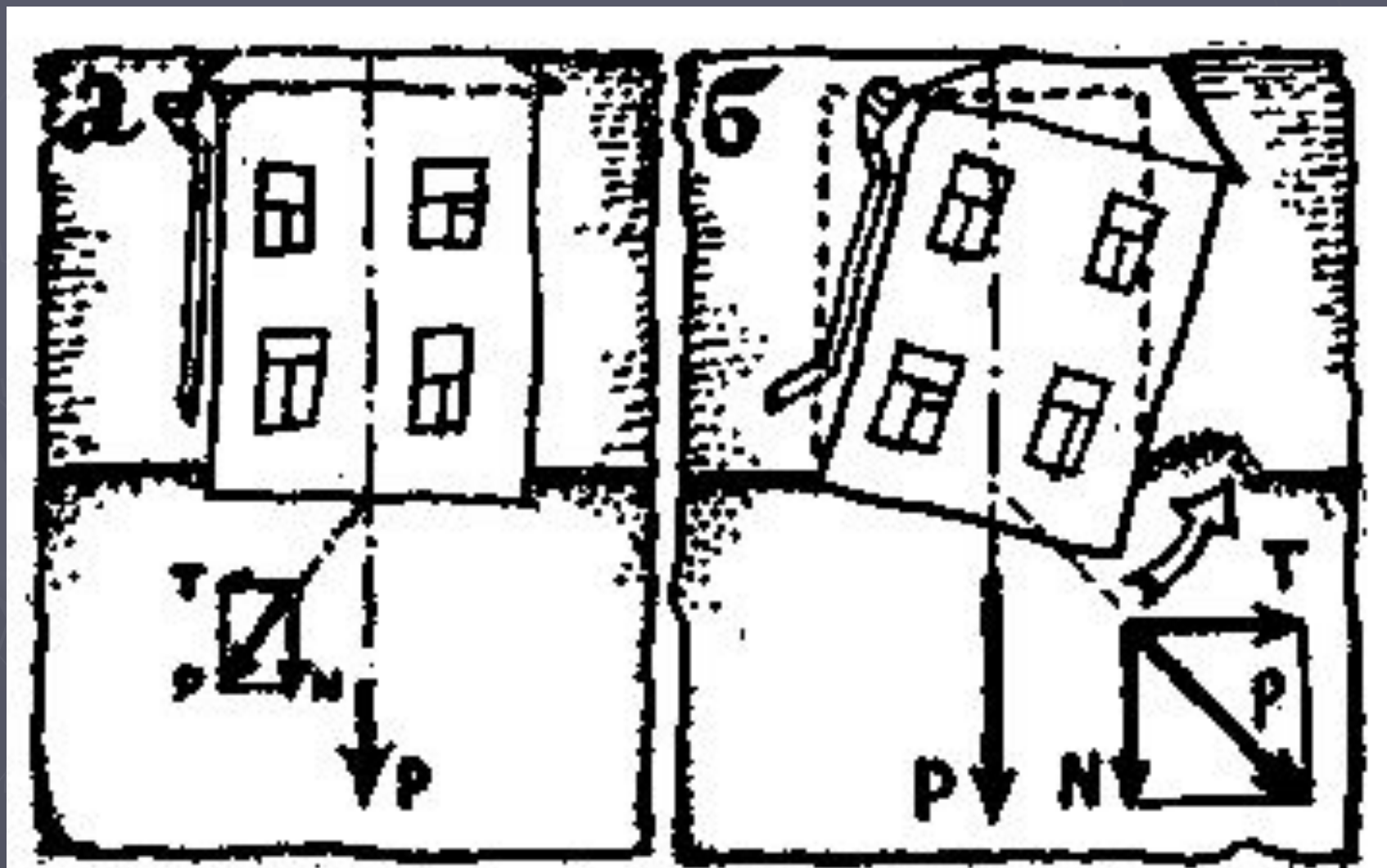
При строительстве здания, увеличении его этажей будет больше вес на каждую единицу площади грунта. Если начертить схему постройки (рис. 37), то увидим: по центральной оси будет действовать вертикально направленная сила тяжести P . К периферии здания эта сила будет раскладываться **на две составляющие:**

- ▶ — **вертикальную — N , сжимающую грунты сверху вниз, вызывая погружение здания в грунт или, как говорят, осадку.**
- ▶ **вторую — горизонтальную составляющую — T , которая старается выдавить грунт из-под фундамента здания.**

Продолжая строительство вес здания будет расти, а с ним увеличиваться и эта горизонтальная сила. Когда она станет больше, чем прочность грунта, то произойдет разрушение основания. Грунтовая масса выдавится из-под здания, и оно, наклонившись, рухнет.

Вот поэтому-то для грунтоведа очень важно определить прочность грунта, характеризуемую сопротивлением сдвигу (или выпиранию под действием горизонтальной силы).

рис. 37. Вот какие силы действуют под домом (а).
Если сила сдвига больше сопротивления грунта,
то возникает выпор последнего (б)



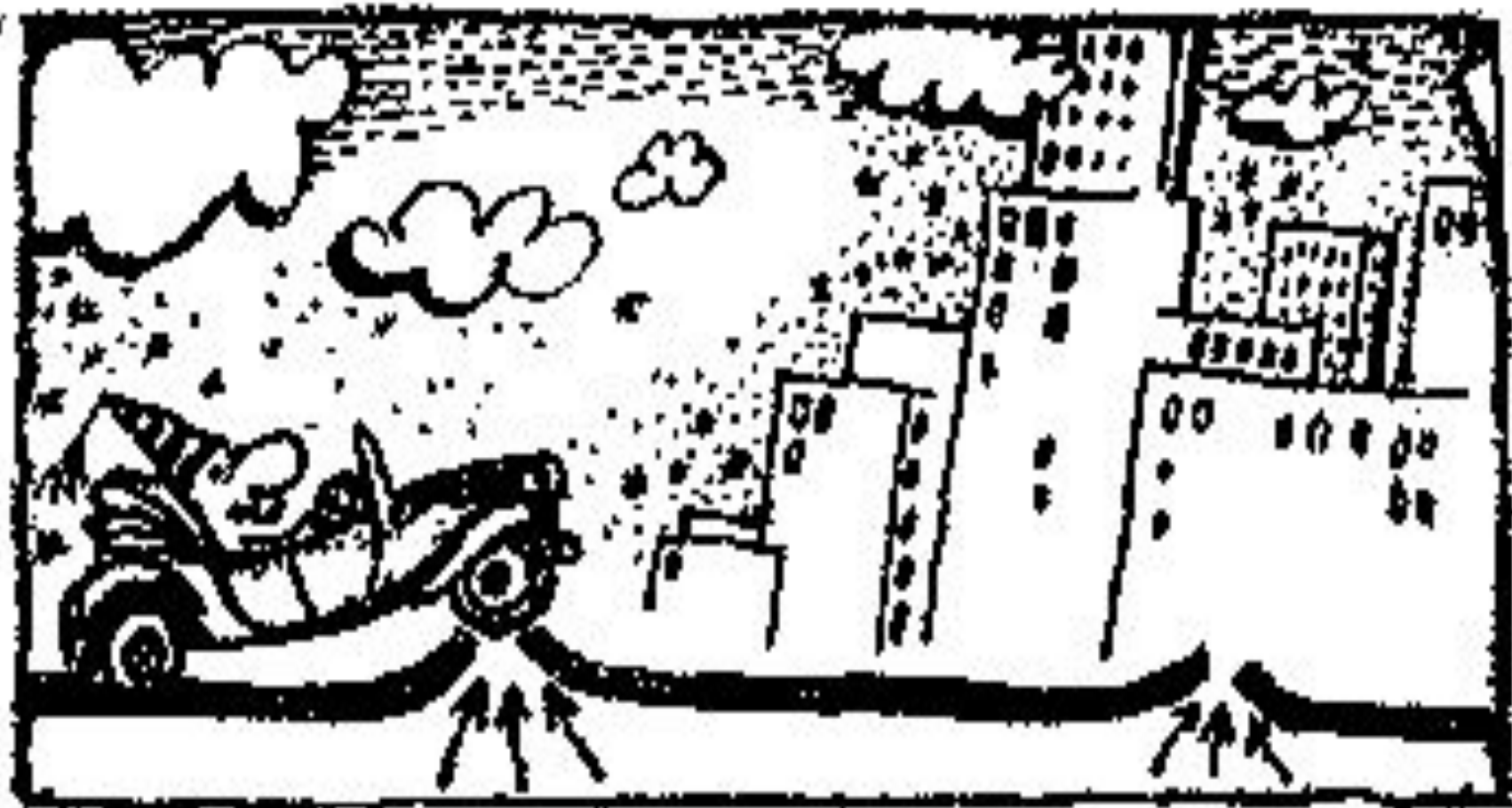
Процесс морозного пучения

В ходе зимнего промерзания происходит увеличение объема, занимаемого водой (примерно 9 %), при превращении ее в лед. Однако процесс этим не ограничивается.

При длительном промерзании возникает своеобразное явление непрерывного возрастания влажности грунта. Это происходит в результате подсоса воды из нижних горизонтов. Немалое значение имеет перемещение водяных паров в сторону участков с пониженной температурой. В некоторых случаях в замерзший грунт поступает настолько много воды, что образуются целые ледяные прослойки. Этот процесс сопровождается увеличением объема грунта. Возникающее при этом замерзании давление столь значительно (до 200 МПа), что с легкостью приподнимаются здания, вспучиваются асфальтобетонные покрытия автомобильных дорог, деформируются железнодорожное полотно, взлетные полосы аэродромов и т. д.

В разгаре зимы подобное вспучивание может достигать десятков сантиметров. Когда наступает теплое время, лед начинает таять, грунт разжижается и на месте «вздутия» образуется углубление, заполненное жидкой грязью. Асфальт на автострадах разрушается, а на грунтовых дорогах появляются выбоины и ямы (рис. 32).

Вот как пучение разрушает дороги



Способы борьбы с пучением

- Один из них — добавление к грунту соли (хлористого кальция). Если она составляет только 1 — 2 %, то грунт замерзает не при 0°C, а при минус 10 — 12 °C. Чаще всего этого оказывается достаточно, чтобы пучины не возникали.
- Другим методом борьбы может быть осушение пучинистых грунтов. Если удастся отвести воду, то процесс пучения либо не возникает, либо протекает значительно слабее.

5. Техническая мелиорация грунтов

Отрасль инженерной геологии, которая занимается решением вопросов улучшения свойств грунтов, в целях искусственного изменения свойств грунтов в сторону увеличения их прочностных качеств, водостойчивости и снижения водопроницаемости, что особенно важно, когда эти грунты используются в качестве оснований.

Получение улучшенных грунтов

Два основных пути получения улучшенных грунтов — *закрепление* и *уплотнение*:

1) При **закреплении** увеличивается прочность грунтов. Это достигается повышением прочности контактов между отдельными частицами грунта или грунтовыми агрегатами путем склеивания частиц различными химическими веществами (методы типа силикатизации), спекания частиц друг с другом (при обжиге грунтов), путем создания ледовых контактов (замораживание грунтов) и т. д.

Получение улучшенных грунтов

2) Уплотнение нескальных грунтов: за счет уменьшения их пористости увеличивается количество контактов между частицами, что приводит к увеличению общей прочности грунтового основания и уменьшению его сжимаемости.

Грунты уплотняют как с поверхности (катками, тяжелыми трамбовками, вибрацией), так и в глубине толщ (грунтовые сваи, взрывы, замачивание и т. д.).

6. Строение и структурные связи грунтов

Строение: структура, текстура, структурные связи и сложение породы.

Структурные связи — связи между минеральными частицами, которые слагают Г.П., грунт

Структурные связи по происхождению

- **Первичные**
- **Вторичные**, возникшие при диагенезе и последующем изменении пород.

6.2. Структура

Структура горной породы - совокупность признаков, обусловленная абсолютными и относительными размерами и формой минеральных зерен (индивидов), особенностями их срастания между собой, т.е. степенью кристалличности.

6.2. Структура

- ▶ Размер зерен влияет на прочность и устойчивость пород: более прочные – это мелкокристаллические (см. 9 в с.р.);
- ▶ Наличие вулканического стекла снижает прочность породы и ее сопротивление



6.2. Структура

- ▶ В осадочных сцементированных породах прочность зависит:
- ▶ От размера зерен в цементе – более прочные – мелко- тонкозернистые;
- ▶ Типа цемента: базальный, поровый, пленочный, контактовый (тал.11, 12, 13 с.р.).

В глинистых породах кроме микроструктуры выделяют макроструктуру: пелитовая, алевроитовая, псаммопелитовая, конгломератовидная и т.д.

6.3.Текстура

Текстура горной породы

- совокупность признаков строения горной породы, обусловленных ориентировкой и относительным расположением ее составных частей - минеральных агрегатов (сростков).



6.3.Текстура

Должна рассматриваться как показатель неоднородности и анизотропности Г.П. и грунтов, от которых зависят:

- ▶ Прочность и изменчивость
- ▶ Порядок отбора проб
- ▶ Методика лабораторных исследований.

Влияет:

- ▶ на сопротивление породы сжатию-сдвигу;
- ▶ На фильтрацию воды через породы, с которыми связаны процессы суффозии, растворения и др., ослабляющие физико-механические свойства грунтов

Текстура магматических Г.п.

- ▶ Массивные – изотропны;
- ▶ Флюидалые и сланцевато-полосчатая – анизотропны – снижается прочность;
- ▶ Пузырчатая – быстро выветриваются;



Текстура метаморфических Г.п.

▶ Сланцеватая

Сланцеватость –

- 1) свойство горных пород, подвергшихся метаморфизму, расслаиваться или раскалываться на тонкие плитки по поверхностям, обычно перпендикулярным направлению давления;
- 2) текстура, вид отдельности метаморфических пород;
Гнейсовидная, пльчатая.



Текстура осадочных Г.п.

- ▶ Беспорядочные – наибольшая прочность
- ▶ Слоистые – анизотропность свойств: прочность вдоль слоистости меньше, чем в перпендикулярном к ней направлении;
- ▶ Пористые – с мелкими (менее 5 мм) и крупные (более 5 мм) порами;
- ▶ Обломочные рыхлые – прочность разная, водопроницаемые

7. Основные понятия при оценке инженерно – геологических свойств грунтов

охватывают все генетические классы горных пород.

- 1 - физические выражают физическое состояние;
- 2 – механические – свойства, появляющиеся в грунтах под воздействием внешних усилий (прочность, деформационные и др.).

7.1. Физические свойства грунтов

В связи с тем, что в строительной практике чаще всего приходится иметь дело с рыхлыми дисперсными породами, которые также обладают значительной изменчивостью свойств, то рассмотрим характеристики свойств дисперсных грунтов.

7.1. Физические свойства грунтов

Таблица 3.1 Физические величины и классификационные показатели грунтов (в С.Р.)

- ▶ Плотность грунта;
- ▶ Плотность частиц грунта;
- ▶ Плотность скелета породы,
- ▶ Влажность;
- ▶ Пористость пород;
- ▶ Приведенной пористостью.

7.1.1. Водно-физические свойства грунтов.

- **Естественная (весовая) влажность** породы ($W, \%$);
- **Степень влажности** или относительная влажность ($S_r, \%$);
- **Максимальная молекулярная влагоемкость;**
- **Пластичность** – способность породы изменять под действием внешних сил (давления) свою форму, т.е деформироваться без разрыва сплошности и сохранять полученную форму, когда действие внешней силы прекратилось – является характеристикой, во многом определяющей деформируемость;
- **Граница раскатывания;**
- **Граница текучести.**

7.1.2. Состояние грунтов

- ▶ Степень трещиноватости;
- ▶ Степень выветрелости;
- ▶ Водонасыщенности;
- ▶ Влажности;
- ▶ плотности и др.

В лабораторных условиях можно определять все физико-механические свойства фунтов.

Каждая характеристика этих свойств определяется согласно своему ГОСТу.

10.1 Минеральный состав Г.П. и его инженерно-геологическое значение

Разнообразие и многие свойства грунтов в определенной степени зависят от состава минералов. Зная его, можно предсказать и некоторые качества грунта.

Минералы породообразующие – принимающие существенное участие в составе горных пород и по которым определяют их название

К п.м. относятся примерно 50 минералов:

- ▶ кварц, кальцит; гипс,
- ▶ силикаты – полевые шпаты, слюды, амфиболы, пироксены, глинистые и др.

Кварц (*Quartz*) SiO_2 с кристаллом рубина,
самый устойчивый из распространенных
минералов



Кальцит – карбонат кальция,
растворимый в 5% HCl → пустоты



Полевые шпаты –

▶ Группа алюмосиликатов, являющихся главными породообразующими минералами многих изверженных и метаморфических горных пород, реже обломочных осадочных горных пород.

При химическом выветривании превращается в **глинистые минералы.**



Силикаты, темные -роговая обманка (гр. амфиболы)



Слюда — слоистый силикат



Слюды выветриваются при субтропическом климате и превращаются в **глины**