



ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ
М.В. ЛОМОНОСОВА

teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

ВОЗНЕСЕНСКИЙ
ЕВГЕНИЙ АРНОЛЬДОВИЧ

ГЕОЛФАК МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН
СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ. РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ
СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ.
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ
НА [VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).

ЕСЛИ ВЫ ОБНАРУЖИЛИ
ОШИБКИ ИЛИ ОПЕЧАТКИ,
ТО СООБЩИТЕ ОБ ЭТОМ,
НАПИСАВ СООБЩЕСТВУ
[VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).

Оглавление

Лекция №1. Теоретико-методологические основы грунтоведения	7
Инженерная геодинамика и региональная инженерная геология	7
Грунтоведение как наука	8
Основные этапы развития грунтоведения.....	9
Состав грунтов	9
Лекция №2. Минералы.	11
Природные силикаты	11
Островные силикаты и кольцевые силикаты	11
Цепочечные и слоистые силикаты	12
Каркасные и искусственные силикаты	13
Простые соли	14
Галоиды.....	14
Сульфаты	15
Карбонаты.....	15
Глинистые минералы	16
Каолинит	17
Смектит	17
Группа гидратированных слюд	18
Лекция №3. Минералы (продолжение).....	19
Глинистые минералы (продолжение).....	19
Хлориты.	19
Смешанослойные глинистые минералы.	19
Рентгено-аморфное вещество.....	19
Органическое вещество	20
Лед.....	21
Газовые гидраты и гидратсодержащие грунты	21
Жидкая фаза грунтов.....	21
Лекция №4. Компоненты грунтов.	26
Жидкая фаза грунтов (продолжение)	26
Газовый компонент грунтов.	27
Живой (биологический) компонент грунтов	28
Лекция №5. Строение грунтов.	32
Гранулометрический и микроагрегатный состав грунтов.....	33
Классификации грунтов по гранулометрическому составу	33
Структурные связи в грунтах	34
Типы контактов между структурными элементами.....	34

Типы структур по характеру связей	35
Пустотность.....	35
Лекция №6. Грунт как многокомпонентная система.	37
Типы химического взаимодействия компонентов грунта:	37
Механизм растворения.....	39
Механизм гидролиза:	40
Окисление.....	40
Физико-химические компоненты взаимодействия грунта:	41
Ионный обмен:.....	42
Свойства грунтов	43
Лекция №7. Свойства грунтов.	44
Плотностные свойства грунтов.	44
Водопроницаемость грунтов	46
Водонепроницаемость различных грунтов.....	47
Теплофизические свойства грунтов:	48
Электрические свойства грунтов	49
Структурно-текстурные особенности грунтов	51
Лекция №8. Физико-химические свойства грунтов.....	53
Коррозионная активность грунтов.....	54
Пластичность грунтов	55
Липкость грунтов.....	57
Набухаемость грунтов.....	57
Усадочность грунтов	58
Капиллярные свойства грунтов.....	59
Лекция №9. Свойства грунтов (продолжение). Физико-механические свойства грунтов.	61
Водопрочность грунтов.	61
Тепломассопененос в грунтах.	62
Физико-механические свойства грунтов.....	64
Деформации грунта	65
Лекция №10. Физико-механические свойства грунтов.....	66
Основные расчетные модели грунтов	67
Принципы напряжений	68
Лекция №11. Деформационные свойства грунтов.	70
Теория линейного деформирования грунта.	70
Деформационные свойства грунтов	71
Сжимаемость грунтов	72

Показатели сжимаемости.....	73
Просадочность грунтов.....	74
Лекция №12. Прочностные свойства грунтов.....	76
Характеристики просадочности грунтов.	76
Прочностные свойства грунтов:.....	77
Теория прочности Мора:.....	77
Факторы, определяющие прочностные свойства грунтов.....	80
Лекция №13. Реологические свойства грунтов.....	81
Концепция критической пористости.	81
Чувствительность грунтов.	81
Реологические свойства грунтов.....	82
Сдвиговая ползучесть.....	84
Динамические свойства грунтов.....	86
Лекция №14. Динамические свойства грунтов.....	88
Динамическая дилатансия несвязных грунтов.	88
Динамическое разжижение грунтов.	91
Квазитиксотропия связных грунтов.	91
Кинетика восстановления прочности тиксотропной системы.....	92
Кинетика тиксотропного упрочнения глинистых грунтов.....	92
Влияние частоты приложения нагрузки на деформацию суглинка.	93
Лекция №15. Понятие инженерно-геологического элемента.....	94
Коэффициент корреляции.....	94
Виды показателей состава и свойств грунтов.....	95
Понятие инженерно-геологического элемента.....	96
Общая классификация грунтов.	97
Лекция №16. Природные дисперсные грунты.	98
Несвязные грунты.....	98
Крупнообломочные грунты:	98
Песчаные грунты.....	99
Связные грунты.	101
Пылеватые грунты:	102
Глинистые грунты.....	104
Органоминеральные связные грунты:	105
Лекция №17. Царство природных и техногенных грунтов.	107
Сапропелевые грунты.....	107
Заторфованные грунты.....	108
Торф.....	109

Инженерно-геологические особенности почв.	112
Царство техногенных грунтов.	113
Класс скальных и полускальных техногенных (искусственных) грунтов.	114
Лекция №18. Массивы грунтов.	115
Причина ухудшения свойств и состава грунтов с точки зрения их как основания инженерных сооружений.	115
Класс дисперсных техногенных грунтов.	115
Связные техногенные грунты.	116
Класс мерзлых техногенных грунтов.	117
Массивы грунтов.	118
Понятие о массиве грунтов.	119
Напряженно-деформационное состояние массива.	121
Классификация массивов.	121
Массивы техногенных грунтов.	122
Техногенно созданные грунты.	122

Лекция №1. Теоретико-методологические основы грунтоведения

Грунтоведение – геологическая наука о грунтах, представляющая одно из направлений инженерной геологии.

Инженерная геология – наука геологического цикла, исследующая инженерно-геологические условия верхних горизонтов земной коры, закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под воздействием современных и прогнозируемых геологических процессов, формирующихся в ходе естественного развития земной коры под влиянием всей совокупности природных факторов и в связи с инженерно-хозяйственной, прежде всего, инженерно-строительной деятельностью человека.

Инженерно-геологические условия – совокупность геологических факторов, существенных для инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Группы геологических факторов:

1. Закономерности геологического строения грунтовых толщ и слагаемых ими массивов.
2. Рельеф территории.
3. Состав, строение, состояние и свойства грунтов – основная область изучения в этом курсе.
4. Мерзлотно-гидрогеологические условия.
5. Современные геологические процессы и создаваемые ими явления.
6. Напряженно-деформированное состояние массивов грунтов – распределение сил действующих в массивах грунтов и вызываемые ими деформации.
7. Антропогенные процессы и явления (всегда негативные).

Основные группы факторов формирования инженерно-геологических условий:

1. Региональные – управляются тектоническим развитием земной коры в данном месте.
2. Зональные – определяются совместным влиянием климатических условий (тепло- и влагообеспеченность) и геологическое строение территории.
3. Техногенные (антропогенные) факторы ИГУ.

Инженерная геодинамика и региональная инженерная геология

Инженерная геодинамика исследует морфологию, механизм, инженерно-геологические причины и пространственно-временные

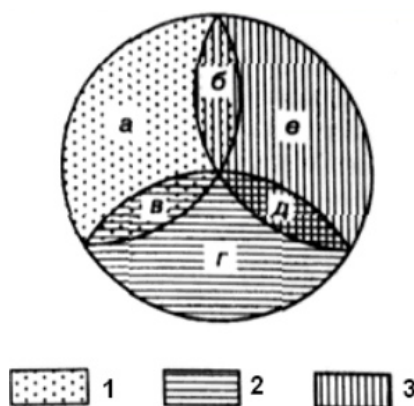


Рисунок 1.1 Соотношение научных направлений (1-3) и разделов (а-е) в инженерной геологии.

1 – грунтоведение; 2 – инженерная геодинамика; 3 – региональная геология. а – общее грунтоведение; б – региональное грунтоведение; в – геодинамическое грунтоведение; г – общая инженерная геодинамика; д – региональная инженерная геодинамика; е – общая региональная инженерная геология.

закономерности формирования и дальнейшего развития в верхних горизонтах земной коры современных и прогнозируемых природных и антропогенных геологических процессов.

Региональная инженерная геология исследует инженерно-геологические условия различных структурных зон земной коры, закономерностей их пространственного распределения, формирования и пространственно-временного изменения под воздействием современных и прогнозируемых природных и антропогенных геологических процессов.

Грунтоведение как наука

Грунтоведение – наука геологического цикла, исследующая состав, состояние, строение и свойства грунтов верхних горизонтов земной коры, их современную динамику, закономерности формирования и пространственно-временного изменения под воздействием природных и антропогенных современных и прогнозируемых геологических процессов, формирующихся в ходе развития земной коры под влиянием всех природных факторов и в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека.

Объект грунтоведения – грунты и слагаемые ими массивы. **Предмет грунтоведения** – знания о грунтах, их составе, строении, состоянии и свойствах.

Типы задач, решаемых в грунтоведении (рис. 1.2):

- Морфологические: что это такое и какие качества ему присущи?
- Ретроспективные: как это возникло?
- Прогнозные: что будет с этим далее при данных условиях?

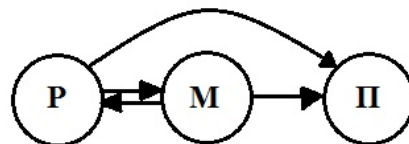


Рисунок 1. 2 Р - ретроспективный;
М - морфологический;
П - прогнозная (и связи между ними, по В.Т.
Трофимова)

Типы систем, которые изучает инженерная геология (в т.ч. грунтоведение):

- Природная геологическая реальная
- Природно-техническая литосистема идеальная
- Природно-техническая литосистема реальная

Научная система грунтоведения:

1. Объективное основание – теория познания объекта науки – теория формирования состава, строения и свойств грунтов. Методы познания объективного основания: общие, специальные и частные.
2. Субъективная часть – общие, специальные и частные методы познания

Основной закон грунтоведения – состав, строение, состояние и свойства грунтов определяются их генезисом, характером постгенетических процессов и современным пространственным (координатным) положением.

Основные этапы развития грунтоведения

Грунтоведение как наука зародилось в 20-х гг. XX в. и связано с развитием дорожного хозяйства. В МГУ грунтоведение выросло из почвоведения. Вениамин Васильевич Охотин (1888-1954) – один из основателей грунтоведения.

Основные этапы:

- Предыстория – развитие терминологии, поиск методов изучения грунтов.
- **I этап** (1920-1945) – возникновение грунтоведения как нового научного направления (П.А. Земятченский, М.М. Филатов, В.В. Охотин, В.А. Приклонский, Б.М. Гуменский, С.С. Морозов). Начало развития методов изучения.
- **II этап** (1946-1986) – многоплановое развитие грунтоведения (Е.М. Сергеев, В.А. Приклонский, И.М. Горькова, Г.К. Бондарик, И.В. Попов, В.Д. Ломтадзе, В.Т. Трофимов, Н.Я. Денисов и др.). Открытие новых закономерностей свойств грунтов.
- **III этап** (с 1987 г.- по настоящее время) – решение новых теоретических и методологических вопросов грунтоведения, создание широкого спектра новых моделей поведения грунтов, появление новых экспериментальных установок.

Состав грунтов

Твердая фаза (компонент) грунтов представлена:

- Природными и искусственными минералами;
- Органо-минеральными комплексами;
- Газовыми гидратами;
- Льдом.

По физическому состоянию твердая фаза находится в:

- Кристаллическом состоянии – с дальним порядком расположения атомов;
- Аморфном состоянии – с ближним порядком расположения атомов (неравновесии)

В инженерно-геологических целях сообразно производить подразделение твердой фазы по преобладающему **типу связи** внутри вещества:

1. Ковалентные связи
2. Ионные связи
3. Металлические связи
4. Водородные связи (лед, кристаллогидраты, глинистые минералы)
5. Молекулярные (ван-дер-ваальсовы) связи (газогидраты, органическое твердое вещество, глинистые минералы) – ориентационный, индукционный и дисперсионный эффекты

Кроме того, между структурными элементами грунтов могут действовать:

6. Магнитные связи
7. Капиллярные связи
8. Связи механической природы

Лекция №2. Минералы.

Природные силикаты

Характеристики природных силикатов:

- Построены из кремнекислородного радикала $[\text{SiO}_4]^{4-}$. При этом присутствуют другие катионы, расположение которых в кристаллической решетки различно, что и дает разные минеральные виды.
- Преобладают ковалентные связи, которые придают частицам этих минералов высокую прочность и низкую растворимость.
- Широко распространённые минералы – из них состоит 75% земной коры и этот класс включает около 500 минеральных видов.
- По характеру соединения кремнекислородных тетраэдров выделяют 5 подклассов природных силикатов.

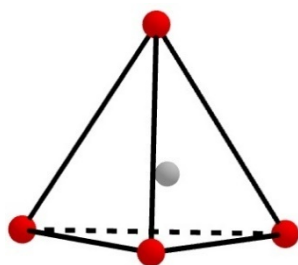


Рисунок 2.1
Кремнекислородный
тетраэдр. Красным
изображены атомы O,
серым – Si.

Отрицательный дисбаланс $[\text{SiO}_4]^{4-}$ должен компенсироваться в электронейтральной решетке катионами, которые должны взаимодействовать с отрицательно заряженными центрами кремнекислородных тетраэдров, образуя некие пространственные структуры. Однако перед нами (рис. 2.1) только мотив кристаллической решетки - некая теоретическая форма минерала, которая в природе существует, но в каждом отдельном кристаллите или его части реальный состав его может отличаться. В процессе формирования того или иного материала из магматического расплава или, в особенности, из вторичных минералов в коре выветривания катионы, которые связывают между собой эти тетраэдры, могут быть замещены

катионами другого вида. Это явление называют **изоморфизмом**, и он может быть **изовалентным** (замещение ионами равной валентности) или **гетеровалентным** (замещение ионами разной валентности). При гетеровалентном изоморфизме возникнет избыточный отрицательный (или, редко, положительный) заряд, и это влияет на характер взаимодействия кристаллита друг с другом и их взаимодействие с жидкой и газовой фазой.

Островные силикаты и кольцевые силикаты

Островные силикаты представлены разобщенными кремнекислородными тетраэдрами, которые сообщаются между собой посредством других катионов.

Кольцевые силикаты

принципиально не отличаются от островных, в их структуре тетраэдры соединены в кольца, которые между собой

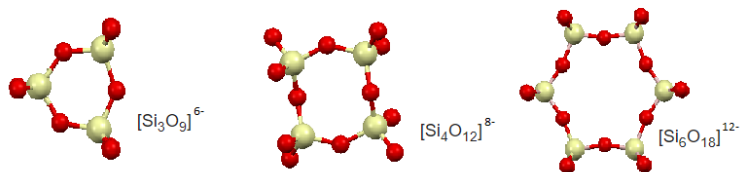


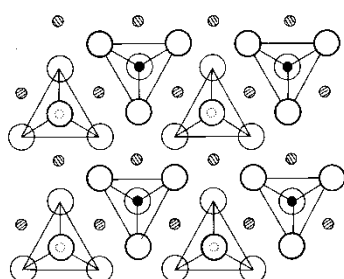
Рисунок 2.2 Кольцевые силикаты. Красным цветом
изображены атомы O, бежевым – Si.

соединяются также через другие катионы (рис.2.2). Следовательно, свойства островных и кольцевых силикатов очень близки.

Чем определяется влияние особенностей строения и типа катиона, который образует связь между кремнекислородными тетраэдрами?

- Расстояние между узлами кристаллической решетки, потому что любые ионы и атомы имеют размер (сопоставимый с ионными радиусами)
- Энергия связи кремнекислородного тетраэдра с данными катионами. Чем выше валентность, тем выше энергия связи, тем прочнее минерал, потому что тем сложнее извлечь оттуда данный катион.

Из-за того, что у островных и кольцевых силикатов тетраэдры разобщены, они не устойчивы к выветриванию, потому что их связующие катионы легко извлекаются при гидролизе. Ниже представлены свойства оливина (рис.2.3) как одного из самых распространённых островных силикатов:



- Связь между кремнекислородными тетраэдрами осуществляется через катионы Mg^{2+} и Fe^{2+} .
- В окислительной обстановке неустойчив, так как $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$, в связи с чем легко выветривается.
- Плотность: 3,27-3,37 г/см³.
- Высокая прочность и низкая сжимаемость.

Рисунок 2.3 Структура оливина

Цепочечные и слоистые силикаты

В **цепочечных силикатах** (пироксенах и амфиболах) тетраэдры соединены в цепочки или ленты, которые связаны между собой через катионы по главной кристаллографической оси. Обычно цепочечные силикаты имеют хорошо выделенную спаянность.

Один из самых распространенных *пироксенов* – авгит (Ca, Na) (Mg, Fe, Al, Ti) $[(Si, Al)_2O_6]$. Его основные характеристики:

- Кремнекислородные тетраэдры соединены через 2 вершины: $[(Si, Al)_2O_6]^{5-}$ или $[Si_2O_6]^{4-}$.
- Избыточный отрицательный заряд компенсируется в основном ионами Na^+ , Ca^+ , но может и другими. То есть в его состав входят разные катионы,

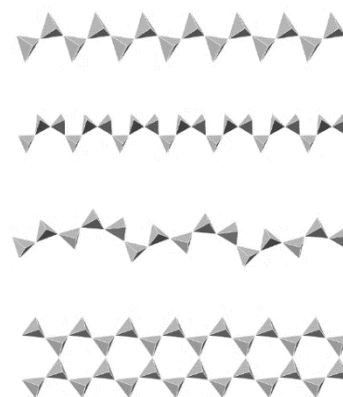
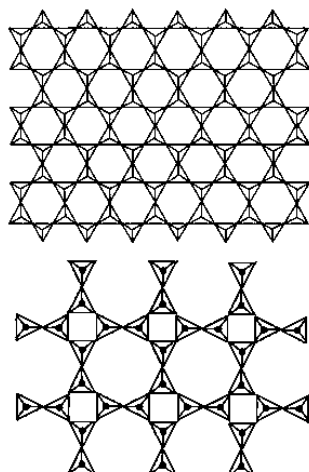


Рисунок 2.4 Цепочечные силикаты

которые могут изоморфно замещать друг друга.

- Плотность: 2,8 – 3,7 г/см³.
- Структура средней прочности.
- Легко выветривается. При выветривании появляется зеленоватый оттенок (обычно авгит черный с хорошо выраженным блеском), характерный для основных вулканических пород в зоне выветривания.



Амфиболы – еще один пример ленточных силикатов. Представляют собой сдвоенные ленты кремнекислородный тетраэдров, кремнекислородные тетраэдры соединены через 2 или 3 вершины $[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]^{5-}$ или $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$. Один из распространенных амфибол – роговая обманка.

Слоистые силикаты (слюды) отличаются тем, что в них тетраэдры связаны между собой в теоретически бесконечные в двух направлениях слои или сетки. Эти сетки, накладываясь друг на друга взаимодействуют друг друга по основной оси, формируют минерал с хорошо выраженной спаянностью.

Рисунок 2.5 Слоистые силикаты

Каркасные и искусственные силикаты

Каркасные силикаты – самые распространенные минералы на земле. Как известно, в составе изверженных пород самые распространенные – полевые шпаты, но при их выветривании накапливается кварц, устойчивый к выветриванию.

У **каркасных силикатов** вершины тетраэдров связаны, то есть каждый кислород общий между двумя тетраэдрами и отсутствует «мостик» из катионов. Энергия связи у каркасных силикатов гораздо выше и, как следствие, их структура прочнее. Исключение составляют полевые шпаты, чья кристаллическая решетка имеет

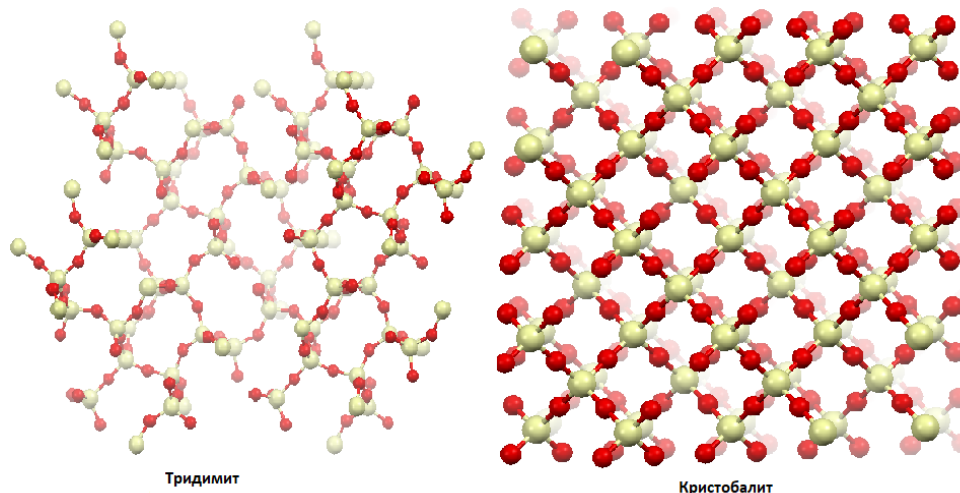


Рисунок 2.6 Каркасные силикаты. Красным изображены атомы О, бежевым – Si

«ажурную» структуру, что делает их доступными химическому выветривания – в результате гидролиза или протонизации. Конечным продуктом гидролиза полевых шпатов является лимонит – смесь минералов, оксид железа, гидроксид железа (гетит) и примеси глинистых минералов.

Каркасные делятся на два ряда: калиево-натриевые (ортоклаз-микроклин) и кальциево-натриевые (альбит-аноргит). В этих рядах часть ионов Si^{4+} замещена ионами Al^{3+} , избыточный заряд компенсируется ионами Na^+ , K^+ , Ca^+ . Их плотность существенно меньше ранее рассмотренных минералов (2,56-2,75 г/см³), они характеризуются высокой прочностью (благодаря ионно-ковалентному типу связи), низкой растворимостью, склонностью к выветриванию.

Кроме этого, в грунтах присутствуют **искусственные силикаты и гидросиликаты** – это золы, шлаки, цементный камень, нефелиновый шлак, стекло и др.

Простые соли

Простые соли - это соли неорганических кислот природного происхождения. Характеристики:

- Ионный тип связи. Меньшая энергия связи в кристаллической решетке по сравнению с ковалентной, поэтому простые соли отличаются повышенной растворимостью.
- Абсолютно преобладают среди осадочных пород (кальцит, известняк и доломит).
- С ними связано развитие карста как важного геологического процесса.

Галоиды

Галоиды — это соли соляной кислоты. Распространённые минералы – галит и сильвин. Для них характерны:

- Очень высокая растворимость.
- Яркие выраженные реологические свойства – зависимость их прочности от длительности действия нагрузки.
- Ничтожная пористость пород. Соленой карст как явление почти не появляется, чтобы растворялись карстовые пустоты, нужны пути движения воды.

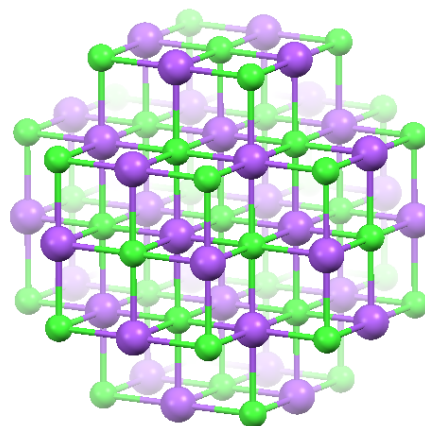


Рисунок 2.7 Структура галита. Фиолетовым изображены атомы Na, зеленым атомы Cl

Сульфаты

Сульфаты – это соли серной кислоты. Самые распространенные – гипс, ангидрит, барит (рис.2.8). Свойства сульфатов:

- Растворимость примерно в 1000 раз меньше, чем у галоидов. Именно с сульфатами связана проблема сильно развивающихся карстов. Поэтому наличие сульфатных залежей, где возможна зона циркуляции подземных вод вызывает большое беспокойство. Одна из самых крупных пещер в сульфатах – Оптимистическая, с протяженностью более 200 км, находится в долине

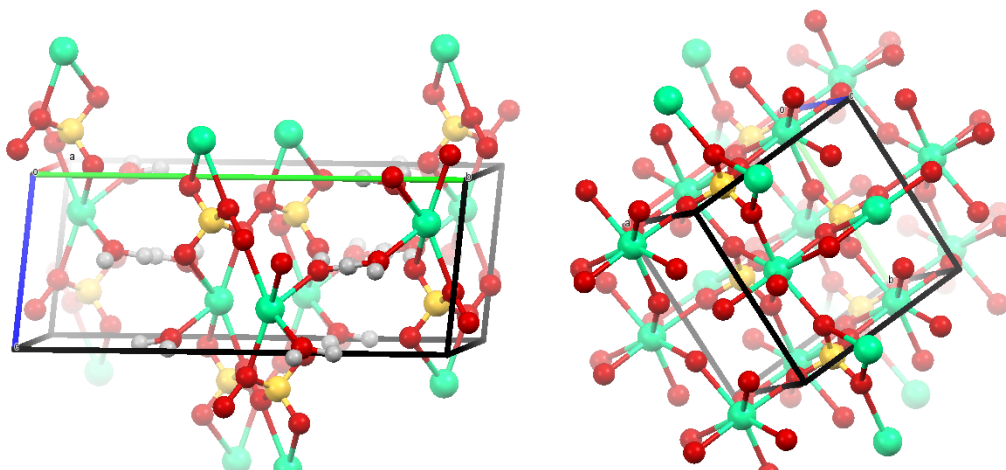


Рисунок 2.8. Красным цветом изображен атомы О, зеленым – Са, серым – Н, желтым – S. Днестра.

Карбонаты

Растворимость карбонатов (солей угольной кислоты) еще ниже, чем у сульфатов, однако карбонатный карст встречается намного чаще. Из самых распространенных карбонатов – кальцит, доломит, магнезит, сидерит. Карбонатный карст опасен при изменении режима движения подземных вод. Для карбонатов характерны карстово-суффозионные воронки. Карст – это химический процесс конвективной диффузии. Суффозия – это гидромеханический процесс, характеризующийся внутрипластовым

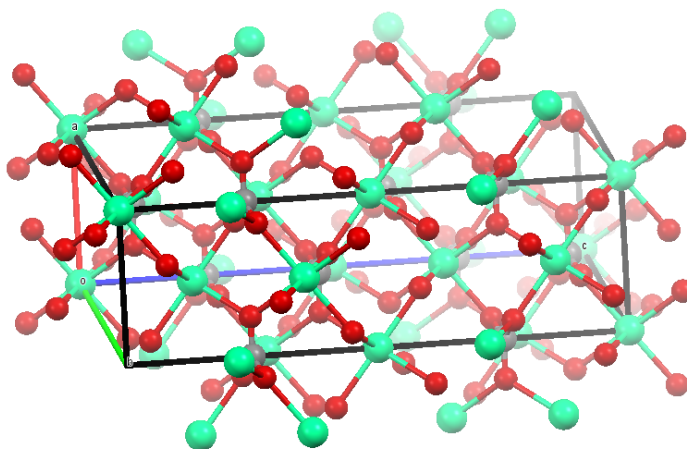


Рисунок 2.9 Структура кальцита. Красным изображены атомы О, зеленым – Са, серым – С.

размывом пород.

Для карбонатов выделяют различные карстовые формы от карров до пещер. Самая крупная из известных пещер в известняках – пещера Флинт-Мамонтова в США, штат Кентукки, протяженность более 300 км.

Глинистые минералы

Глинистые минералы – это вторичные слоистые и слоисто-ленточные алюмосиликаты. Это всегда вторичные минералы, которые образуются в зоне химического и биохимического выветривания, основной их генезис – элювиальный. Глинистые минералы в основном содержатся в глинах, при этом их содержание в глине не велико.

Характерные особенности глинистых минералов:

- Гидратированные алюмосиликаты
- Высокая дефектность и маленький размер, из-за которого образуется довольно большая поверхность. Это делает глинистые минералы очень активными.
- Для них характерен ионный обмен и способность к сорбции.
- Размер кристаллитов очень мал: от долей до первых мкм.
- Резкое влияние на свойства грунтов.

В глинистых минералах есть два варианта размещения основных элементов в узлах решетки. Первый тип размещения – это кремнекислородные тетраэдры, образующие тетраэдрическую сетку. Привершинные ионы открыты для взаимодействия с внешними катионами и другими слоями, с любыми заряженными гипольными молекулами или ионами. Второй тип – алюмо-гидроксильный октаэдр, образованный 6-ю O^{2-} или $(OH)^-$, в центре которого расположен Al^{3+} .

Ячейки, которые образуются в тетраэдрической и октаэдрической сетках, очень близки по размеру, поэтому могут совмещаться друг с другом. Совмещаться они могут в комбинациях либо 1:1, либо 2:1, где первая цифра – тетраэдрические сетки, а вторая – октаэдрические.

Элементарная сетка – один мысленный слой тетраэдров или октаэдров в минерале. Элементарный слой (пакет) – комбинация тетраэдрических или октаэдрических сеток между собой. Элементарные или структурные слои уже объединяются в кристаллит и размер кристаллита будет зависеть от степени дефектности пакетов и их количества.

Изоморфизм в глинистых минералах чаще всего гетеровалентный и обычно он является источником отрицательного заряда. Но поскольку в октаэдрах $Al(OH)_3$ в кислой среде на боковых сколах может формироваться избыточный положительный заряд, избыточный отрицательный заряд должен компенсироваться извне. Происходит это просто: частица притягивает из внешнего флюида катионы, которые распространены в данной зоне. Эти катионы-компенсаторы не входят в состав минерала, так как не

взаимодействуют с атомами кристаллической решеткой, но они могут быть обменными и необменными.

Глинистые минералы имеют высокую физико-химическую активность. Измеряют ее по количеству обменных ионов. Это величина называется емкостью катионного обмена - cation-exchangecapacity (CEC), измеряется она в мг-экв/100 г сухого грунта. Также физико-химическую активность минерала характеризует удельная поверхность – общая площадь частиц, которая способна к взаимодействию с другими фазами грунта ($\text{м}^2/\text{г}$), она измеряется по абсорбции.

Каолинит

Одним из самых распространенных глинистых минералов является каолинит $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$. Образуется в коре выветривания по полевым шпатам. Структура у каолинита 1:1 тетраэдрического и октаэдрического слоев. Важнейшим признаком минерала является расстояние между слоями $d=7,14 \text{ \AA}$ (рис 2.9). Измеряют ее методом рентгеновской дифракции.

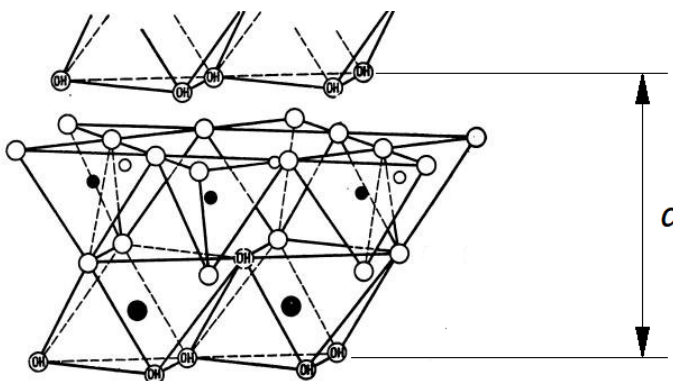


Рисунок 2.10. Структура каолинита

Глинистые минералы группы каолинита – самые крупные из всех глинистых минералов, их отдельные кристаллиты могут достигать 4-5 мкм. Каолинит мало дефектен и достаточно инертен, потому что у него изоморфное замещение мало проявлено, кристаллит почти энергонеутральный, катионов-компенсаторов мало. Между слоями образуется водородная связь и кристаллическая решетка нераздвижная.

Смектит

В минералах группы смектитов мотив тетраэдрических и октаэдрических линий 2:1. Из мономинеральных смектитов известен монтмориллонит. Для смектитов характерно, что изоморфизм происходит в основном в октаэдрах и средний избыточный заряд на одну элементарную ячейку получается около $-0,65$ - $0,66$ заряда электрона. Слои соединяются в один кристаллит за счет электростатических взаимодействий, если между ними находятся катионы. Во влажной среде появляются гидратированные катионы и раздвигают слои кристаллической решетки, это свойство называется **внутрикристаллическим набуханием**. Оно приводит и к увеличению объема самой глины, которая содержит набухающие минералы. Смектиты характеризуются слабыми молекулярными и ионно-электростатическими связями между пакетами ($d=9,6$ - 18 \AA).

Группа гидратированных слюд

В минералах **группы гидратированных слюд** мотив тетраэдрических и октаэдрических линий 2:1. В этих минералах есть смектитоподобные разбухающие слои. Минералы, которые содержат не более 10% разбухающих слоев, относят к **иллитам**. Среди этих гидратированных слюд особо выделяются глауконит, вермикулит и гидрослюды. Решетка минералов этой группы в целом не раздвижная, изоморфизм сосредоточен в тетраэдрах, для них характерны только внешние катионные обмены.

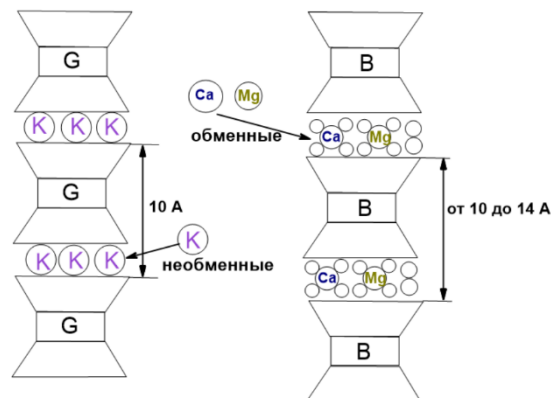


Рисунок 2.11

Лекция №3. Минералы (продолжение).

Глинистые минералы (продолжение).

Хлориты.

Структура хлоритов представляют собой гидрослюдастый пакет 2:1:1, то есть 2 тетраэдрических, 1 октаэдрический слой и между ними еще один октаэдрический бруситовый слой ($Mg(OH)_2$). Решетка жесткая, межплоскостное расстояние 14 Å. Хлориты близки по свойствам к гидратированным слюдам. Обменные катионы только на сколах и базальных поверхностях.

Смешанослойные глинистые минералы.

Смешанослойные глинистые минералы образуются из мотивов разных минералов. Выделяют такие минералы с упорядоченным чередованием слоев (например, ректорит – структура АВАВиллита-сметита), собственных названий обычно не имеют. Кроме того, можно выделить **слоисто-ленточные минералы**, чей структурный мотив также 2:1.

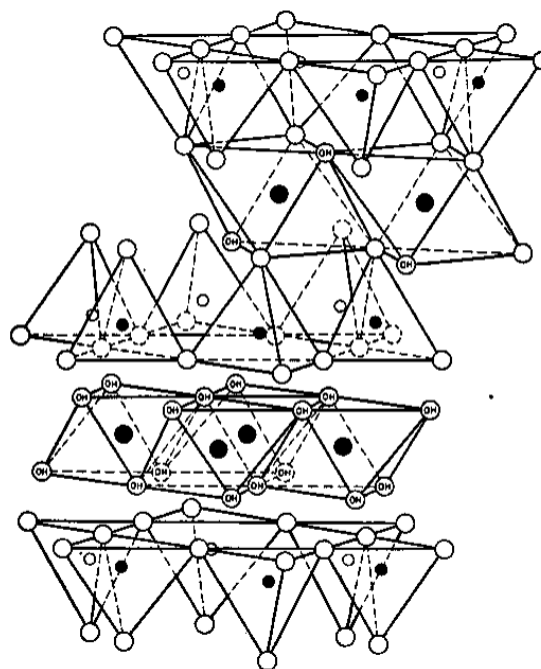


Рисунок 3.1 Структура хлорита. Белым цветом показаны атомы кислорода O, черным - атомы магния Mg и железа Fe, маленькие фигуры - кремний, иногда алюминий.

Рентгено-аморфное вещество

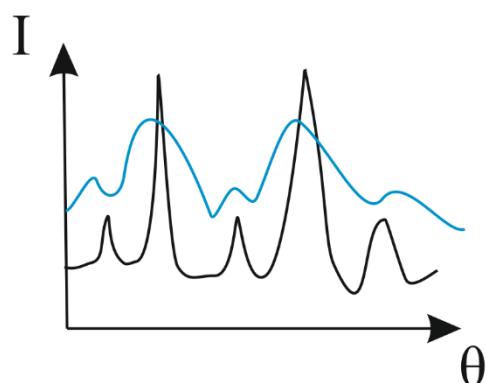


Рисунок 3. 2 Черным цветом показана рентгенограмма твердого вещества, синим - рентгенограмма рентгено-аморфного вещества.

Совершенно другой тип твердого вещества представляют собой рентгено-аморфные вещества. Это твердые вещества, которые не детектируются в рентгеноструктурном анализе. Такими могут быть тонкодисперсный кварц или высокодефектное глинистое вещество.

Органическое вещество

Органические вещества в грунтах очень разнообразны. Его может не быть в грунте (в магматических грунтах), а может полностью грунт состоять из органических веществ (например, торф). Бывает рассеянное, локальное или региональное распространение органического вещества в грунте. Даже небольшое присутствие органического вещества резко влияет на свойство грунта. Основа органических веществ – гуминовые вещества: гуминовые кислоты (до 60%), фульвокислоты (до 40%), гиматомелановые кислоты и гуминовые угли (гумин). Физико-химической активности органического вещества способствует большая поверхность молекулы, а также наличие гидролизуемой части.

Гуминовые кислоты – это мономерные высокомолекулярные образования с конденсированным ароматическим ядром и гидрофильными радикалами. Высокомолекулярные соединения резко влияют на свойства грунтов по причинам высокой удельной поверхности, высокой дисперсности, гидрофильности, водоудерживающей способности и низкой плотности.

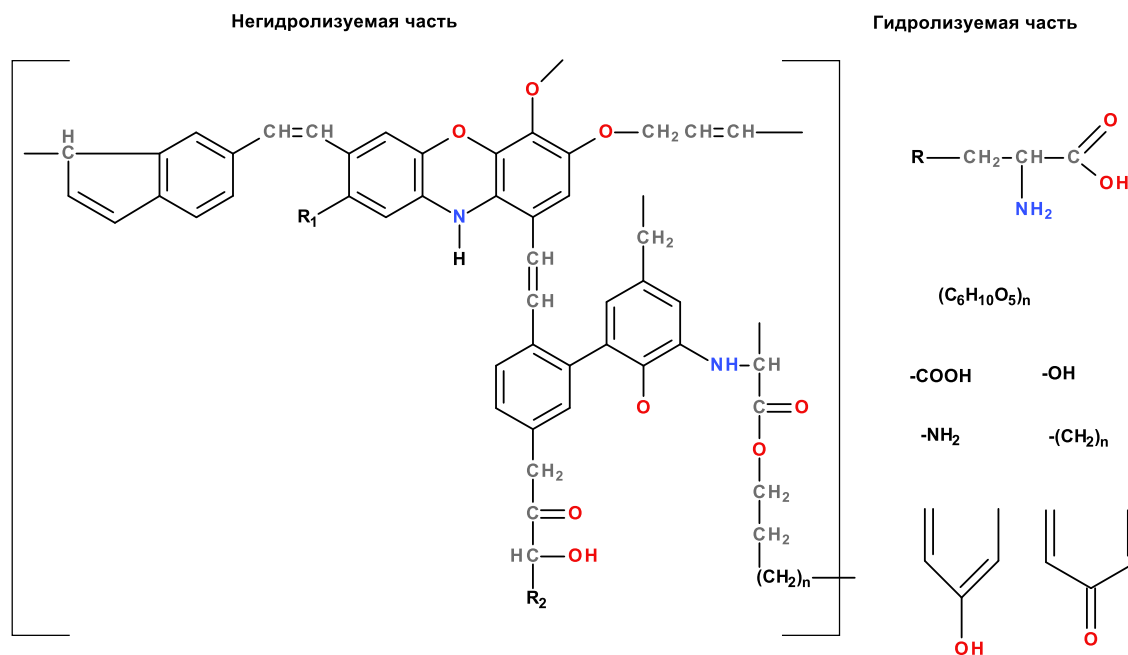
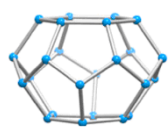


Рисунок 3.3 Структура гуминовых кислот

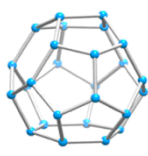
Органические вещества за счет активности своих внешних радикалов склонны к взаимодействию с твердой фазой другого типа и формируют **органоминеральные комплексы**. За счет, прежде всего, карбоксильных групп образуются металлоорганические ионы (гуматы) и с помощью них формируются органоминеральные частицы.

Лед

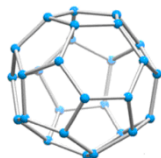
Присутствует не во всех грунтах. В виде льда-цемента, льда включений (шлиры) и массивных залежей льдов. Шлиры влияют на пучиноопасность грунта, больше всего к пучинообразованию склонны пылеватые грунты. Лед имеет гексагональную кристаллическую решетку с водородными связями. За счет подвижности атомов водорода Н у льда проявляется текучесть. Мерзлые грунты принято разделять на *твердомерзлые*, *сыпучемерзлые* и *пластичномерзлые*.



Тетрадекаэдр



Додекаэдр



Гексадекаэдр

Газовые гидраты и гидратсодержащие грунты

Газовые гидраты – это элементы твердой фазы мерзлого грунта, которые образуются при промерзании толщ, богатых газообразными углеводородами. Строение газового гидрата (рис. 3.4): внутри решетки молекулы-«хозяина» находится молекула метана или другого углеводорода, связь между ними – молекулярная.

Рисунок 3.4 Примеры решеток молекул-хозяев газогидрата

Жидкая фаза грунтов.

Жидкая фаза грунтов представлена:

- Водными растворами электролитов
- Жидкими углеводородами
- Эмульсиями, взвесьями и суспензиями

Вся жидкая фаза грунтов находится в пустотах – порах, трещинах, внутренних полостях, внутримолекулярных «емкостях» органического вещества и в межслоевых промежутках минералов с раздвижной решеткой. Жидкая фаза может существовать при разных температурах, как при положительной, так и при отрицательной. Существование при отрицательных температурах определяется особенностями энергетического состояния и минерализацией жидкости. Жидкая фаза может быть агрессивна по отношению к строительным материалам и конструкциям. Количество жидкого компонента в разных грунтах различно – от долей % до полного

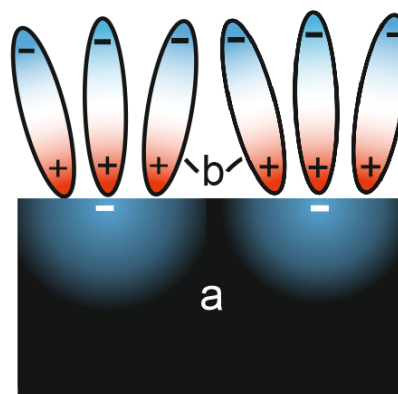
водонасыщения. Жидкая фаза может находиться в разном энергетическом состоянии – связанном и свободном.

Количественных характеристики содержания жидкой фазы в грунтах:

- **Абсолютные**
 - Весовая (абсолютная) влажность w = масса воды/масса абсолютно сухого грунта, % д.е.
 - Естественная влажность (абсолютная влажность в условиях естественного залегания) w , (0-3000%)
 - Объемная влажность w_n = объем воды/объем всего грунта, %
 - Степень влажности S = объем воды/объем пор грунта = w_n/n
- **Характеристические** – характеризуют содержание в грунтах влаги в разных энергетических состояниях и ее влияние на свойства грунта.
 - Гигроскопическая влажность W_g – влажность воздушно-сухого грунта при данных условиях (зависит от типа грунта, температуры и влажность окружающей среды, непостоянная величина)
 - Максимальная гигроскопическая влажность W_{mg} – при стандартной относительной упругости водяного пара $p/p_s=0,92$
 - Максимальная молекулярная влагоемкость W_{mmw}
 - Влажность разрыва капилляров W_{pk}
 - Капиллярная влагоемкость W_c – все капилляры заполнены водой
 - Влажность нижнего предела пластичности W_p
 - Влажность верхнего предела пластичности W_L
 - Влажность набухания W_n
 - Полная влагоемкость W_o

Энергетическое состояние воды в грунтах:

- Свободная.
- Связанная вода:
 - Химически связанная (присутствует в кристаллической решетке минерала).
 - Адсорбционная (прочносвязанная): вода островной адсорбции, вода полислойной адсорбции. Образуется за счет «притяжения» молекул воды к активным адсорбционным центрам поверхности минералов:



- Вода островной или мономолекулярной адсорбции с наибольшей энергией притяжения к поверхности - около 40-120 кДж/моль.
- Вода полимолекулярной или полислоистой адсорбции с меньшей энергией связи - менее 40 кДж/моль.
- При изменении температуры меняется величина адсорбции, то есть количество вещества, связанного грунтом.
- Изотерма БЭТ (метод Брунауэра-Эммета-Теллера) – обобщенная изотерма адсорбции воды грунтом.
- Вода переходного типа:
 - Удерживается вблизи поверхности минералов за счет более слабых связей.
 - В меньшей степени подвергается действию поверхностных сил.
 - Не столь существенные отличия в физических свойствах по сравнению со свободной водой.
 - Две подкатегории:
 - Капиллярная вода
 - Капиллярно-конденсированная (или капиллярно-разобшенная). Молекулы H_2O постепенно конденсируются на поверхности пленки адсорбированной влаги. Сливаясь в местах контакта (на стыке частиц), образуют водные мениски - искривление поверхности жидкости.
 - Капиллярно-подвешенная – вода, образованная, например, при инфильтрации осадков, не имеющая контакта с поверхностью грунтовых вод и распространенная во все стороны от источника.
 - Собственно капиллярная – вода, поднимающаяся вверх от зеркала грунтовых вод и формирующая так называемую капиллярную кайму.
 - Осмотическая вода. Образуется в диффузном слое двойного электрического слоя за счет процессов избирательной диффузии молекул H_2O в направлении к минеральной поверхности.

Рисунок 3.5 Твердая частица (a) с избыточным отрицательным зарядом, к которой притягиваются дипольные молекулы воды (b).

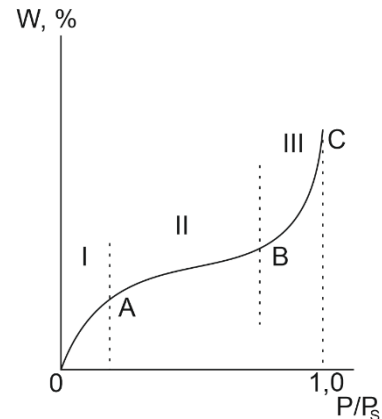


Рисунок 3.6 Общая изотерма адсорбции воды грунтом

Свойства адсорбционной воды:

- Большая упорядоченность из-за наличия силового поля, образованного поверхностью минерала

- Плотность в тонких пленках толщиной около 5 нм повышена на 1,5% по сравнению со свободной водой ($1,02 \text{ г/см}^3$)
- Повышенная вязкость
- Пониженные диэлектрические свойства и повышенная теплопроводность
- Пониженная температура замерзания

В дисперсной породе на границе между частицей льдом может существовать прослойка незамерзшей воды.

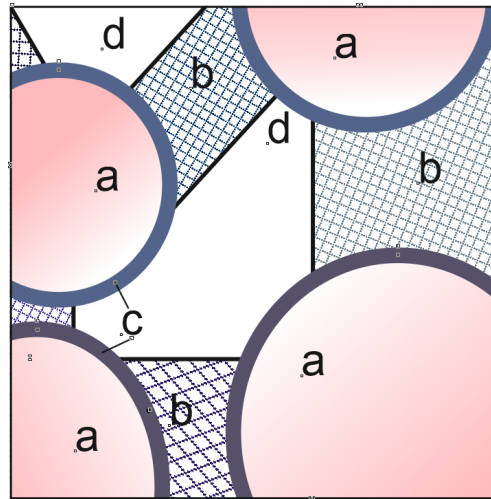


Рисунок 1.7 На рисунке изображены: *a* – частица, *b* – лед, *c* – незамерзшая вода



Лекция №4. Компоненты грунтов.

Жидкая фаза грунтов (продолжение)

Свободная вода может двигаться под действием силы тяжести:

- Имобилизованная вода;
- Текучая вода (грунтовых потоков).

Связанная вода и вода переходного типа не может двигаться под воздействием силы тяжести. Вода разных энергетических категорий в разной степени взаимодействует с твердой фазой грунта. Если присутствует вода островной адсорбции, то она передвигается только в форме пара; вода полислойной адсорбции может передвигаться по поверхности частиц за счет диффузии в пленках; капиллярная вода движется по капиллярам за счет поверхностного натяжения жидкости; осмотическая вода – по капиллярному осмосу и под действием градиента электрического потенциала.

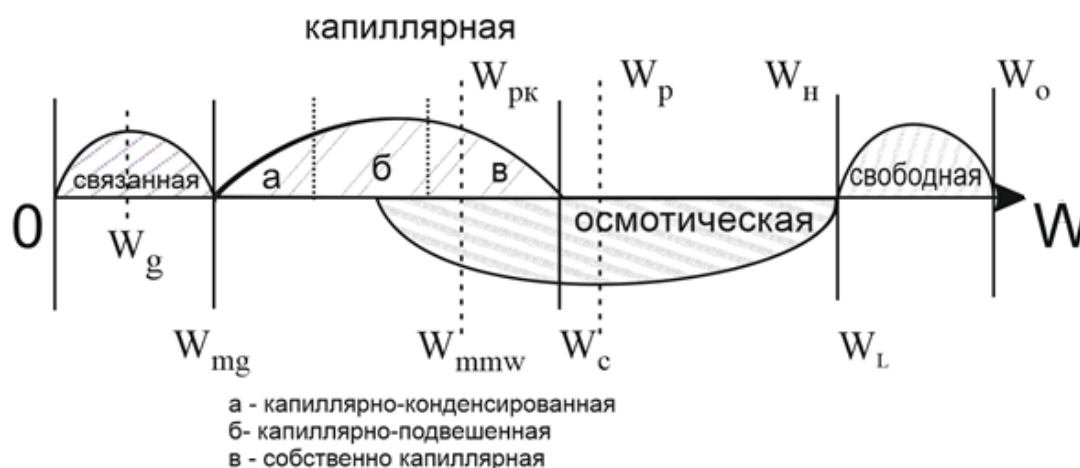


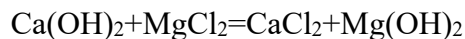
Рисунок 4.1 Соотношение количественных характеристик жидкой фазы и энергетического состояния воды в грунте

Соотношение в породе различных видов воды контролируется целым спектром факторов, наибольшее значение среди которых имеют **минеральный состав** грунтов и его **дисперсность**, а также наличие или отсутствие органического вещества.

Подземные воды и жидкая фаза грунтов *агрессивна* по отношению к строительным конструкциям. Агрессивность жидкой фазы определяется ее химическим составом, содержанием растворенных газов, температурой и давлением. Агрессивность определяется по отношению:

- К бетонам:
 1. Выщелачивающая (ультрапресные воды)
 2. Углекислотная $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
 3. Общекислотная $\text{pH} < 7$

4. Магнезиальная (характерна для морской воды)



5. Сульфатная (сульфоалюминатная) SO_4 -

- К стали;
- К алюминиевой оболочке кабеля;
- К свинцовой оболочке кабеля;
- К цветным металлам.

Газовый компонент грунтов.

В грунтах могут существовать газы природного происхождения:

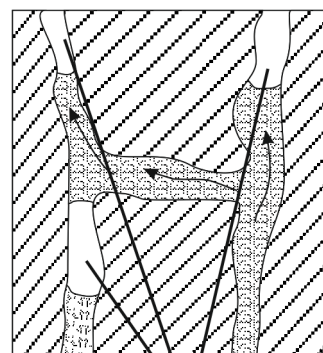
1. Геологического происхождения (до глубин 60-100 км):
 - a. Вулканические газы – дегазация магматического расплава – пары воды, CO_2 , H_2 , SO_2 , H_2S , HCl , HF , CO , Ar , He , органические.
 - b. Катагенетические газы – преобразование органического вещества – метан и др. углеводороды – рассеянные или в воде скоплений.
 - c. Метаморфические газы – газы возрождения - CO_2 , N_2 , H_2S , H_2 .
 - d. Радиогенные газы – гелий, ксенон, аргон, радон.
2. Атмосферного происхождения: состав близок к составу атмосферного воздуха (преобладает азот N_2 , кислород O_2 , аргон Ar).
3. Биогенного происхождения – в основном органические соединения – образуются при разложении органического вещества. Основным источником являются торфяники. Метан, углекислый газ CO_2 , азот N_2 , аммиак, сероводород.
4. Техногенного происхождения. Основные источник генерации – сельскохозяйственная деятельность, полигоны ТБО, промышленные выбросы. Преобладают углеводородные газы, в т.ч. серосодержащие.

Показатели количества газовой фазы в грунтах:

- Газосодержание: $V_{\text{газа}}/V_{\text{грунта}}$, %
- Газоносность – общее количество газов в единице массы или объема грунта. Растет с глубиной.
- Воздухоемкость – полное заполнение всех пор газом. Численно равна пористости.
- Коэффициент аэрации $G_r = V_{\text{газа}}/V_{\text{пор}}$

Состояние газов в грунтах:

- Адсорбированные газы. Отличаются по составу от свободных.
- Свободные газы (при $S_r < 0,5-0,6$, при влажности выше – вероятнее всего в виде заземленных газов).



Защемленный воздух
Рисунок 4.2 Положение заземленных газов в грунте

- Защемленные газы (до 20-25% объема пор).
- Растворенные газы.

Влияние газов на свойства грунтов:

- Влияние на физические свойства – плотность, теплоемкость, теплопроводность, др.).
- Изменение агрессивности по отношению к строительным материалам за счет растворенных газов.
- Влияние на поведение грунтов при действии механических нагрузок за счет изменения порового давления.
- Прорывы защемленных газов и газодинамические явления в горных выработках.

Живой (биологический) компонент грунтов

Живая часть грунта – наиболее динамическая. Влияние этого компонента на состав строения и свойства можно описать только в общем, без количественных характеристик.

Биомасса – это общая воздушно-сухая масса различных организмов в грунте (измеряться может, например, в кг/га). **Живая составляющая** – живые организмы, для которых грунтовые толщи являются средой обитания – постоянной или временной. Область обитания простирается вглубь на сотни метров. Компонент представлен микро- и макроорганизмами, флорой и фауной. Представлен организмами от одноклеточных до млекопитающих.

Биота обнаружена в различных генетических типах грунтов:

- В моренных и флювогляциальных,
- В лёссовых,
- Морских и озерных,
- Песчаных,
- Скальных.

Максимальная численность характерна для **голоценовых** отложений (пойменных, старичных, болотных грунтов), а также **культурного слоя** и осадков **сточных вод**.

Живые организмы находятся на поверхности твердой минеральной части, в поровом растворе, в порах, трещинах, кавернах и пустотах. Общая биомасса зависит от пустотности, а так же от температуры, влажности, глубины и наличия питательных веществ. Наибольшая биомасса характерная для почв субтропических, тропических и степных регионов. Общая биомасса в грунтах подвержена сезонным изменениям и не постоянна.

По условиям потребления воздуха организмы делятся на:

- Анаэробные – развиваются при отсутствии воздуха.
- Аэробные – потребляют кислород из воздуха.

По способу получения углерода и других питательных веществ живые организмы делятся на:

- Автотрофов – синтезируют органические вещества из неорганических.
- Гетеротрофов – потребляют органическое вещество.

Общие термодинамические условия существования микроорганизмов широки: температура от -7° до $+70^{\circ}\text{C}$ (для большинства микроорганизмов наиболее благоприятна температура в грунтах от $+4-6^{\circ}$ до $+30-35^{\circ}\text{C}$), гидростатическое давление – до 100 МПа.

Общие термодинамические условия существования макроорганизмов более узки, поэтому они распространены обычно на поверхности грунтовых толщ.

Микроорганизмы в грунтах:

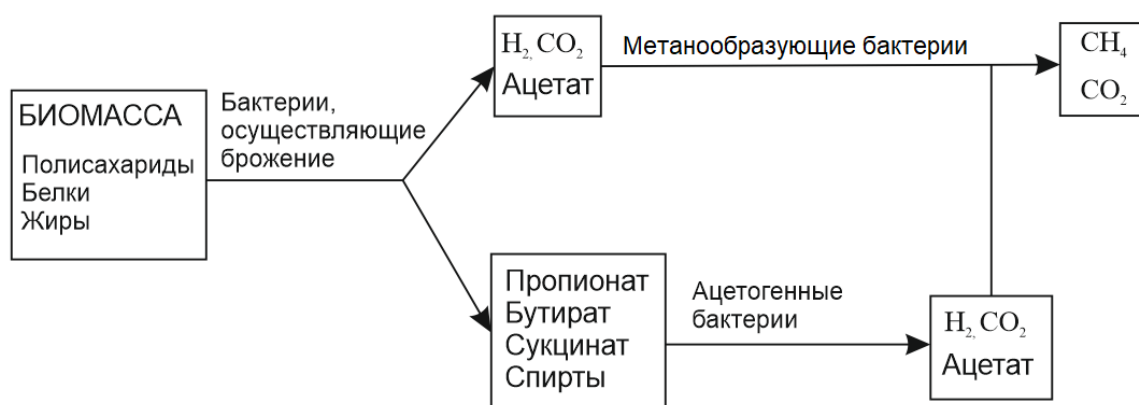
- Прокариоты: все бактерии и цианобактерии. Среди бактерий выделяют истинные бактерии, в т.ч. сульфатредуцирующие бактерии, серобактерии, железобактерии, участвующие в изменении свойств грунтов.
- Эукариоты: низшие растения, низшие грибы, простейшие.

Деятельность микроорганизмов в грунтах:

- Разрушение минералов:
 - Наиболее подвержены биоразрушению силикаты, алюмосиликаты, карбонаты, сульфиды.
 - Активные деструкторы – микроскопические водоросли, нитрифицирующие и тионовые бактерии, грибы.
 - Разрушают минералы прямо или косвенно.
- Трансформация минералов. Происходит при избирательном выносе отдельных элементов из кристаллической решетки или при окислении и восстановлении элементов, входящих в состав кристаллической решетки.
- Новообразование минералов.
 - Часто образуются карбонаты, гётит, гематит, глинозем, сульфиды.
 - Обусловлено взаимодействием CO_2 с имеющимися в среде катионами.
 - При избытке серы образуются кальцит, арагонит, апатит. При окислении железа образуются ферригидрит, переходящий в гётит или гематит.

Изменение состава твердого компонента под влиянием микроорганизмов:

1. Минерализация – разложение органического вещества до простых соединений. Быстрая и полная минерализация органического вещества происходит обычно в условиях теплого климата, при участии микроорганизмов.
2. Гумификация – разложение органического вещества (белки, полисахариды, жиры) до гумуса.
3. Консервация – при недостатке O_2 и $pH < 7$ образуются торф, угли, нефть, горючие сланцы и т.д.



Под воздействием микроорганизмов меняется состав порового раствора грунта. Поровые растворы насыщаются различными компонентами и приобретают свойства кислот, щелочей, нейтральных растворов.

Более всего микроорганизмы влияют на изменения газового состава грунта. Во-первых, происходит разложение органических веществ, бикарбонатов, сульфатов, что ведет к выделению CO_2 , N_2 , NH_3 , H_2S , CH_4 , летучих органических веществ и др. Во-вторых, потребление газов происходит при нитрификации NH_3 , азотофиксации, окислении H_2 , CH_4 , H_2S , CO , SO , а также при автотрофной ассимиляции CO_2 .

Влияние микроорганизмов на строение и состояние грунтов:

- Микроорганизмы способны участвовать в формировании биогенных структурных связей.
- Они изменяют характер и морфологию порового пространства. Изменяют соотношение пор различного размера.

Взаимодействуя с различными компонентами грунта, микроорганизмы влияют на физические, физико-химические и физико-механические свойства.

Макроорганизмы в грунтах – это высшие растения, грибы, многоклеточные животные (беспозвоночные и позвоночные). Влияние на состав грунта разнообразно. Высшие растения в процессе фотосинтеза создают целый спектр органических веществ,

извлекают из породы ряд химических элементов, являющихся питательными веществами, способствуют концентрированию и пространственному перераспределению химических элементов. Грибы активно потребляют различных компоненты из почв и горных пород, передают их растениям, поставляют ферменты, метаболиты, токсины от растений в грунты. Основная роль грибов – разложение отмирающей древесины.

Влияние на структуру и состояние грунтов:

- Высшие растения активно участвуют в биологическом выветривании.
- Корни некоторых растений способны проникать в тонкие трещины скальных грунтов и расщеплять их, изменяя тем самым их структуру.
- Корни и корневые выделения оказывают влияние на формирование и свойства микроагрегатов грунтов.
- Под влиянием жизнедеятельности животных возможно изменение структуры и текстуры грунтов – увеличение пористости и пустотности грунтов.

Влияние макроорганизмов на свойства грунтов:

- Изменяя структуру и состав, организмы меняют физические, физико-химические и физико-механические свойства грунтов.
- Растения осуществляют перераспределение влаги в грунтах.
- Выделяемый корнями CO_2 повышает растворяющее действие влаги и может обуславливать ее агрессивность.

Общее влияние биоты на состав и свойства грунтов:

1. Микробиологическое разложение минералов (компонент выветривания).
2. Преобразование минералов.
3. Образование новых минералов (карбонаты, гетит, гематит, сульфиды, бокситы).
4. Преобразование органического вещества (минерализация, гумификация, консервация).
5. Изменение газосодержания и влагосодержания.
6. Изменение физико-химической активности грунтов, биоагрессивности по отношению к металлам, бетонам и др., проницаемости, физико-механических свойств.

Лекция №5. Строение грунтов.

Строение – совокупность структурных и текстурных признаков, отражающих взаимоотношение компонентов грунта. Также выделяется микро- и макростроение.

- **Структура** – это размер, форма, характер поверхности, количественное соотношение и *характер взаимодействия между элементами твердой фазы*.
- **Текстура** – это особенности строения, обусловленные ориентировкой и взаимным расположением структурных элементов грунта.

Твердая часть грунтов включает:

- Кристаллы минералов
- Обломки кристаллов
- Обломки горных пород
- Твердое органическое вещество

Кристаллы минералов, их обломки, а также обломки горных пород называют зернами, которые могут быть мономинеральными или полиминеральными.

Размер структурных элементов определяется следующим образом:

- Глинистая фракция (меньше 2 мкм):
 - Способность к броуновскому движению;
 - Резкое изменение минерального состава;
 - Резкое изменение физико-химических свойств;
 - В этой фракции может присутствовать мелкодисперсное органическое вещество.
- Пылеватая фракция (1-50 мкм):
 - Не видны глазом;
 - Резкое изменение водопроницаемости;
 - Резкое изменение свойств песка при добавлении пыли – признаки пластичности, связности;
- Песчаная фракция:
 - Несвязная (сыпучая) масса;
 - Обладает капиллярным поднятием и водоудерживающей способностью;
 - Обладает достаточной водопроницаемостью;
 - Состоит из обломков минералов;
- Гравий и дресва:
 - Не обладает капиллярным поднятием;
 - Резкое повышение водопроницаемости;
 - Состоит из обломков горных пород.

Существует определенная взаимосвязь между составом и размером структурных элементов дисперсных грунтов:

- Фракция крупнее 1-2 мм – преобладают обломки горных пород;
- Фракции 0,05-1 мм – кристаллы и обломки кристаллов первичных силикатов;
- Фракции мельче 0,05 мм – преимущественно тонкодисперсный кварц, глинистые минералы, окислы и гидроокислы.

Дисперсность – это величина, с увеличением которой удельная поверхность системы растет и тем выше ее физико-химическая активность.

Гранулометрический и микроагрегатный состав грунтов

Гранулометрическим составом называется соотношение (в % по массе) первичных частиц в стандартных фракциях. Первичные частицы – это отдельные зерна, которые являются обычно продуктом дробления магматических, метаморфических пород, из которых складывается грунт.

Микроагрегатным составом называется соотношение первичных и вторичных частиц в стандартных фракциях.

На основании гранулометрического или микроагрегатного анализов грунты классифицируют, но только по гранулометрическому составу. Такие свойства грунтов, как пластичность, способность связывать и удерживать влагу и другие – это функции гранулометрического состава. Показатель неоднородности или отсортированности грунтов $K_H = d_{60}/d_{10}$, где d_{60} – эквивалентный диаметр, d_{10} – эффективный диаметр.

Сравнив между собой результаты анализов гранулометрического и микроагрегатного составов, мы получаем **агрегированность** – содержание частиц определенных фракций по результатам гранулометрического и микроагрегатного анализов. Агрегированность определяется только для глинистых и мелко-пылеватых частиц.

Классификации грунтов по гранулометрическому составу

Наиболее используемая классификация – это классификация «ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация». В исследовательских целях можно использовать и другие классификации: для песчаных грунтов – классификацию Е. М. Сергеева, для глинистых грунтов – Н. А. Качинского и В. В. Охотина, для лессовых грунтов – С. С. Морозова. Выбор классификации также зависит от применявшегося метода подготовки грунта. ГОСТ классифицирует грунты в соответствии с числом пластичности, то есть разницей между верхним и нижним пределами пластичности, потому что существует связь между гранулометрическим составом и пластичностью.

Морфология структурных элементов грунта:

- Идиоморфная, то есть морфология частиц соответствует морфологии кристаллов (в магматических грунтах);

- Бластическая, то есть кристаллы деформированы высоким давлением при значительных температурах (в метаморфических грунтах);
- Сложная (в осадочных сцементированных грунтах);
- В осадочных несцементированных – округлые, угловатые, полуокруглые, пластинчатые, сложной конфигурации;
- Коэффициент сферичности, фактор формы, анизометричность и др. показатели.

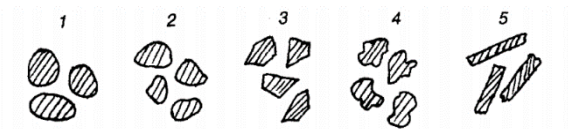


Рисунок 5.1 Форма обломков крупнообломочных и песчаных грунтов: 1 – округлая; 2 – полуокруглая; 3 – угловатая; 4 – сложной конфигурации; 5 – удлиненно-пластинчатая

К структурным особенностям также относится микрорельеф (характер) поверхности частиц, который определяется ее генезисом – гладкая (аллювиальный песок), ямчатая (эоловый песок), шероховатая, неровная. Окатанность частиц улучшается с увеличением размера частиц. Зерна мельче 0,02 мм не окатываются.

Структурные связи в грунтах

- Связи химической природы: ковалентные, ионные, металлические, водородные (преобладают в магматических, метаморфических и осадочных сцементированных грунтах).
- Связи физико-химические: молекулярные, ионно-электростатические, капиллярные.
- Связи физические: электростатические, магнитные, механические.

Структурные связи возникают на локальных участках наибольшего сближения частиц – на контактах, а не во всем объеме материала. Когда говорят о прочности грунта, говорят о прочности контакта, то есть она будет определяться количеством контактов и их площадью.

Типы контактов между структурными элементами

- Фазовые (обусловлен связями химической природы);
- Цементационные (прочность определяется прочностью цемента);
- Переходные (точечные; при малой площади взаимодействия);
- Криогенные (в роли цемента – лед; в мерзлых грунтах);
- Механические (в крупнообломочных породах);
- Капиллярные (взаимодействие через капиллярную воду);
- Коагуляционные (ближние и дальние; взаимодействие не непосредственно, а через пленку осмотической или связанной воды).

Между типами контактов возможен переход, которому сопутствует изменение физических свойств грунта.

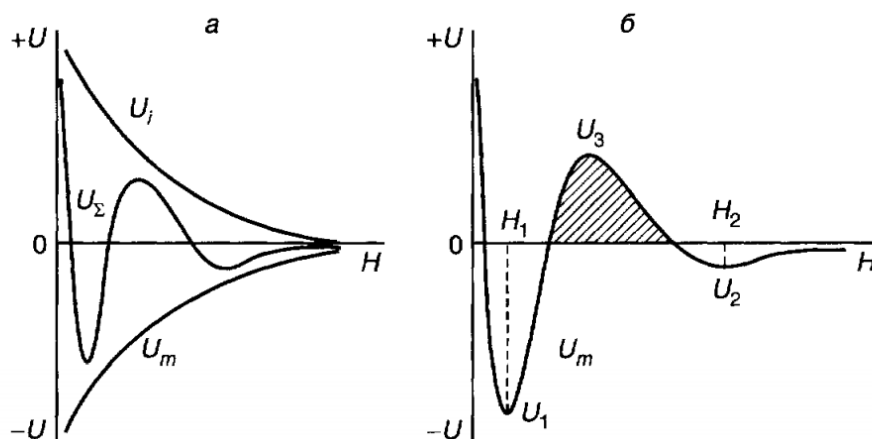


Рисунок 5.2 Составляющие (а) и суммарная (б) энергетическая кривая парного взаимодействия частиц: U_i – ионно-электростатическое отталкивание; U_m – молекулярное притяжение; U_Σ – суммарная кривая.

Типы структур по характеру связей

- Кристаллизационные (с преобладанием фазовых контактов);
- Цементационные (конденсационно-кристаллизационные);
- Коагуляционные;
- Переходные;
- Механические;
- Криогенные;
- Смешанные (присутствуют контакты разного типа, при этом значительную роль играют минимум два разных типа контактов).

Пустотность

- *Пористая пустотность* (пористость; общая, закрытая или открытая).

Поры в грунтах имеют разный размер. Видимые глазом называются макропоры (от 1 мм), мезопоры составляют от 0,01 до 1 мм (могут содержать воду капиллярную), микропоры – от 0,1 мкм до 10 мкм (вода связанная и переходного типа), ультрапоры или ультракапилляры – менее 0,1 мкм (связанная вода, недоступны для капиллярной воды).

- *Трещинная пустотность* (трещиноватость).

Трещины подразделяются на первичные (например, трещины остывания) и вторичные (тектоническая и экзогенная трещиноватость). Раскрытие трещин зависит от действующего давления и их заполнителя. Количественные показатели

трещиноватости – коэффициент трещинной пустотности (по Л. И. Нейштадт), модуль трещиноватости и др.

- *Кавернозность* (характерна для растворимых горных пород)

Лекция №6. Грунт как многокомпонентная система.

В данной лекции речь пойдет о взаимодействии компонентов грунтов между собой и о некоторых явлениях, которые при этом возникают в грунтах и влияют на их поведение.

Типы химического взаимодействия компонентов грунта:

1. Гидролиз
2. Окисление
3. Растворение

Растворение бывает:

Прямое (конвективная диффузия) — происходит при непосредственном контакте движущегося растворителя (например, подземных вод) по полостям и трещинам горных пород. По мере того, как происходит насыщение растворителя, если есть водообмен, (если обмен происходит быстро) процесс прогрессирует и растут карстовые пустоты. Если движение замедляется, то вещества перестают быть агрессивными к данной породе.

Диффузионное растворение (выщелачивание) не предполагает непосредственного движения растворителя относительно раствор компонента, движение ионов подчинено разнице концентрации (происходит диффузия), из зоны где концентрация выше в зону, где она ниже, при этом движение растворителя не происходит (например, в микропорах, в ультракапиллярных порах, где нет воды, способной к перемещению). Тем не менее, диффузия может происходить в более широких капиллярах.

Растворение имеет большое геологическое значение. Образование **карста** (опасный геологический процесс) связано с растворимостью грунтов.

Растворимость как свойство грунта зависит от некоторых факторов (**модулируется этими факторами**):

1. Основной фактор – **минеральный состав**. При прочих равных условиях разные минералы имеют разную растворимость. Речь в основном идет о породообразующих минералах. Если в горной породе есть только примесь хорошо растворимого вещества, то с точки зрения геологических процессов эта растворимость не будет иметь большого значения.

2. **Термодинамический фактор** - температура и давление растворителя (общезакономерности).

3. **Присутствие растворенных газов** (в жидкой фазе).

4. **Присутствие органического или глинистого вещества**. Следы подобного вещества образуют труднорастворимые пленки на зернах более растворимых минералов и блокируют конвективное растворение минералов (при этом диффузия идет очень медленно). Рассмотрим как пример мергели — в них карста нет, хотя они

содержат много карбоната кальция (как в известняке, ибо много глинистого вещества),
— следовательно, влага не попадает на растворимый слой.

Степень растворимости	Минерал	Растворимость, г/л
Легкорастворимые (>2 г/л)	CaCl_2	745
	MgCl_2	545
	NaCl	360
	KCl	340
	Na_2CO_3	215
	Na_2SO_4	194
Слаборастворимые ($2—0,1$ г/л)	K_2SO_4	111
	CaSO_4	2,0
	MgCO_3	0,27
	ZnCO_3	0,20
Труднорастворимые ($0,1—0,0001$ г/л)	SrSO_4	0,11
	CaCO_3	0,00694
	SrCO_3	0,00591
Практически нерастворимые ($<0,0001$ г/л)	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	0,00045
	Сульфиды	—
	Самородные металлы	—
	Силикаты	—
	Глинистые минералы	—

Рисунок 6.1. Таблица растворимости некоторых минералов.

Существуют 4 общепринятые категории растворимости:

Грунты	Растворимость, г/л
Нерастворимые	меньше 0,01
Труднорастворимые	0,01—1
Среднерастворимые	1—10
Легкорастворимые	больше 10

Рисунок 6.2. Категории растворимости грунтов.

В основном минералы практически нерастворимые, но абсолютно нерастворимых нет (они все растворимы, но растворимость может быть ничтожно маленькой).

Наиболее интенсивная растворимость наблюдается в зоне интенсивного водообмена, а также в ходе выветривания при гипергенных преобразованиях минералов.

Механизм растворения

В результате взаимодействия минерала и воды ослабляется энергия связей ионов в структуре. Такие ионы под влиянием энергии теплового движения теряют связь с кристаллической решеткой и уходят в раствор.

Процесс растворения определяется следующими функциями:

1. **Типом химической связи в структуре** породообразующих минералов. Наибольшей растворимостью характеризуются минералы с преобладающей ионной связью — карбонаты, сульфаты, галоиды.

2. **Растворяющей способностью растворителя** - наилучшей растворяющей способностью обладают полярные жидкости (вода), так как имеют большие значения диэлектрической проницаемости по сравнению с неполярными жидкостями (бензол, керосин).

3. **Размером минеральных зерен** (чем меньше размер частиц, тем выше растворимость грунта).

4. **Наличием примесей.** Вещества, более труднорастворимые по сравнению с данной солью, вызывают уменьшение ее растворимости (и всей породы в целом). Зачастую — растворению препятствуют нерастворимые коллоидные пленки на поверхности растворимых минералов (например, глины или битум).

5. **Температурой** — в общем, с повышением температуры растворимость вещества должна увеличиваться, но при этом увеличение температуры снижает диэлектрическую проницаемость воды (делает ее менее полярной). Поэтому, с одной стороны мы наблюдаем выход ионов в раствор катионов с повышением температура, а с другой стороны — растворительная способность самой воды при этом снижается. Однако в балансе этих процессов преобладает первый, и собственно растворимость повышается.

Есть и некоторые исключения — например, раствор ангидрита и гипса все же уменьшается, изменяется содержание растворимых газов

С повышением температуры также уменьшается содержание растворимых газов.

6. **Давлением** — при прочих равных условиях при повышении давления скорость растворения (а значит, и измеряемая растворимость) повышается.

7. **Присутствием некоторых газов**, особенно растворенного углекислого газа, увеличивает растворимость карбонатов с образованием бикарбонатов (а они сами по себе более растворимы).

8. **Химическим составом растворителя:** растворяющая способность жидкой компоненты повышается при отсутствии в растворе ионов, общих с ионами твердых компонентов грунтов, и наоборот, снижается при наличии таковых.

Гидролиз (повсеместный процесс в зоне выветривания) — химическое взаимодействие между твердой и жидкой компонентами грунта. Необходимое условие: наличие «дырок» и дефицит положительных зарядов в кристаллической решетке минерала. Гидролиз обусловлен высокой проникающей способностью протона, имеющего очень маленький ионный радиус и достаточно легко проходящего в зазоры между кристаллической решеткой (атомами).

В наибольшей степени этому условию отвечают следующие минералы:

- Имеющие крупные катионы в кристаллической решетке и поэтому неплотную упаковку атомов
- Обладающие наибольшим количеством дефектов в структурах, приводящих к дефициту положительных зарядов (тем самым создаются условия для проникновения протонов в кристаллическую решетку и их взаимодействие с отрицательными зарядами)

Механизм гидролиза:

1. Образование ионов H^+ при диссоциации молекул H_2O , обладающих высокой реакционной способностью.
2. Проникновение H^+ в кристаллическую решетку минерала.
3. Образование ионами H^+ и OH^- прочных OH -групп — вследствие чего взаимодействие с другими атомами ослабевает.
4. Происходит разрыв кислородных мостиков, которые связывают между собой кремний и алюминий, разрушая структуру минерала
5. Выход раствора Al_3^+ и появление свободного кремнезема.
6. Образование нового минерала со сложной структурой.

Особенности гидролиза:

- Минералы, не содержащие крупных катионов, более устойчивы к выветриванию (например, кварц).
- Быстро выветриваются следующие металлы: шпаты, слоистые силикаты.
- Более устойчивы амфиболы и пироксены (Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}).
- Еще более устойчивы: слоистые силикаты, в которых крупные катионы чаще всего совсем отсутствуют.

Окисление

Окисление — результат взаимодействия твердых и газообразных компонентов грунта при участии жидкой фазы.

Кислород, растворенный в поверхностных и подземных водах, способен вступать с некоторыми минералами в окислительные реакции с образованием кислородных соединений — сульфатов, карбонатов, гидрооксидов и других.

Наиболее часто окислению подвержены сульфиды. Например, псевдоморфоза лимонита по пириту — это продукт процессов окисления.

Процесс окисления сульфидов:

1. $2\text{FeS}_2 + 7\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$
2. $12\text{FeSO}_4 + 6\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 \rightarrow 4\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 4\text{Fe}(\text{OH})_3$
3. $2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 9\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{H}_2\text{SO}_4$

Физико-химические компоненты взаимодействия грунта:

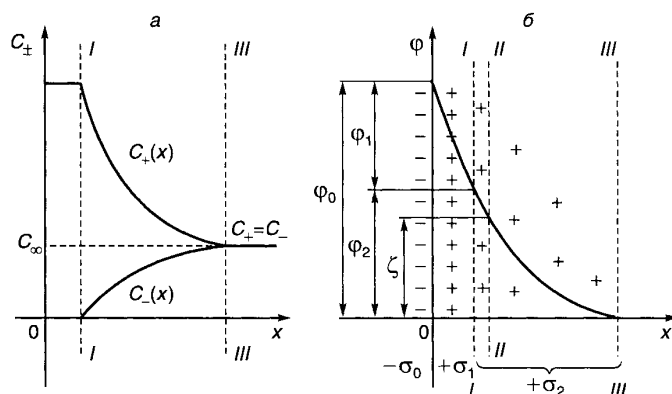
1. Гидратация поверхности твердых частиц

Центры гидратации:

- Сколы кристаллов и зерен - дефекты кристаллической решетки, образуются при росте кристаллов, в результате разрушения или при выветривании (естественным путем).
- Базальные поверхности глинистых минералов.
- Катионы-компенсаторы с разной локацией (могут располагаться на сколах, базальных поверхностях).
- Базальные поверхности межслоевых промежутков минералов с раздвижной кристаллической решеткой (сметиты, иллиты, смешанно-слоистые минералы со сметитовыми пакетами).

Эти центры гидратации в разной степени активные, у разных минералов преобладают те или иные, но больше всего их у глинистых минералов, они наиболее химически активны.

2. Образование двойного электрического слоя



Двойной электрический слой имеет разный знак, поэтому он и называется двойным: есть заряженные частицы, но вблизи поверхности есть и нескомпенсированные заряды. Эти нескомпенсированные заряды компенсируются ионами другого

Рисунок 6.3 Схема строения двойного электрического слоя по О.Штерну, где а — изменение концентрации катионов C^+ и анионов C^- вблизи поверхности; б — падение электрического потенциала в функции расстояния от поверхности x и распределение избыточных ионов; I-I — граница абсорбционного слоя; II-II — плоскость скольжения жидкости; III-III — граница диффузного слоя и свободного размера (внешняя граница ДЭС).

знака. Весь заряд избыточных частиц будет компенсироваться ионами вблизи поверхности — ионами абсорбционного слоя.

В итоге двойной слой становится трехслойным. Общий заряд катионов не изменяется, изменяется их расположение. Но поскольку связь с частицами существует, в слое осмотической жидкости заряд всегда выше, чем в свободном растворе. Если там есть свободная влага, то концентрация катионов будет ниже, чем в осмотической жидкости. Концентрация катионов в абсорбционном слое постоянна, а в осмотическом со временем падает.

Электрический потенциал заряженной частицы — термодинамический потенциал, он спадает с удалением от поверхности частиц по определенному закону — это сила, требуемая для перемещения заряда из бесконечности в данную точку. Он обусловлен зарядом частицы и обеспечивает всеми катионами диффузионного и абсорбционного слоя.

Часть потенциала спадает в абсорбционном слое. Эта величина называется **абсорбционным потенциалом**.

Другая часть электрического потенциала спадает в диффузном слое, она контролирует толщину диффузного слоя, а следовательно и количество осмотической воды, и это влияет на взаимодействие данной частицы с другими.

Это спадание потенциала называется **электрокинетическим потенциалом**.

Толщина двойного электрического слоя (ДЭС) зависит от:

- Величины избыточного заряда частицы (термодинамического потенциала).
- Вида катионов в диффузном слое (валентности, радиуса, гидратируемости).
- Концентрации электролита.
- Радиуса катиона.
- Диэлектрической проницаемости жидкости.
- Температуры.
- РН-среды.

Ионный обмен:

Характеристики ионного обмена:

- В обменном комплексе предпочтительно удерживаются ионы с большой валентностью
- Среди ионов с одинаковой валентностью предпочтительнее удерживаются ионы с большим радиусом
- Ионный обмен происходит в эквивалентных количествах
- Чем выше гидратируемость катиона, тем слабее он удерживается в обменном комплексе.
- Ионный обмен подчиняется закону действующих масс.

То есть, чем больше катионов данного вида в растворе, тем больше вероятность, что они будут присутствовать, вне зависимости от валентности.

Свойства грунтов

Что такое свойства грунта:

Есть те, которые нужны практически, из них некоторые можно определить количественно. Число является показателем свойства.

Влажность не является свойством, это показатель состава грунта

Пластичность – способность к деформациям без разрыва сплошности (как пластилин), сохраняя приобретенную форму после прекращения воздействия. Показатель свойств пластичности — это диапазон влажности, при котором грунт имеет свойства пластичности.

Существует также и другое важное понятие — генезис свойств грунтов.

Генезис свойств грунтов — объясняет, как и почему возникло данное качество (зная такой набор качеств у одного грунта, мы сможем прогнозировать качества у других грунтов такого же генезиса).

Вместе с трансформацией грунта трансформируются и свойства.

Виды свойств:

- **Сингенетические свойства** – прямо вытекают из генезиса.
- **Эпигенетические свойства** – возникают в результате выветривания или иного воздействия.

Лекция №7. Свойства грунтов.

Плотностные свойства грунтов.

Плотность – физическое свойство грунтов, количественно оцениваемое величиной отношения их массы к занимаемому объёму. При инженерно-геологических исследованиях используют следующие характеристики:

- **Плотность грунта** — масса единицы объёма грунта с естественной влажностью и ненарушенным природным строением.

$$\rho = m / V$$

Этот показатель очень просто получить. Необходимо подготовить образец (предпочтительнее геометрически правильный). Однако, например, из песка такой сделать не представляется возможным, поскольку он рассыплется, и не получится определить его естественную плотность.

- **Плотность скелета грунта** — масса твёрдой компоненты в единице объёма грунта при естественной (ненарушенной) структуре.

Ее также называют плотностью сухого грунта, но это не совсем корректно. Многие грунты при высушивании уменьшают объем. Плотность скелета грунта рассчитывается по формуле:

$$\rho_d = \rho / (1 + W), \text{ где } W - \text{весовая влажность в долях единицы.}$$

- **Плотность твердых частиц грунта** — его удельный вес в силовых характеристиках.

$$\rho_s = m_s / V_s$$

Можно вычислить объем по весу вытесненной жидкости. Проблема в том, что в жидкости всегда есть газ, его нужно удалить.

- **Плотность высушенного грунта.**
- **Другие показатели.** Наиболее употребительными являются первые три из перечисленных.

Плотностью твердых частиц (твёрдой компоненты, твёрдой фазы) грунта называется масса единицы их объёма. Численно она равна отношению массы твёрдой компоненты грунта к её объёму.

Единицы измерения:

- **СИ (кг/м³)** — этой единицей почти никто не пользуется, поскольку она неудобна для проведения вычислений
- **СГС (г/см³)** — чаще всего пользуются этой единицей измерения; возможный вариант — тонна на метр в кубе (т/м³)

Плотность твёрдых частиц грунта определяется:

- **Минеральным составом** (увеличивается с повышением содержания в грунтах тяжёлых минералов).
- **Присутствием органических и органоминеральных веществ** (их наличие снижает ρ_s , т.к. их плотность невелика по сравнению с минералами (плотность гумуса 1,25 – 1,40 г/см³)).

Порода	Плотность, г/см ³			
	от	до	наиболее вероятные значения	
			от	до
Маргель	2,37	2,92	2,65	2,80
Алевролит	2,40	3,04	2,63	2,73
Песчаник	2,40	3,20	2,60	2,70
Известняк	2,41	2,98	2,70	2,75
Доломит	2,55	3,19	2,77	2,88
Гранит	2,63	2,75	2,64	2,67
Мел	2,63	2,73	—	—
Аргиллит	2,63	2,86	—	—
Мрамор	2,64	2,82	2,68	2,72
Кварцит	2,65	2,80	2,66	2,70
Ангидрит	2,72	2,99	2,87	2,98
Доломитовая мука	2,81	2,91	—	—
Габбро и дацит	3,00	3,20	—	—
Перидотит	3,30	3,40	—	—
Пески	2,50	2,80	2,63	2,67

Рисунок 7.1 Таблица плотности различных пород

В целом плотность твердых частиц меняется от 2,3 до 3,5 г/см³, что напрямую зависит от минерального состава.

На самом деле, этой таблицей нельзя пользоваться как руководством к действию, потому что на практике эти значения индивидуальные в силу наличия примесей. То есть, эти значения следует брать лишь как ориентировочные.

Для определения ρ применяют:

- **Прямые методы** (непосредственное измерение массы и объема грунта).
- **Косвенные методы** (опосредованное определение плотности путем сопоставления с другими свойствами грунтов).

Косвенные методы:

- **Гамма-метод** (метод поглощения гамма-излучения) позволяет определить степень глинистости.

Для песчаных грунтов проводят определение ρ_d на воздушно-сухих образцах с нарушенным сложением при двух состояниях: предельно рыхлом и предельно плотном. Соответственно этому может быть получена плотность песков при рыхлом и плотном сложениях.

Разновидность песков	Коэффициент пористости e , д.е.		
	Пески гравелистые, крупные и средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотный	$e \leq 0,55$	$e \leq 0,60$	$e \leq 0,60$
Средней плотности	$0,55 < e \leq 0,70$	$0,60 < e \leq 0,75$	$0,60 < e \leq 0,80$
Рыхлый	$e \geq 0,70$	$e \geq 0,75$	$e \geq 0,80$

Рисунок 7.2 Подразделение песчаных грунтов по величине коэффициента пористости (ГОСТ 25100)

Водопроницаемость грунтов

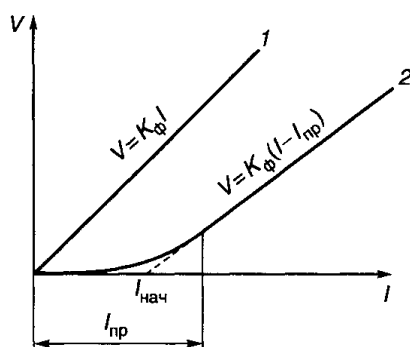


Рисунок 7.3. Зависимость скорости фильтрации воды в песках (1) и глинах (2) от градиента напора (I): $I_{нач}$ — начальный градиент фильтрации, $I_{пр}$ — предельный градиент фильтрации

Для определения водопроницаемости используется **закон Дарси**, выражающий зависимость скорости фильтрации от градиента напора:

$$v = k_{\phi} * \text{grad } I,$$

где v — **линейная скорость фильтрации**, k_{ϕ} — **коэффициент фильтрации**, а $\text{grad } I$ — **градиент напора**, равный отношению величины падения напора к длине пути фильтрации ($\text{grad } I = \Delta H / L$).

На самом деле закон Дарси периодически нарушается.

Коэффициент фильтрации в этом уравнении и является показателем водопроницаемости.

Показатель свойства грунта должен иметь физический смысл, чтобы его вычисления можно было применить на практике. Он получается из размерности; это и есть не что иное, как скорость фильтрации.

Для глинистых грунтов экспериментально получен несколько другой вид той же кривой (см. рис. 7.3, кривая 2).

Это несколько упрощает представление о том, как перемещается влага в порах.

При создании значительного градиента, вода все равно будет двигаться, но это будет вода осмотическая (не адсорбированная), но чтобы она начала двигаться, надо создать перепад давления — это приведет воду в движение. Механизм движения влаги при разных градиентах разный (и это один из примеров нарушения закона Дарси).

Также существует **коэффициент проницаемости** — он учитывает свойства жидкости или газа, проходящего через среду.

В СИ размерность коэффициента проницаемости — м^2 , но кроме этой величины для определения коэффициента проницаемости используется несистемная единица, которая называется «Дарси» ($1\text{Д} \sim 10^{-12} \text{ м}^2$).

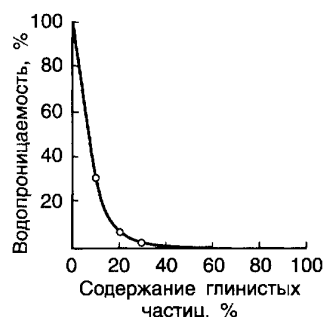


Рисунок 7.4. Зависимость снижения водопроницаемости песчаного грунта (%) от содержания в нем глинистых частиц.

Водонепроницаемость падает с увеличением содержания глинистых частиц (см. рис. 7.4).

Водонепроницаемость различных грунтов

Грунты	K , м/сут	Характеристика грунтов по водопроницаемости
Глины, монолитные скальные грунты	меньше $5 \cdot 10^{-5}$	практически водонепроницаемые
Суглинки, тяжелые супеси, нетрещиноватые песчанники	до $5 \cdot 10^{-3}$	весьма слабо водопроницаемые
Супеси, слаботрещиноватые глинистые сланцы, песчаники, известняки и т.д.	до 0,5	слабо водопроницаемые
Пески тонко- и мелкозернистые, трещиноватые скальные грунты	до 5	водопроницаемые
Пески среднезернистые, скальные грунты повышенной трещиноватости	до 50	хорошо водопроницаемые
Галечники, гравелистые пески, сильнотрещиноватые скальные грунты	больше 50	сильно водопроницаемые

Рисунок 7.5. Таблица водонепроницаемости различных грунтов по Н.Н. Маслову

Существует таблица водонепроницаемости различных грунтов. Эта таблица (см. рис. 7.5) правильная по своей сути, и эти цифры полезны, чтобы ориентироваться в том, какая может быть водонепроницаемость у разных грунтов.

Наиболее высокий коэффициент фильтрации – в сильно закарстованных массивах, где скорости движения воды огромны.

Теплофизические свойства грунтов:

Их необходимо знать для теплофизических расчетов оснований, нам необходимо считать численный баланс промерзающих и оттаивающих грунтов для того чтобы понимать какой будет тепловой режим основания (от этого зависит способ проектирования сооружений).

Показатели параметров теплофизических свойств грунтов:

1. Теплоемкость (количество тепла, которое удерживает тело).

Характерные значения:

- Удельная теплоемкость C (Дж/кг * °К).
- Объемная теплоемкость C_v (Дж/м³ * °К).

$$C_v = \rho C$$

Минералы: $C = 0,5 - 1,1$

Органика: $C = 0,8 - 2,1$

Вода: $C = 4,19$

Воздух: $C = 1,02$

Лед: $C = 2,09$

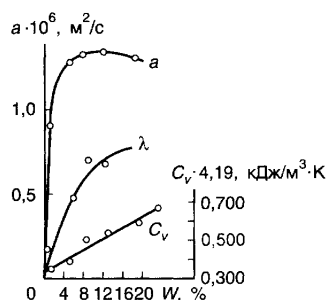


Рисунок 7.6. Зависимость коэффициента теплоемкости (λ), температуропроводности (a) и объемной теплоемкости (C) от влажности для супесчаного грунта

Теплоемкость напрямую связана с влажностью (см. рис. 7.6)

2. Теплопроводность грунтов.

Коэффициент теплопроводности λ (Вт/м * °К).

Минералы: $\lambda = 0,2 - 7$

Вода: $\lambda = 0,54 - 0,6$

Воздух: $\lambda = 0,023$

Лед: $\lambda = 2,2 - 2,3$

И необходимо учитывать резкое изменение теплофизических свойств

Коэффициент теплопроводности зависит от температуры для пород различной дисперсности (обычно имеют разный минеральный состав). Более того, при разной пористости, соответственно — разное заполнение газом или жидкостью.

3. Температуропроводность.

Коэффициент температуропроводности:

$$a = \lambda / C_v ; a = \lambda / \rho C \text{ (м}^2/\text{с)}$$

Горные породы (величина маленькая, но может изменяться на несколько порядков).

Этот показ нужен для расчета глубины нулевых амплитуд температур.

4. Термическое расширение.

$$a = (0,2 - 3,4) * 10^{-5} \text{°К}$$

Оно вносит существенный вклад в выветривание в районах с колебанием температур.

5. Морозостойкость грунтов

Электрические свойства грунтов

1. Электропроводность (удельная).

2. Поверхностная проводимость (возможность распределения электрического тока в грунтах за счет ионов диффузного слоя).

3. Диэлектрическая проницаемость. Удельное электрическое сопротивление измеряется в омах на метр, потому что зависит от длины проводящего слоя и диэлектрика.

Электропроводность и электрическое сопротивление грунтов зависят от:

- Минерального состава
- Дисперсности (определяет разную пористость, а поры могут быть заполнены газом или проводником)

- Структурно-текстовых особенностей
- Влажности
- Химического состава и концентрации порового раствора
- Температуры и давления

По степени электропроводности выделяют

- Проводники
- Полупроводники
- Диэлектрики

Их взаимное соотношение в грунтовых породах и определяет электропроводность.

Если поры заполнены водой, то проводимость будет определяться поровым раствором.

Присутствие глинистых минералов обуславливает явление поверхностной проводимости:

$\sigma_{\text{порового раствора}} < \sigma_{\text{ДЭС}}$

$\sigma_{\text{порового раствора}} < \sigma_{\text{ДЭС}}$

Следовательно, под влиянием электрического поля будет наблюдаться скольжение зарядов внешней оболочки ДЭС вдоль поверхности частиц.

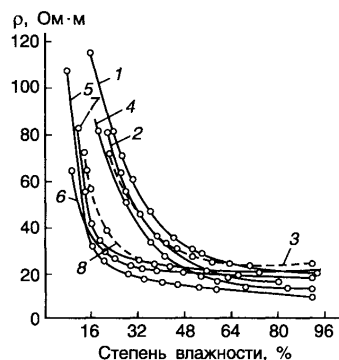


Рисунок 7.7. Зависимость удельного электрического сопротивления дисперсных грунтов от влажности

- Электропроводность сухих грунтов во много раз меньше, чем влажных (из-за разницы удельных электрических сопротивлений воздуха и воды).
- Наличие в грунтах водных растворов (по сути природных электролитов) резко повышает их электропроводность.
- Небольшие изменения σ с повышением W грунтов наблюдаются в пористых осадочных породах.

Структурно-текстурные особенности грунтов:

Электропроводность зависит от:

- Формы упаковки грунтовых частиц
- Общей пористости
- Наличия, формы и распространения проводящих включений (если они есть)

$$\rho = \rho_m \frac{2+n}{2(1-n)}$$

Электрическая анизотропия:

- Электропроводность слоистых грунтов вдоль напластования всегда выше, чем перпендикулярно напластованию. Это свойство грунтов характеризуется коэффициентом анизотропии λ : $\lambda = \rho_1/\rho_2$, где ρ_1 и ρ_2 — соответственно удельному электрическому сопротивлению грунта перпендикулярно напластованию и до напластования.

Грунты	Коэффициент анизотропии
Известняки	1,00—1,30
Глины слабослоистые	1,02—1,05
Глины с прослоями песков	1,05—1,15
Глины сланцеватые	1,10—1,59
Песчаники слоистые	1,10—1,59
Сланец хлорит-биотитовый	1,12
Сланцы глинистые	1,41—2,25
Роговик магнетитовый	1,66
Сланцы графитовые и углистые	2,00—2,75

Рисунок 7.8. Таблица коэффициентов анизотропии

У грунтов с выраженной анизотропией значения увеличиваются до 2.

Температура:

- С возрастанием температуры удельное электрическое сопротивление всегда падает, а проводимость увеличивается

Внешнее давление, передаваемое на грунт:

С увеличением давления наблюдается повышение электропроводности:

- Из-за уменьшения пористости.
- Из-за увеличения площади контактов.
- Из-за увеличения степени влажности у не полностью водонасыщенных грунтов (что, соответственно, увеличивает электропроводность).

Собственно проводящих пород очень мало. Остальные в основном — диэлектрики, а это значит, что вот такие крайние случаи будут давать очевидные аномалии в разрезе, а все остальное должно быть очень детально интерпретировано, чтобы понять причину изменения электропроводности.

Диэлектрическая проницаемость:

Минералы: $\epsilon = 3 - 12$ (породообразующие)

Вода: $\epsilon = 88 (0^\circ\text{C}) - 55 (100^\circ\text{C})$

Лёд: $\epsilon = 79 (-2^\circ\text{C}) - 3 (-18^\circ\text{C})$

Большинство грунтов: $\epsilon = 4 - 40$ (в зависимости от частоты поляризующего тока)

Диэлектрическая проницаемость – величина комплексная, у нее есть действительная часть и мнимая часть (диэлектрические потери) – для постоянного тока мнимой части нет, а для переменного тока она существует.

Магнитные свойства грунтов:

- Диамагнетики ($\chi < 0$) — отсутствие магнитного момента у атомов (кварц, кальцит, гипс, галит, каменные соли, мел, известняк). Это наиболее широко распространенная группа.
- Парамагнетики ($1 > \chi > 0$) — хаотичное распределение магнитных моментов в пространстве (пирит, авгит, роговая обманка, доломит, биотит).
- Ферромагнетики ($\chi > 1$) — спонтанная намагниченность в доменах, магнитная восприимчивость непостоянна.

В основном грунты это диамагнетики и парамагнетики.

При этом в рамках этой системы воду мы отнесем к диамагнетику, а воздух — к парамагнетику.

Лекция №8. Физико-химические свойства грунтов.

Они определяют в основном взаимодействие компонентов грунта между собой и часто проявляются именно как результат этого взаимодействия.

Основные факторы, контролирующие физико-химические свойства грунтов:

- Минеральный состав.
- Дисперсность.
- Состав и концентрация солей в поровом растворе.
- Вид обменных ионов.
- Температура.

Эти факторы определяют содержание осмотической влаги, которая в значительной мере влияет на все физико-химические свойства, обусловленные, прежде всего, взаимодействием компонент грунта (т.е. толщину диффузного слоя).

В основном все управляется осмотической водой. Факторы рассматриваются те, которые определяют содержание осмотической влаги.

1. Растворимость грунтов:

Диффузионная растворимость описывается законом Фика:

$$dm = -D * (dc/dl) * Sdt$$

- D – коэффициент диффузии (измеряется в m^2/c)
- Величина D зависит от:
 - Минерального состава (разная растворимость)
 - Дисперсности (размер пор, изменение удельной поверхности)
 - Агрессивности жидкости (химический состав и минерализация, наличие растворенных газов, давление, температура)
 - Присутствие слаборастворимых пленок на частицах

Диффузионный перенос в данном случае идет через пленки осмотической воды.

2. Коррозионная способность грунтов (способность грунтов разлагать металлоконструкции):

В основном коррозионная агрессивность проявляется по отношению к стали, а также к свинцу, алюминию и некоторым другим минералам.

- **Коррозия металлов в грунтах** – электрохимический процесс, обусловленный:
 - Воздействием влаги с появлением коррозионных элементов.
 - Электролизом в блуждающих токах (если они есть).
 - Биокоррозией.

Здесь роль биотического компонента очень велика.

Механизм электрохимической коррозии металлов:

1. На участке подземной металлоконструкции (например, стальной трубопровод) из-за воздействия грунтовой влаги или микроорганизмов образуется коррозионный элемент, обладающий более отрицательным потенциалом по сравнению с другими участками:



2. Между некорродированным и корродированным участками возникает разность потенциалов, где первый является катодом, а второй — анодом.

3. Таким образом, оба участка соединены между собой проводящим металлом и погружены в электролит (жидкий компонент грунта), то есть, возникает замкнутая электрическая цепь.

Между этими участками течет постоянный электрический ток

На анодных участках — разрушение металла из-за перехода его ионов в электролит.

Вода – это электролит, который замыкает цепь, она очень важна. В итоге, например, при разрушении труб, появляется ржавчина и пробоины в трубе, что приводит к утечкам. Утечки — вещь неизбежная, ибо сталь все равно окисляется (т.к. это сплав железа с углеродом). Где скопилась ржавчина, с трубой все хорошо, а вот где она изъедена, будут проблемы (углубления, дырки от коррозии).

Коррозионная активность грунтов

Факторы, определяющие коррозионную активность грунта:

1. Величина электрического сопротивления грунтов.

Включает в себя:

- Удельное электросопротивление минералов, составляющих грунт.
- Степень влажность грунта (наличие электролита).
- Газонасыщенность (наличие кислорода).
- Пористость (влияет на влагонасыщенность и газонасыщенность).
- Минерализация порового раствора (чем выше минерализация, тем меньше удельное электрическое сопротивление)

Показатель электросопротивления — это измеримая величина.

Коррозионная активность грунтов	Удельное электрическое сопротивление, Ом*м
Низкая	>100
Средняя	20 – 100
Повышенная	10 – 20
Высокая	5 – 10
Весьма высокая	≤ 5

Рисунок 8.1. Коррозионная активность грунтов в зависимости от их удельного электрического сопротивления

2. Наличие блуждающих токов.

Утечки электрического тока в грунтовой массив приводят к тому, что начинается «перетекание» блуждающего тока в тело металлоконструкции. При этом на входе коррозии нет (катод), а на выходе она присутствует (анод).

3. Кислотность (рН) грунтов (включая дополнительные процессы химического разложения металлов).

При высоких значениях кислотности ($\text{pH} \sim 2-3$) и щелочности ($\text{pH} \sim 11-14$) грунтов всегда наблюдается наиболее интенсивная коррозия.

4. Жизнедеятельность организмов (это не только запускающий, но и ускоряющий фактор).

Оценка коррозионной активности:

Стальная труба ($d = 300\text{мм}$), с толщиной стенки 8-9мм:

- При низкой коррозионной активности превышает **25 лет**.
- При нормальной коррозионной активности — **10-25 лет**.
- При повышенной — **5-10 лет**.
- При высокой — **3-5 лет**.
- При весьма высокой — всего лишь **1-3 года**.

Фактически адекватным показателем коррозионной активности является удельное электрическое сопротивление.

Пластичность грунтов

Пластичностью грунтов называется способность материала деформироваться под внешней нагрузкой без разрыва сплошности и сохранять приобретенную форму после снятия нагрузки.

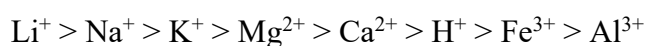
Показатели пластичности:

- **Влажность нижнего предела пластичности** (раскатывания) W_p — при которой грунт приобретает пластические свойства, если она ниже, то грунт будет крошиться.
- **Влажность верхнего предела пластичности** (текучести) W_L — выше которой он не будет сохранять форму, будет деформироваться. В интервале между этими двумя пределами грунт будет себя вести как пластическая масса.
- **Число пластичности** I_p (если число пластичности равно нулю, то этот грунт необходимо называть песком).
- **Показатель консистенции** (число текучести): $I_L = (W_e - W_p) / I_p$

Предел пластичности — название характеристики в СССР и РФ, в США ему тождественен предел Атерберга.

Факторы, определяющие пластичность:

- **Гранулометрический состав** (чем выше дисперсность — тем выше пластичность) т.е. диапазон пластичности будет тем больше, чем больше осмотической влаги.
- **Минеральный состав грунтов**
 - Наибольшей пластичностью обладают минералы, у которых частицы имеют пластинчатую, чешуйчатую форму.
 - Величина пластичности грунтов больше в том случае, когда их глинистой фракции содержатся минералы группы смектитов, и меньше при содержании каолинита и других неразбухающих минералов.
- **Присутствие органических веществ**
 - Присутствие в грунте органических веществ и органоминеральных комплексов способствует увеличению связанной воды и воды переходного типа.
 - Пластичность у таких грунтов возрастает.
- **Состав обменных катионов:**



Самым активным из них является литий, но натрий более доступен.

Классификация грунтов по числу пластичности:

Виды глинистых грунтов	Число пластичности, %
Супесь	$1 < I_p \leq 7$
Суглинок	$7 < I_p \leq 17$
Глина	$I_p \geq 17$

Рисунок 8.2. Классификация грунтов по числу пластичности.

Консистенция грунта — состояние, характеризующее способность сохранять свою форму без или при наличии внешнего механического воздействия.

Типы консистенции:

- **Твердая консистенция** — естественная влажность грунта не превышает нижний предел пластичности.
- **Пластичная консистенция** — естественная влажность грунта относится к диапазону нижнего и верхнего предела пластичности.
- **Текучая консистенция** — естественная влажность грунта превышает величину верхнего предела пластичности.

Встречается также и неклассическое понятие — скрытая текучая консистенция, при которой грунт держит форму и ведет себя как пластичная масса, но его естественная

влажность превышает пределы пластичности. Это является следствием того, что были взяты пробы нарушенного сложения.

Липкость грунтов

Липкость — способность грунтов прилипать к поверхности взаимодействующих с ними предметов.

Количественно характеризуется:

- Величиной максимальной липкости.
- Влажностью начального прилипания.
- Влажностью максимального прилипания.

При этом следует помнить, что сухой грунт не прилипает.

По мере увеличения влажности липкость сначала растет, а потом падает. Чем толще пленка, тем слабее взаимодействие с частицами.

Влажность зависит от давления, с которым предмет прижат к грунту.

С увеличением нагрузки липкость возрастает, поскольку увеличивается площадь контакта.

На липкость также влияют:

- Состав катионов.
- Внешнее давление.

Также сильно влияет полярность жидкости

Набухаемость грунтов.

Набухаемость – способность грунта увеличивать свой объем при увлажнении.

Количественные показатели:

- Относительная деформация набухания.

Разновидность глинистых грунтов	Относительная деформация набухания без нагрузки
Ненабухающий	Менее 0,04
Слабонабухающий	0,04 – 0,08
Средненабухающий	0,08 – 0,12
Сильнонабухающий	Свыше 0,12

Рисунок 8.3. Классификация набухаемости глинистых грунтов по ГОСТ 25100-95

- Давление набухания.
- Влажность набухания.

Набухание зависит от типа структурных связей.

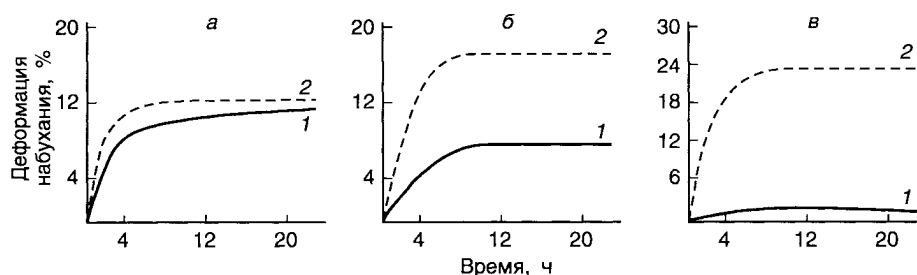


Рисунок 8.4. Влияние структурных связей на набухание глинистых грунтов в природном (1) и нарушенном (2) сложении, где а – с коагуляционными контактами, б – с переходными, в – с фазовыми контактами.

Кинетика набухания представляет собой деформацию от времени.

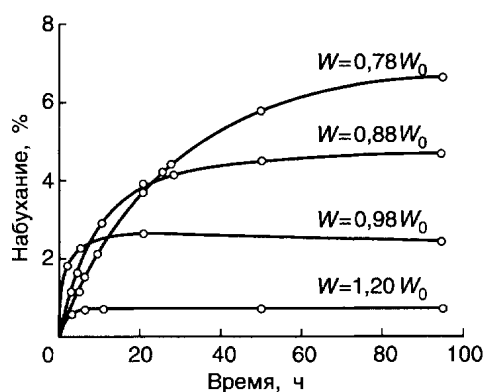


Рисунок 8.5. Кинетика набухания глинистого грунта при различной исходной влажности, оптимальная влажность равна 18%

Усадочность грунтов:

Усадочность грунтов — это процесс, обратный набуханию.

Показатели усадочности:

- Относительная линейная усадка.
- Относительная объемная усадка (отношение изменения объема).
- Коэффициент усадки — характеризует изменение объема грунта при снижении его влажности на 1%.
- Влажность условного предела усадки W_y (влажность, при которой усадка прекращается).

Стадии усадки грунтов:

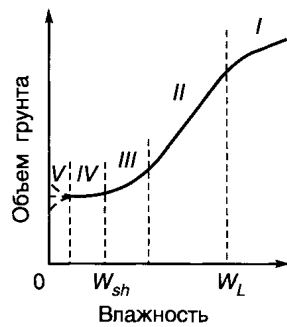


Рисунок 8.6. Стадии усадки грунтов.

1 стадия — **структурной усадки** — на ней, в основном, уходит свободная вода и часть воды из крупных капилляров.

2 стадия — **нормальной (линейной) усадки** — на ней происходит основная потеря объема грунта, здесь уходит и капиллярная и осмотическая вода.

3 стадия — **нелинейной усадки** — при ней объем меняется, но уже слабо, здесь удаляется вода ультракапилляров.

4 стадия — **безусадочная**.

5 стадия — **остаточная**.

При усадке часто возникают трещины, поскольку скорость ухода влаги разная; на поверхности это происходит быстрее, а на глубине медленнее. В результате возникает растягивающее напряжение, которое растрескивает грунт (подобный пример часто можно увидеть в пустыне).

Также как и другие характеристики физико-химических свойств грунтов, показатели усадочности зависят от тех же факторов, которые контролируют содержания осмотической воды.

Капиллярные свойства грунтов.

Выделяют следующие капиллярные свойства:

- **Капиллярное поднятие.**
- **Капиллярная связанность.**
- **Закон Лапласа:** капиллярное давление есть разность между давлением в жидкости с плоской и искривленной поверхностью:

$$p_c = p_o - p_{пл} = 2\sigma / R$$

- **Подъемная сила мениска** в капилляре радиусом r :

$$Q = 2\sigma \cos\Theta / r$$

- **Высота капиллярного поднятия:**

$$h_c = 2\sigma \cos\Theta / r g \rho_w$$

В вышеуказанных формулах R – радиус кривизны мениска, r – радиус капилляра, Θ – краевой уровень смачивания.

Высота и скорость капиллярного поднятия зависит от минерального состава.

Лекция №9. Свойства грунтов (продолжение). Физико-механические свойства грунтов.

Водопрочность грунтов.

Водопрочность грунтов — способность грунта сохранять свою прочность и сплошность при взаимодействии с водой (например, на берегах водоемов).

Во многих случаях грунты взаимодействуют с активной водой.

1) Размокаемость — способность грунта сохранять сплошность в стоячей воде. Этот показатель является качественным. Выражается в:

- Скорости размокания.
- Времени размокания.

Образец при погружении в воду начинает гидратироваться, в нем развивается капиллярный осмос и набухание. Во влажном грунте оболочки осмотической воды есть, и они находятся в равновесии. Воздушно-сухой образец разрушается быстрее из-за обильного газовыделения, но и он также уравновешен.

2) Размягчаемость — способность скальных грунтов снижать свою прочность при взаимодействии с водой.

- Большое значение имеет **эффект Ребиндера**.

Его суть заключается в следующем — любой скальный грунт имеет трещины, даже если они не видны (микротрещины), и это уже является нарушением целостности. Если есть трещина и она доступна для жидкой фазы, то начнется смачивание поверхности, в том числе смочатся и концевые части этой трещины, то есть вода будет гидратировать обе вершины трещины, создавая давление. Это давление снижает взаимодействие зерен в вершинах трещин, и они будут расти. Рост трещин приведет к снижению прочности породы. Вершины трещин — концентрат напряжения, участок с маленьким радиусом кривизны. При взаимодействии с жидкой фазой часть микротрещин начинает расти дальше.

Размягчение нельзя отождествлять с растворением.

- Показателем здесь является **коэффициент размягчаемости**.

3) Размываемость — способность разрушаться под влиянием движущейся среды (эта характеристика определяет эрозионную размываемость).

- Поверхностная (эрозионная) размываемость определяется критической скоростью водного потока. Она зависит от гидравлической крупности.

Этот аспект важен при строительстве каналов, поэтому очень часто в размываемых грунтах борта каналов укрепляются.

Типы размываемости:

- **Абразионная (волновая) размываемость** — определяется критической энергией волны и углом подхода.
- **Внутрипластовая (суффозионная) размываемость** .

Суффозия — вынос частиц определенного размера из грунта.

Разрыв пор должен быть достаточным для выноса частиц определенного диаметра. Скорость движения воды в порах должна быть выше критической для этого диаметра. Наиболее подвержены внутрипластовым разрывам будут неоднородные пески.

Диаметр частиц, мм	Критическая скорость, см/с	
	по Н.Н.Маслову	по Д.Джастину
5	—	22,1
3	—	17,3
1	10,0	9,85
0,8	—	8,83
0,5	7,0	6,97
0,1	3,0	3,05
0,08	—	2,79
0,05	2,0	2,19
0,03	—	1,74
0,01	0,50	0,98
0,005	0,12	—
0,001	0,02	—

Рисунок 9.1. Критические размывающие скорости фильтрации в грунтах.

Согласно таблице (см. рис. 11.1.), критически размывающие скорости в зависимости от радиуса частиц (размера).

Чтобы оценить суффозионную опасность, нужно оценить степень неоднородности грунта.

Суффозионный вынос — это увеличение пористости.

Суффозия — вынос рыхлого заполнителя из карстовых областей.

Тепломассопененос в грунтах.

При условии неизменности свойств среды:

$$V_i = K_i * \text{grad}P_i$$

Вода в грунтах – это электролит, поэтому возникает электрический ток.

Наведенные потоки (потоки второго рода):

$$V_i = K_j * \text{grad}P_j$$

Для потоков второго рода существуют разные индексы.

Закон Фурье — перенос тепла под действием градиента температуры.

Закон Фика — перенос тепла под действием концентрации.

Все это представляет собой один общий закон: закон тепломассопереноса.

Существует 4 типа прямых потоков вещества, заряда и тепла через пористый грунт.

Тип потока	Вид градиента			
	Напора $\text{grad}H$	Температуры $\text{grad}T$	Потенциала $\text{grad}V$	Концентрации и $\text{grad}C$
Жидкость (вода)	<i>Фильтрация (закон Дарси)</i>	<u>Термоосмос</u>	<u>Электроосмос</u>	<u>Капиллярный осмос</u>
Тепловая энергия	Изотермический теплоперенос	<i>Теплопроводимость (закон Фурье)</i>	Эффект Пельтье	Эффект Дюфура
Электрический ток	<u>Потенциал и ток течения (Эффект Квинке)</u>	Эффект Зеебека	<i>Электрический ток (закон Ома)</i>	Диффузия, мембранный потенциал
Заряд (заряженные частицы)	<u>Потенциал и ток оседания (Эффект Дорна)</u>	Эффект Сюре	<u>Электрофорез</u>	<i>Диффузия (закон Фика)</i>

Рисунок 9.2. Прямые и наведенные потоки в грунтах в соответствии с законом тепломассопереноса.

По вертикали – тип потока (что переносится)

Вид градиента подразумевает собой причину тепломассопереноса.

Синим шрифтом показаны 4 прямых потока.

Все остальные – потоки второго рода.

Есть еще подчеркнутые – те, которые проявляются в грунтах очевидным образом.

Другие потоки имеют значения в других областях хозяйственной деятельности (например, на ядерных установках).

Изотермический теплоперенос – это когда тепло переносится вместе с потоком жидкости, хотя в разных частях температура одинакова (но вода, имеющая другую температуру, переносит тепло).

Термоосмос – перенос жидкости под действием градиентов температуры.

Капиллярный осмос – когда вода движется из зоны с меньшей концентрацией растворимого вещества в зону большей (механизм образования осмотической влаги), его можно рассматривать как диффузию растворителя через некую мембрану, в качестве которой выступает грунт.

Электроосмос – движение под взаимодействием разности потенциалов. Внешнее электрическое поле заставляет двигаться не воду, а катионы

В грунтоведении принято эти 4 потока объединять в общую группу – **электрокинетические свойства грунта**.

Эффект Квинке – потенциал или ток течения. Этот ток измеряемый, но не убьет. А значит, эти эффекты имеют действие и оказывают влияние на свойства грунтов.

Электрокинетические свойства грунтов:

- Электроосмос.
 $Q / I = \zeta \varepsilon / 4 \pi \eta \sigma_v$, $k_{ЭО} = \zeta \varepsilon / 4 \pi \eta$ (см²/В*с)
- Электрофорез.
- Потенциал течения.
- Потенциал оседания.

Физико-механические свойства грунтов.

Физико-механические свойства грунтов — это группа свойств, определяющих реакцию грунтов на внешнее механическое воздействие.

Это основа проектных расчетов любых сооружений.

Далеко не всегда нужны все физико-химические свойства, а физико-механические свойства учитываются во всех проектных расчетах.

Они характеризуются по принципам:

- Постоянство — временность.
- Статичность — динамичность.
- Кратковременность — долгосрочность.

Основные физико-механические свойства:

- **Деформационные свойства** — определяют реакцию грунтов на нагрузки ниже критических (когда грунт под нагрузками не разрушается).
- **Прочностные свойства** — характеризуют способность грунтов противостоять разрушению.
- **Реологические свойства** — характеризуют реакцию грунтов на длительно действующие нагрузки (месяцы, годы, десятилетия).
- **Динамические свойства** — характеризуют реакцию грунтов на динамические (быстро изменяющиеся воздействия).

Выяснять их количественное значение приходится в разных условиях, отсюда и разные задачи.

Выделяют следующие виды физико-механического воздействия:

- **Механические напряжения** — усилия, возникающие в грунте при воздействии на него внешних механических нагрузок (ответ на внешнюю силу).
- **Деформации** — изменения, происходящие в грунте под действием механических напряжений:
 - Деформации изменения объёма.
 - Деформации изменения формы.

Основное допущение механики грунтов:

Грунт – сплошная, однородная, изотропная, бесконечная среда.

На самом деле, в общем случае, ни одно из этих утверждений несправедливо, поскольку реальный грунт (грунтовая толща) обладает следующими характеристиками:

- **Среда дискретная (несплошная)** — она состоит из отдельных частиц и обладает внутренним трением.
- **Среда неоднородная** — она обладает слоистым основанием, и её свойства изменяются от точки к точке.
- **Среда анизотропная (в разной степени)** — свойства грунта зависят от направления, они измеряются по-разному в разных направлениях.
- **Среда конечная** — грунт имеет как минимум одну поверхность (полубесконечная среда — полупространство).

Деформации грунта:

Виды деформаций:

- Простые (1 вид силы или момента).
- Элементарные (сжатие, разжатие, сдвиг).
- Сложные.
- Абсолютная.
- Относительная.
- Общая.
- Упругая.
- Остаточная (пластическая).

Измеряется в единицах длины.

Лекция №10. Физико-механические свойства грунтов.

Напряженное состояние грунтов определяется распределением напряжений в исследуемой точке грунтов.

- Напряжения:
 - Нормальные.
 - Касательные (тангенциальные).
- Напряжение — **тензорная величина**.
- Напряженное состояние характеризуется соотношением нормальных и касательных напряжений в рассматриваемой точке или объеме грунта и количественно описывается тензором напряжений.
- Напряженное состояние материала называется простым, если тензор напряжений не меняется от точки к точке.

В качестве примера можно привести здание, опирающееся на массив грунтов. В каждой точке грунта под фундаментом напряжения будут разные. Но для решения конкретной задачи об осадке сооружения, мы можем их принять как равномерно распределенные по подошве. Однако на границе фундамента всегда есть изменения. Напряжение также будет меняться с глубиной, ибо с глубиной происходит затухание вертикального напряжения, а также будут нарастать природные напряжения. Соответственно, будут меняться и горизонтальное напряжение, и касательное. Таким образом, мы видим, что, как правило, напряженное состояние чаще сложное, но при решении задач его можно упрощать.

Главные площадки и главные напряжения:

- Главные площадки: $\tau = 0$
- Главные нормальные напряжения:
 - $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$
- Главные касательные напряжения:
 - τ_1, τ_2, τ_3

Поскольку через любую точку можно провести бесконечное число площадок, то среди них будут и такие, которые собственно перпендикулярны выбранным осям. А если они перпендикулярны выбранным осям, то проекция результирующей силы напряжения на эту площадку равна 0 (совпадает с нормой), а значит, касательное напряжение не возникнет. Такие площадки называются **главными**. На самом деле их положение в массиве не определено, и зависит от выбора координат осей, но во многих случаях становится понятно, как направлено нормальное напряжение. Тензор сводится к одной нормальной компоненте, и тогда картина распределения напряжения упрощается.

Главных напряжений выделяют 3. Их всегда называют **$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$** , причем σ_1 это наибольшее из них (обычно вертикальное). Если грунт однороден (задача симметричная), то 2 меньших главных напряжения будут равны друг другу. Главные нормальные напряжения максимальны по величине среди всех других.

Главные касательные напряжения расположены под углом 45° к главным нормальным напряжениям.

В механике грунтов часто используют инварианты тензорных напряжений и деформаций.

Сочетание тензорных напряжений и деформаций определяет напряженно-деформированное состояние грунта

Инварианты тензоров — это величины, не зависящие от того, как мы выбрали оси.

- Среднее нормальное напряжение (из трёх главных) σ_m
- Средняя линейная деформация ε_m
- Средняя объемная деформация $\varepsilon_v = 3\varepsilon_m$
- Интенсивность касательных напряжений τ_i
- Интенсивность деформационного сдвига

Если ε_2 равно ε_3 , тогда касательное напряжение равно нулю!

Поэтому знание о величине главных нормальных напряжений существенно упрощает представление о напряженном состоянии грунта.

Обратим внимание, что главное и касательное напряжение **инвариантами не являются**.

Физические уравнения, которые описывают связь между действующими напряжениями и вызываемыми ими деформациями грунта, называются уравнениями состояния грунта.

Параметры различных уравнений состояния — это показатели физико-механических свойств грунтов. Следовательно, из этих показателей практический смысл имеют только те, с помощью которых мы можем построить уравнение состояния.

Именно поэтому механика грунтов занимается обоснованием и выводом уравнений состояния и решением этих уравнений состояния для конкретных задач. Уравнение состояния необходимо сначала обосновать, потом решить.

Основные расчетные модели грунтов:

- Расчет оснований по 2 группам предельных состояний:
 - **По несущей способности** (расчетная нагрузка на основание не должна превышать его предельное сопротивление) — разрушение.
 - **По деформациям** (совместная деформация сооружения и основания не должна превышать предельной для данного сооружения) — нарушение функциональности.

Методы исследования грунтов:

- Лабораторные методы.
- Полевые методы.

Принципы напряжений:

- Принцип эффективных напряжений К. Терцаги.
- Принцип Сен-Венана («бочка»).

Эти направления (торцевые или местные) снижают напряжения, что приводит к изменениям формы образца

В соответствии с **принципом Сен-Венана**, для круглого образца, высота этого образца должна быть вдвое больше диаметра, или даже втрое. По ГОСТу так делать запрещено, но немного больше, чем вдвое, все же допустимо. Это связано с тем, что ГОСТ требует стандартные образцы.

Если образец очень высокий, то нестрогая параллельность торцов начинает играть очень большое значение, образец будет работать не в режиме сжатия, а в режиме изгиба.

Поэтому необходимо использовать образец в соотношении 1/2 либо 1/1 (часто скальные грунты режут кубиками, и испытывают именно так).

Принцип эффективного напряжения Терцаги.

Карл Терцаги – основоположник классической механики грунтов. Крупный инженер австрийского происхождения, но большую часть жизни проживший и проработавший в США, он внес значительный вклад в развитие механики грунтов, в том числе он стал автором первого учебника по механике грунтов.

Принцип эффективного напряжения — одно из его важнейших открытий.

Он прост: если мы передаем нагрузку на водонасыщенный грунт (как в компрессионном приборе), то часть напряжений (полных) воспринимается скелетом грунта (эффективные напряжения), а другая часть воспринимается поровой жидкостью, и называется поровым или нейтральным давлением. Таким образом, мы имеем дело с двухфазной средой, а это значит, что если мы принимаем, что вода практически несжимаема, то для уплотнения грунта нужно чтобы эта вода отжималась. Из этого следует, что уплотнение грунта будет определять скорость отжатия влаги. Это и есть водонепроницаемость грунта, соответственно, у нас появляется уравнение для обработки.

Если всегда часть внешней нагрузки переходит на воду, то появляется возможность судить об особенностях измерения грунта в разных напряжениях.

Все нагрузки и деформации измеряются снаружи образца, а поровое давление передается изнутри.

Однако, по принципу Сен-Венана, оно должно быть больше в центральной части.

Если грунт не водонасыщен, то имеются два варианта действий:

1) По ГОСТу – сделать водонасыщенным, и после этого с ним работать.

2) Учесть еще один компонент – давление в газовой фазе, а это означает, что грунт будет стремиться подтянуть воду за счет капиллярной фазы (всасывающее давление).

Принцип эффективного напряжения до сих пор является основополагающим принципом механики грунтов.

Показатели деформационных свойств:

- **Модуль упругости** (статический) E_y .
- **Модуль Юнга** (динамический) E_d .
- **Модуль общей деформации** E_0 .

Грунты представляют собой **нелинейно-упругие среды**, даже в области очень малой деформации. Поэтому решение многих задач относительно грунтов хотя и основано на линейной упругости (закон Гука), но это лишь допущение, справедливое до тех пор, пока для решения задачи важна не линейность, а принцип упругости.

- **Коэффициент Пуассона** (коэффициент поперечной деформации) $0,5 \geq \nu \geq 0$
- **Принцип Сен-Венана**: влияние местных напряжений распространяется на глубину, равную ширине площадки нагружения.

Лекция №11. Деформационные свойства грунтов.

Многие основания не работают в упругой области.

Там, где возникает неупругая деформация, нужно знать модуль общей деформации (или просто модуль деформации).

$$E = \Delta\sigma / \Delta\epsilon$$

Надо выбрать правильный диапазон нагрузок для сооружения.

$$\sigma = \rho gh$$

Суть в том, что в большом количестве задач представление о линейной деформации среды вполне правомочно, и практика расчетов показывает, что они действительно оправданы, ибо совпадают с наблюдаемыми, а значит, можно использовать линейную аппроксимацию.

Этот расчет справедлив, если все деформации происходят одновременно. Его можно также выразить для сдвига через модуль сдвига.

Деформация сдвига влияет на объемную сжимаемость грунта (на осадки).

В обобщенном виде мы получаем теорию линейного деформирования грунта.

Теория линейного деформирования грунта.

Уравнения состояния представляет собой не что иное, как обобщенный **закон Гука**.

$$\epsilon_x = 1/E * [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)]; \gamma = [2(1 + \nu) / E] * \tau_{xy}$$

$$\epsilon_y = 1/E * [\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)]; \gamma = [2(1 + \nu) / E] * \tau_{yz}$$

$$\epsilon_z = 1/E * [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)]; \gamma = [2(1 + \nu) / E] * \tau_{zx},$$

где x, y и z — оси координат.

То есть деформация грунтовых элементов в горизонтальном направлении влияет на деформацию в вертикальном направлении (и для этого здесь присутствует коэффициент Пуассона).

Латеральная деформация появляется из формы изменения. Однако при гидростатическом сжатии форма изменяться не будет. Если грунт неоднороден, то будут разные модули, но это ни на что не влияет (хотя расчет и усложняется).

Любая деформация может быть представлена в виде суммы объемных и сдвиговых деформаций.

- **Модуль объемной деформации:**

$$K = E / (1 - 2\nu)$$

- **Модуль сдвига:**

$$G = E / [2(1 + \nu)]$$

Любая деформация есть порождение возникшего напряженного состояния.

Иногда, даже очень незначительные деформации могут влиять на эксплуатационные характеристики зданий.

Однако возможна ситуация, когда в наличии имеется некий массив в начальный момент времени до строительства, в котором грунт находится в напряженном состоянии, и при этом известно его главное вертикальное напряжение, но неизвестно горизонтальное.

В такой ситуации необходимо использовать **коэффициент бокового давления грунта покоя** K_0 .

Этот коэффициент допускает, что грунт находится в покое.

У воды он равен 1 по определению, а у грунта он заранее неизвестен, и поэтому в стандартных испытаниях заложена подготовка в условиях изотропного обжатия.

Он определяется как полевыми и лабораторными, так и корреляционными методами.

У некоторых грунтов этот коэффициент все же может быть больше 1.

Это значит, что эти грунты раньше испытывали большие вертикальные нагрузки, которые исчезли в результате эрозии (переуплотненные грунты).

В условиях компрессии деформация осуществляется только в одном направлении.

При этом мы знаем вертикальное давление, но не знаем горизонтальное, но оно есть.

Между ними существует связь – **коэффициент бокового распора**.

Этот коэффициент не отображает то же самое. Это не состояние покоя, так как грунт находится в условиях деформирования.

Деформационные свойства грунтов:

Виды деформации:

- **Упругая деформация.**
- **Упруго-пластическая деформация.**
- **Сдвиговая деформация.**
- **Объемная деформируемость.**

Ни одно реальное инженерное сооружение не работает в условиях упругой деформации, пластичность всегда присутствует.

При упругой деформации: свойства меняются строго обратимо, возникающие деформации ничтожны (10^{-5}), и их можно определить **геофизическими методами**:

$$1) E = V * [(1 + v)(1 - 2v)] / (1 - v)$$

$$2) G = V * \rho$$

$$3) G = [1 - 0,5(V / V)^2] / [1 - (V / V)^2]$$

Сжимаемость грунтов.

В основном она обусловлена сокращением пористости.

Все физико-механические свойства в первую очередь определяются типом структуры, все остальное работает опосредовано через ее тип.

Сжимаемость грунтов также определяется:

- **Размером частиц** (дисперсностью) — определяет количество контактов и площадь взаимодействия. Все напряжение в грунтах за исключением порового давления действует на контактах частиц в скелете.
- **Пустотностью** (чем больше полостей, тем меньше твердость вещества и больше сопротивляемость деформации).
- **Минеральным составом** (от этого зависит образование структурных связей).
- **Влажностью** (в основном для дисперсных грунтов, но иногда и для скальных).
- **Формой и микрорельефом поверхности частиц.**
- **Температурой** (особенно для мерзлых, влияние тем выше, чем больше поверхность).
- **Условиями приложения нагрузки** (скорость изменения, время действия).

Компрессионная сжимаемость грунтов:

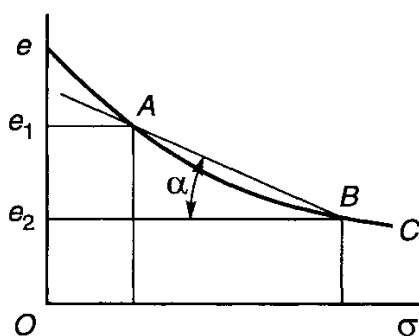


Рисунок 11.1. График параметров компрессионной сжимаемости.

При одномерной компрессии нагрузка прикладывается ступенями, на каждой нагрузке ожидается стабильная деформация.

Получаем совокупность точек, в которых грунт находится в стабилизированном состоянии, и это точки можно соединить (вогнутая кривая).

По мере роста общей площади контакта частиц кривая становится пологой.

Коэффициент сжимаемости (линия АВ) при этом используется для описания.

Компрессия обычно проводится в условиях влаги, иначе грунт может засохнуть.

Если эту диаграмму перестроить в полулогарифмическом масштабе по десятичному логарифму, то получится прямая линия, которая является **коэффициентом компрессии**.

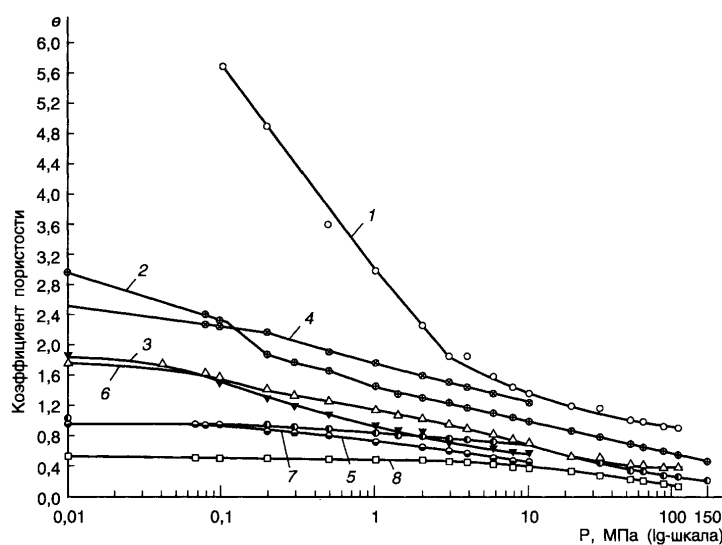


Рисунок 11.2. Компрессионные кривые различных грунтов.

Если взглянуть на графики компрессионной сжимаемости различных грунтов, то можно увидеть, что в конце они сходятся и оказывается, что характеристики этих грунтов в данном контексте не важны.

Отсюда можно сделать вывод, что с улучшением окатанности сжимаемость снижается.

Они сходятся при больших нагрузках, потому что зерна грунта начинают дробиться и перестают играть несущую роль, при большой нагрузке это становится неважно. Это было доказано экспериментальным путем.

Показатели сжимаемости:

Среди показателей сжимаемости можно выделить:

- Коэффициент сжимаемости a_v .
- Коэффициент компрессии C_c .

- Модуль общей компрессионной деформации $E_{ок}$.

В современных научных работах и документах его называют **одеметрический модуль** (по прибору – одометр).

Получаемой таким образом характеристикой уже никто не пользуется, поскольку нелинейные модели используют одометрический модуль, а для сооружений такой модуль слишком неточный.

Модуль общей деформации означает, что деформация имеет пластичный характер.

Модуль деформации всегда получится разный (в компрессии, в условиях трехостного сжатия, и т.д.)

Просадочность грунтов.

- **Просадка** – резкое уменьшение объема грунта при увлажнении (значит, грунт находится в недоуплотненном состоянии).

Линия нормального уплотнения всегда соответствует сжиманию полностью водонасыщенной системы.

- **Просадочность** — характерное свойство лёссовых пород.
- **Лёссы** – маловлажные, существенно пылеватые, недоуплотненные грунты:
 - Пористость не менее 50%.
 - Преобладает фракция средней и крупной пыли.
 - Малая влажность.
 - Макропористость.
 - Глобулярное строение.
 - Присутствие водорастворимых солей (значимое, иногда настолько, что в лёссах образуется стяжение).

Лёссы — это, как правило, отложения засушливых регионов. Это отложения внеледниковых зон.

Лёссы можно охарактеризовать как смешанные структуры с преобладанием переходных контактов.

Они сжимаются вследствие того, что у них высокая пористость, они недоуплотнены и имеют переходные контакты.

Если в эту структуру попадает вода, сжимаемость увеличивается, поры сокращаются и возникают осадки. Это негативный эффект, поскольку если что-то стоит на поверхности массива, то оно оседает вместе с ним.

Количественные характеристики просадочности:

Используются для оценки просадочности как свойства грунта

Если взять измененную высоту образца при замачивании и отнести к начальной высоте образца при той же нагрузке, то мы получим показатель — **относительная просадочность**. Если его величина превышает 1%, то грунт считается просадочным.

Абсолютное изменение процента пористости за счет просадки называется **макропористостью** (это название не является достаточно релевантным, но оно устоялось, все понимают его условность).

Показатели просадочных свойств:

- Относительная просадочность i .
- Коэффициент макропористости e_m .
- Начальная влажность просадки W_i .
- Начальное давление просадки p_i .
- Лессы — просадочны при природной нагрузке.
- Лессовидные грунты — просадочны при дополнительной нагрузке, пористость может быть менее 50%.
- Лессоподобные грунты — существенно пылеватые непросадочные образования.

Лекция №12. Прочностные свойства грунтов.

Характеристики просадочности грунтов.

Эти свойства обычно определяются в условиях компрессионного сжатия при замачивании. В этом случае можно определить относительную просадочность и рассчитать коэффициент макропористости.

При определении просадочности разными методами получаются разные её значения.

Методы определения просадочности:

- «Метод одной кривой» (испытания на одном образце грунта).
- «Метод двух кривых» (испытания на двух образцах грунта).

Типы лессовых толщ по просадочности – I и II типа – выделяются по величине суммарной просадки: больше или меньше 5 см. Это деление условное, но оно дает представление о суммарной просадке. Такое деление также удобно для картирования лессовых толщ.

Уплотняемость грунтов – одна из их деформационных характеристик. Изменение объёма грунта происходит под нагрузкой.

Чтобы вести строительные работы на просадочных грунтах, необходимо создать из них насыпи. Такие насыпи формируются с уплотнением. Для этого их укатывают, трамбуют. Именно поэтому так важно знать уплотняемость.

Существует специальный прибор для измерения этой величины. Он называется «**прибор стандартного уплотнения**», а использование данного прибора называют **методом Проктора**.

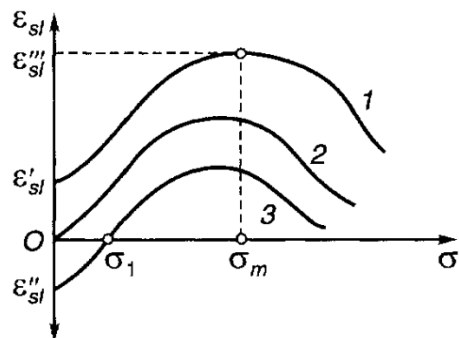


Рисунок 12.1. Зависимость уплотненности грунта от его влажности.

Если взять один и тот же грунт и уплотненный при разной влажности, то можно получить такую зависимость (см. рис. 12.1). Она имеет выраженный максимум. Эта точка максимума определяется как оптимальная влажность уплотнения.

Эта влажность находится между пределами пластичности.

У песчаного грунта существует оптимальная влажность уплотнения, но она зависит от содержания капиллярной влаги, поэтому она меньше, чем у остальных грунтов.

Максимальная плотность скелета грунта достигается при оптимальной влажности уплотнения.

При этом оптимальная влажность уплотнения не является показателем деформационных свойств грунта.

Когда строится реальная насыпь, часто она делается не из песка, как принято считать, а из местных грунтов (хотя песок удобнее всего). При этом строение насыпи иногда может оказаться весьма разнородным.

Прочностные свойства грунтов:

- **Прочность** – предельная величина механических напряжений, при которых в данных условиях происходит разрушение.
- **Разрушение грунтов** происходит в результате сдвига либо отрыва.
- **Критическое равновесие** – такое соотношение действующих в материале напряжений, когда сколь угодно малое увеличение действующей нагрузки вызывает разрушение.

У производственного материала прочности бывают разные, в зависимости от вида нагрузки. В естественной среде грунты могут разрушиться только сдвигом – так формируются **критические сдвиговые напряжения**.

Иными словами, прочность – это критическое касательное напряжение. Прочность измеряется в **Паскалях**.

Теория прочности Мора:

За историю развития механики грунтов было предложено несколько критериев прочности. Наиболее успешной стала теория прочности Мора.

О. Мор – инженер 20-х годов XX века. Он предложил следующее утверждение: «разрушение материала происходит при определенном соотношении нормальных и сжимающих напряжений».

Это действительно просто себе представить – при большем трении совершить сдвиг сложнее.

Критическое равновесие – это такое соотношение действующих в материале напряжений, когда сколь угодно малое увеличение действующей нагрузки вызывает разрушение.

Разрушение может произойти там, где раньше выполнится условие критического равновесия.

Условие предельного равновесия (баланс сил):

$$\Sigma F_h = H - T \cos \alpha - N \sin \alpha = 0$$

$$\Sigma F_v = V + T \sin \alpha - N \cos \alpha = 0$$

Если расписать каждую силу через напряжение, то получится следующая система из двух линейных уравнений:

$$\sigma_x \sin \alpha - \tau_\alpha \cos \alpha - \sigma_\alpha \sin \alpha = 0$$

$$\sigma_y \cos \alpha + \tau_\alpha \sin \alpha - \sigma_\alpha \cos \alpha = 0$$

Далее Мор обе части возвел в квадрат и сложил, получив функцию двойного угла α :

$$\sigma_\alpha = \sigma_x \sin^2 \alpha + \sigma_y \cos^2 \alpha = (\sigma_x + \sigma_y)/2 + (\sigma_x - \sigma_y)/2 * \cos 2\alpha$$

$$\tau_\alpha = (\sigma_x - \sigma_y) \sin \alpha \cos \alpha = (\sigma_x - \sigma_y)/2 * \sin 2\alpha$$

После некоторых преобразований получилась следующая формула:

$$\sigma_\alpha^2 + \tau_\alpha^2 = [(\sigma_x - \sigma_y)/2]^2$$

Таким образом, получилось уравнение окружности.

Так возник **круг предельных напряжений Мора**.

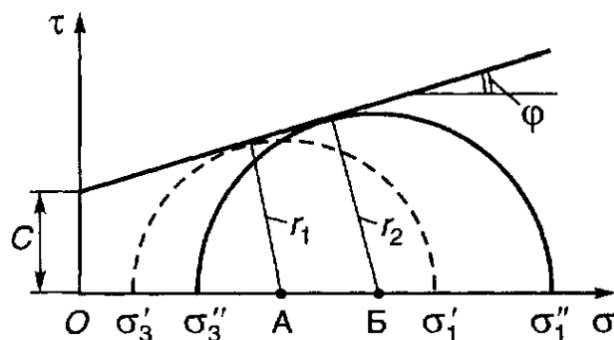


Рисунок 12.2. *Круг предельных напряжений Мора.*

Он строится в осях координат касательных напряжений. Чтобы получился круг, масштаб осей должен быть одинаковым.

Мор утверждал, что в каждой точке, лежащей на этом круге, выполнено условие предельного равновесия.

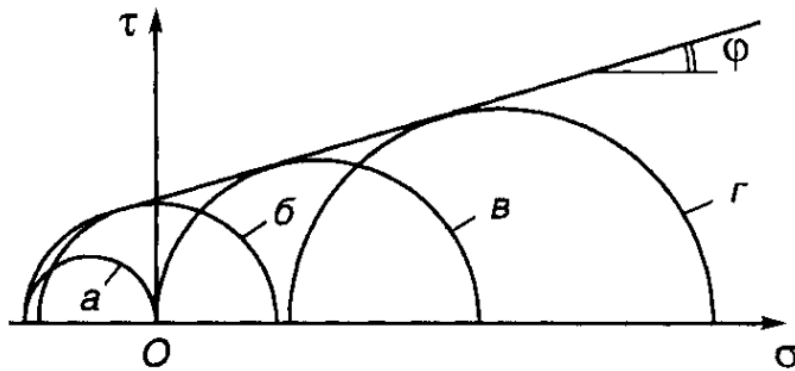


Рисунок 12.3. Диаграмма Кулона-Мора при испытании на прочность грунта в условиях растяжения (а), чистого сдвига (б), одноосного сжатия (в) и трёхосного сжатия (г).

Если мы опять опишем эту линию аналитически, то это уравнение будет уравнением состояния грунта.

Линия предельной огибающей Мора – показывает возможное положение всех точек, в которых выполняются условия предельного равновесия.

Физического смысла угла внутреннего трения нет, а вот у его тангенса есть – это коэффициент трения.

В случае, когда сцепления нет, огибающая Мора выходит из начала координат.

Поскольку огибающая Мора криволинейная, то если взять больший диапазон нагрузки, и этот диапазон продлить до оси касательных напряжений – получится сцепление. И его можно использовать в расчетах

Параметры ϕ и C были предложены Кулоном именно в этом виде, как параметры уравнения, физического смысла у них нет. Но они нужны для подсчета прочности.

Таким образом, ϕ и C – параметры уравнения состояния кулона и показатели свойств прочности.

Важно помнить, что при всём этом сцепление не является свойством грунта.

Основные способы определения прочности:

- **Диаграмма прочности Кулона-Мора** (см. рис. 12.3).
- **Закон Кулона.**
- Показатели прочностных свойств грунтов.
- Дренажные и недренажные испытания:
 - **НН-сдвиг** (неконсистентный недренажный).
 - **КН-сдвиг** (консистентный недренажный).
 - **КД-сдвиг** (консистентный дренажный).

При этих испытаниях получатся разные значения и показатели прочности.

Самое большое значение получатся в КД-сдвиге, а самое маленькое – в НН-сдвиге. При НН-сдвиге прочность практически равна сцеплению

Факторы, определяющие прочностные свойства грунтов.

Сцепление определяется:

- Преобладающим типом структурных связей.
- Средней прочностью индивидуального контакта.
- Средней площадью индивидуального контакта.
- Количеством контактов.

Следовательно, оно зависит от:

- Дисперсности (размера зерна).
- Пористости.
- Минерального состава.
- Содержания влаги (особенно осмотической).
- Всех других факторов, влияющих на перечисленные.

Угол внутреннего трения зависит от:

- Размера частиц (растет с уменьшением дисперсности).
- Формы частиц, их окатанности и микрорельефа поверхности.
- Наличия пленок на поверхности частиц (минеральных и органических).
- Минерального состава.
- Плотности упаковки (особенно для несвязных грунтов).
- Влажности.

Характеристики прочности грунтов:

- Пиковая и остаточная прочность грунтов
- Дилатансия – изменение объема материала при сдвиге.
- Концепция критической пористости.
- Угол естественного откоса песка.
- Чувствительность грунтов.

Критическая пористость – зависит от действующей нагрузки. Это зависимость выглядит так же, как линия нормального уплотнения.

При сдвиге грунт будет стремиться уплотняться, и возникнет уменьшение объема. Если это невозможно (например, грунт водонасыщенный), то возникнет дополнительное поровое давление, и оно всё равно переведет грунт на линию критической пористости. Тем самым эффективное напряжение уменьшится. Если точка лежит ниже, то при сдвиге произойдет увеличение объема.

Лекция №13. Реологические свойства грунтов.

Концепция критической пористости.

Она заключается в том, что существуют диапазоны пористости, в которых грунт проявляет дилатансию.

Критическая пористость является непостоянной величиной.

Критический коэффициент пористости зависит от эффективности сжимаемых напряжений.

Предполагается, что когда происходит сдвиг и возникают большие деформации, то пористость достигает критической, т.е. после преодоления пика прочности и выхода на остаточный хвост, предполагается, что грунт деформируется в плоскости сдвига.

В зоне сдвига при этом пористость соответствует критической, но ни объем, ни давление не изменяются.

Тогда при нагружении рыхлого песка (когда пик не наблюдается), должно получиться то же значение критической пористости.

Это всего лишь допущение, поскольку все равно пористость в разных зонах разная, но существует плотностное состояние, при котором не должна меняться пористость.

Критическая пористость зависит также и от скорости приложения нагрузки, но не столь существенно.

Чувствительность грунтов.

Показатель чувствительности определяется как отношение пиковой прочности грунта к минимальной.

Этот показатель характеризует реальную чувствительность структуры грунта к повреждениям. Если грунт малочувствителен, то и пик будет не выражен.

Когда различия достигают одного порядка и больше, грунты называются чувствительными.

Чувствительность грунта возрастает не столько за счет большого пика прочности, сколько за счет маленькой остаточности.

Пример — **пывунные глины** (по классификации Розенквиста имеют коэффициент чувствительности более 10).

В зарубежной литературе их также называют «быстрыми глинами».

Они широко распространены на территории, испытавшей последнее оледенение (Скандинавия, север Канады).

По своему генезису это, как правило, ледниковые образования.

Они интересны и одновременно опасны. При напряжении они разжижаются.

До определенного порогового значения нагрузки они достаточно жесткие, но при незначительных повреждениях следуют серьезные разрушения.

Причина этого заложена в генезисе. Когда эти глинистые частицы, которые выносятся в морской бассейн, попадают в соленую среду, диффузный слой сжимается. Наиболее активные зоны контактируют между собой. В итоге сформировались достаточно плотные глины в долинах и фьордах, ранее затопленных морем. В конце оледенения оно отступило, и в результате началось рассоление (обратный процесс), и количество ионов уменьшилось — произошло преобразование коагуляционной системы из ближней в дальнюю.

Другие сопряженные характеристики:

- Пиковая и остаточная прочность грунтов.
- Диталансия.
- Концепция критической пористости.
- Угол естественного откоса песка — угол, который образует с горизонтальной плоскостью поверхность свободно отсыпанного песка.

Угол естественного откоса не равен углу внутреннего трения, поскольку это величины с разным физическим смыслом.

Угол естественного откоса всегда больше на воздухе, чем под водой (там он распределяется на большую площадь, при затоплении песок принимает более пологое положение).

Реологические свойства грунтов

Реологические свойства грунтов — группа свойств, которые контролируют поведение грунтов в условиях длительно действующих нагрузок.

1. Релаксация напряжений (снижение напряжений во времени).

- В результате развития деформаций и переориентации частиц происходит перераспределение и снижение действующих в грунте напряжений.

Это общезначимое явление свойственно не только грунтам. В его основе лежит перераспределение напряжений на контактах между структурными элементами грунта. Приспособляемость материала под действием нагрузок означает его деформирование. Следовательно, это следствие дискретности материала.

- **Период релаксации** — время, за которое напряжение снижается в определенное число раз.

У жидкостей этот период мал, у скальных пород невероятно велик, у грунтов — совпадает с периодом строительных работ/эксплуатации сооружения.

- **Предел длительной прочности** — максимальная величина напряжения, которую грунт выдерживает без разрушения бесконечно долго.

Для того, чтобы ее получить, надо установить зависимость прочности от времени.

Она асимптотически стремится к некоему пределу, который называется пределом длительной прочности

Деформирование грунта при постоянных нагрузках принято называть ползучестью.

Вследствие релаксации напряжений возникает ползучесть.

2. Ползучесть грунтов

- Ползучесть – развитие деформаций во времени при постоянной нагрузке.
- Ползучесть может быть сдвиговой и объёмной.
- Количественные характеристики ползучести – показатель реологических свойств грунтов наряду с пределом длительной прочности.

Объёмная ползучесть по-другому определяется как консолидация.

Важно помнить, что это не совсем уплотнение – это изменения объема при постоянных нагрузках

Стадии консолидации:

1. Условно-мгновенное сжатие.
2. Первичная (фильтрационная) консолидация.
3. Вторичная консолидация.

- При условии одномерного уплотнения водонасыщенного дисперсного грунта, свойства которого при этом не меняются, движение влаги подчиняется **закону Дарси**, а коэффициент пористости линейно связан с действующим напряжением, вертикальная осадка может быть рассчитана из формулы:
 - $\Delta H = H * \Delta e / (1 + e_0)$

На самом деле, по сути, необходимо описать процесс изменения пористости во времени.

На стадии фильтрационной консолидации полагается, что скорость изменения объема грунта контролируется временем оттока поровой влаги под действием градиента приложенных давлений.

$$\delta u / \delta t = c_v * (\delta^2 u / \delta z^2);$$

$$c_v = [K_f * (1 + e) / a_v \rho_w]$$

Коэффициент консолидации – связан простой зависимостью между коэффициентом фильтрации через коэффициент пористости.

Это значит, что определив коэффициент консолидации, мы можем определить и коэффициент фильтрации.

Стадия вторичной консолидации описывается простым уравнением, и из нее можно вычислить коэффициент вторичной консолидации.

Это основное уравнение фильтрационной консолидации, оно описывает только фильтрационную его часть.

Вторичная консолидация также может быть описана как ползучесть скелета грунта.

Количественная характеристика коэффициента вторичной консолидации: он является безразмерной величиной

Процесс ползучести может быть описан в рамках теории наследственной ползучести.

Теория наследственной ползучести Больцмана-Вольтерра.

$$\varepsilon(t) = (\sigma(t_0) / E_{\text{МГН}}) + (K(t - t_0) * \sigma(t_0) * \Delta t_0)$$

Эта формула (модуль) описывает напряжение в начальный момент времени.

Суть в том, что эта теория указывает, что пористость грунта в каждый момент времени есть результат его предшествующего состояния в сумме с возникшей деформацией (уплотнением) на каком-то заданном отрезке времени (Δt).

Теория полагает, что напряжение не меняется, меняется только время,.

Коэффициент вторичной корреляции и два параметра ядра ползучести – это показатели реологических свойств грунтов.

Ядро ползучести это часть математического выражения, реального ядра внутри грунта нет.

Сдвиговая ползучесть.

Она исследует зависимость деформации сдвига от времени

Процесс может носить:

- Затухающий характер.
- Незатухающий характер.

Если приложенное напряжение меньше предела длительной прочности, то ползучесть всегда будет носить именно затухающий характер.

Процесс обычно делится на три части:

- 1) **Неустановившаяся ползучесть** (деформация развивается медленно).
- 2) **Установившаяся ползучесть** (ее скорость постоянна).

3) **Накопление разрывов структурных связей** — достиг некоторой критической величины, когда рост деформации становится прогрессирующим (прогрессирующее течение)

Порог ползучести — то напряжение, при котором разделяется затухающая ползучесть от незатухающей.

Мерой сдвиговой ползучести является **вязкость**.

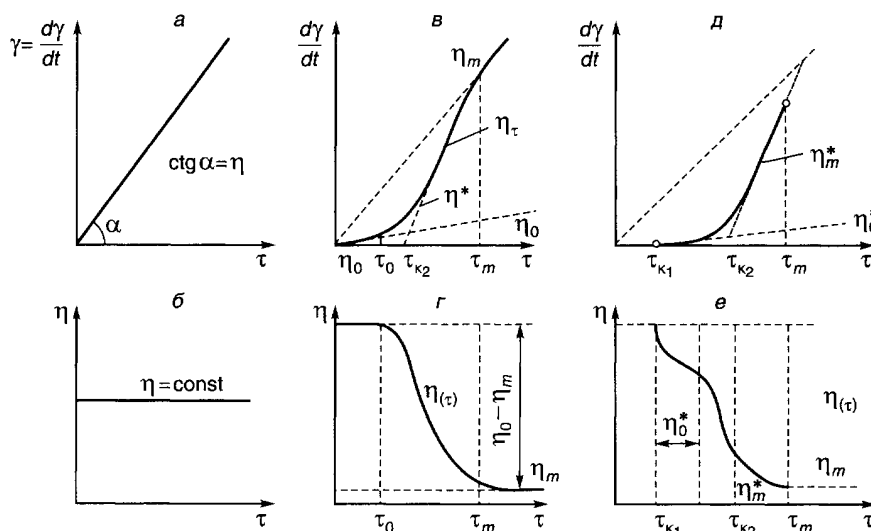


Рисунок 13.1. Реологические кривые идеальной жидкости (а,б), жидкообразных (в,г) и твердообразных (д,е) тел.

Вязкость грунтов — соотношение между скоростью относительной деформации и приложенным напряжением.

Для ньютоновской жидкости, например, эта величина постоянна.

На вышеобозначенном рисунке (см. рис. 16.1) показана зависимость скорости деформации от напряжения.

Так, на рисунках «в» и «г», обозначена скорость деформации для жидкообразного тела.

Скорость развития сдвиговой деформации является не нулевым значением при сколь угодно малых напряжениях.

Таким образом, большинство контактов между частицами существуют и определяют ее сопротивление сдвигу.

Вязкость бывает:

- Начальная.
- Промежуточная (эффективная).
- Конечная.

До достижения некоторого предела значения касательного напряжения, деформации не развиваются, они крайне малы и скорость деформации практически равна нулю (τ_{k1})

Далее скорость развития деформации возрастает и становится практически постоянной, (динамический предел τ_{k2})

И та, и другая вязкость являются показателями реологических свойств грунтов.

Фактически между этими двумя значениями и находится тот порог ползучести, при котором ускоряется деформация сдвига.

Вязкость также можно обозначить как **сопротивление трению** (не между частицами, а между слоями молекул жидкости при движении частиц друг относительно друга).

Эти системы характеризуются внутренним трением (которое следует не путать с трением по закону Кулона).

Показатели реологических свойств грунтов:

- Коэффициент консолидации.
- Коэффициент вторичной консолидации.
- Коэффициент ядра ползучести.
- Коэффициент затухания ползучести.
- Предел длительной прочности.
- Период релаксации.
- Порог ползучести.
- Условный статистический предел текучести.
- Условный динамический предел текучести.
- Вязкость.

Динамические свойства грунтов

- **Динамические свойства грунтов** — группа физико-механических свойств грунтов, определяющих их реакцию на действие механических нагрузок.
- Динамической называется **переменная нагрузка**, изменяющаяся во времени быстрее, чем затухают вызванные ею в грунте волны напряжений.
- Динамические свойства грунтов характеризуют их как **среду распространения колебаний** (упругие, деформирующие и фильтрующие свойства), и определяют их **динамическую неустойчивость** как увеличение деформируемости и снижение прочности грунта при динамическом нагружении по сравнению со статическими нагрузками.

Свойства грунта (прочность) зависят от условий воздействия на грунт.

Цели определения динамических свойств грунтов:

- Для расчета колебаний сооружений.
- Для прогноза дополнительных осадок.
- Для оценки сейсмических характеристик.
- Для оценки возможности разжижения.
- Для определения возможных последствий.
- Для выбора правильной конструкции фундамента, метода прокладки.

Динамические свойства грунтов количественно характеризуются двумя группами показателей:

1. При характеристике свойств грунтов как среды распространения волн напряжений:

- Ряд динамических модулей грунта.
 - Модуль Юнга.
 - Динамический модуль сдвига
 - Динамический модуль общей деформации.
- Коэффициент Пуассона
- Характеристики затухания волн напряжений в грунтах
 - Коэффициент затухания.
 - Эквивалентное поглощение.
 - Коэффициент поглощения.

2. Для оценки динамической неустойчивости используются:

- Характеристики разжижаемости грунтов.
- Параметры сдвиговой прочности в зависимости от:
 - Количества циклов воздействия.
 - Скорости деформации.
 - Сидовых и временных параметров динамической нагрузки.
- Параметры прочности на разрыв, срез, одноосное сжатие, изгиб и кручение.
- Распределение напряжений и деформация в объеме модели, общий характер и скорость ее разрушения или деформации.

Лекция №14. Динамические свойства грунтов.

Основные формы проявления динамической неустойчивости разных дисперсных грунтов и контролирующие их факторы:

Возможные варианты реакции грунтов на динамическое напряжение:

- Усталостное разрушение.
- Динамическое уплотнение.
- Снижение прочности:
 - Частичное разуплотнение.
 - Разжижение (полная потеря прочности).

Механизмы динамической неустойчивости грунтов:

- Усталость (для дисперсных грунтов).
- Тиксотропия (для связных грунтов).
- Квазитиксотропия.
- Дилатантно-тиксотропные эффекты.
- Динамическая дилатансия (для несвязных грунтов).

Динамическая дилатансия несвязных грунтов.

В **несвязных (дилатантных)** грунтах взаимное смещение частиц, вызванное прохождением волн напряжений, сопровождается переупаковкой и изменением пористости, а в недренированных условиях — изменением порового давления.

В целом возможны следующие формы реакции:

- **Уплотнение** (отрицательная дилатансия) рыхлого песка любой влажности.
- **Разуплотнение** (положительная дилатансия) маловлажных плотных песков, сопровождающееся и снижением прочности.
- **Циклическая подвижность** — постепенное накопление сдвиговых деформаций в водонасыщенных песках относительно плотного сложения, при положительном поровом давлении хотя бы в части цикла нагрузки. Может иметь прогрессирующий характер и привести к разрушению грунта без его разжижения, или затухающей — стабилизирующейся на определенном уровне амплитуды деформации.
- **Разжижение** водонасыщенного песка

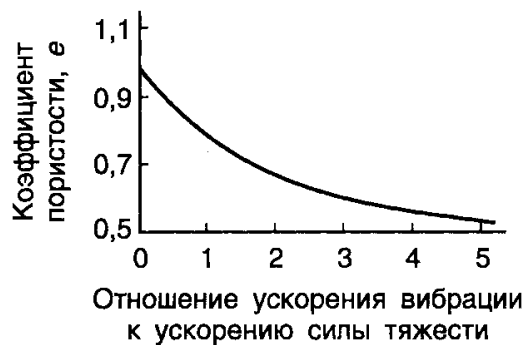


Рисунок 14.1. Виброкомпрессионная кривая для песка средней крупности.

Можно построить такой же график (см. рис. 17.1) в терминах амплитуд напряжений.

Сжимаемость хорошо сопротивляющихся нагрузкам песков при приложении динамической нагрузки заметно возрастает, и песок обязательно будет уплотняться.

Однако есть некоторое пороговое значение ускорения, при котором эффект теряется.

Кривые виброползучести при ускорении:

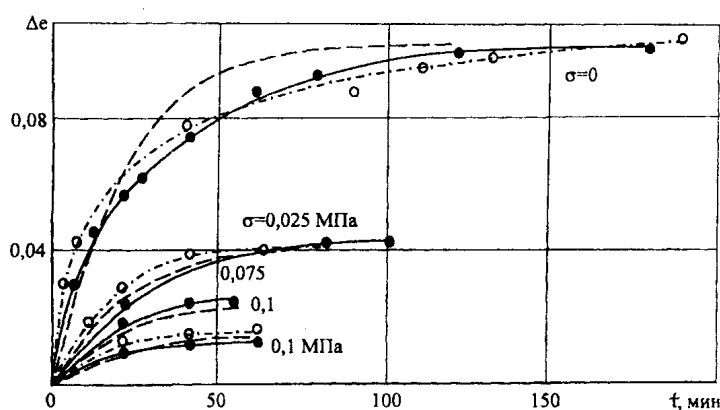


Рисунок 14.2. График экспоненциальной зависимости деформации виброползучести..

Увеличение коэффициента пористости приводит к дополнительной осадке.

Необходимо оценить **дополнительную осадку** (как изменился модуль деформации), но она развивается годами, провести многолетний эксперимент невозможно.

На практике принято следующее решение: проводится эксперимент, ограниченный одним рабочим днем, для выявления тенденции (натуральный логарифм). С его помощью параметр дополнительной осадки можно оценить и посчитать из расчета на 50-100 лет назад.

Виброползучесть может быть и незатухающей, и тогда она не опишется натуральным логарифмом.

А это свидетельствует, что данный уровень опасен, и это приведет к разрушению или формированию осадков.

Плотный водонасыщенный песок в недренированных условиях проявляет стабилизацию деформаций при отрицательном избыточном поровом давлении.

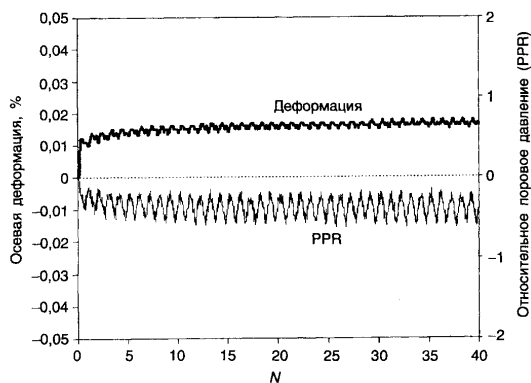


Рисунок 14.3. Стабилизация деформаций при отрицательном избыточном поровом давлении в водонасыщенном песке.

Поровое давление приведено в относительном выражении.

Также приведено приращение порового давления относительно среднего или меньшего главного напряжения.

Прогрессирующая циклическая подвижность в плотном водонасыщенном песке.

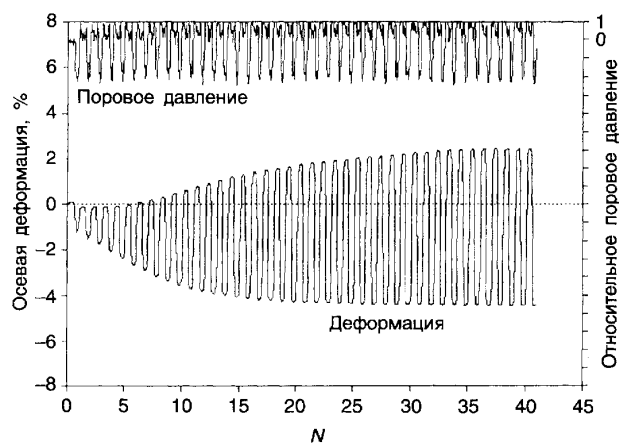


Рисунок 14.4. Прогрессирующая циклическая подвижность в плотном водонасыщенном песке.

Уходит как в положительные, так и в отрицательные значения, но тем не менее постоянно проходит через ноль.

К концу опыта амплитуда составляет 5% — для песка это практически разрушение

Однако также эта амплитуда может быть и затухающей.

Динамическое разжижение грунтов.

Динамическое разжижение – это переход водонасыщенных дисперсных грунтов в текучее состояние в результате разрушения структурных связей под действием сейсмических волн.

Возможны 2 механизма разжижения грунтов:

- **Разжижение несвязных и слабосвязных грунтов** с очень слабым сцеплением вызывается стремлением рыхлой системы к сокращению объема при прохождении волн напряжений и «взвешиванием» частиц в воде с резким падением эффективных напряжений вплоть до их исчезновения и сопровождается уплотнением грунта с отжатием воды из пор.
- **Разжижение связных грунтов** вызывается резким снижением прочности связного грунта в результате разрушения коагуляционной структурной сетки и падения эффективных напряжений при прохождении сейсмической волны. В результате развиваются огромные деформации, проявляющиеся как течение грунтовой массы без уплотнения.

Для связных грунтов важнее всего типы структурных связей. Исключение составляют высокоциклические (плывунные) грунты.

Квазитиксотропия связных грунтов.

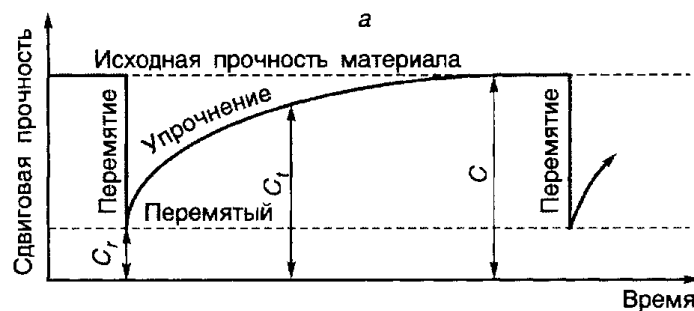


Рисунок 14.5. Восстановление прочности тиксотропного материала.

На рисунке приведена диаграмма по Скептону – поведение идеального тиксотропного материала. Здесь не происходит изменение влажности системы.

Существует много частиц, обладающих значительной инерцией, в том числе и в грунтовой среде.

Кинетика восстановления прочности тиксотропной системы.

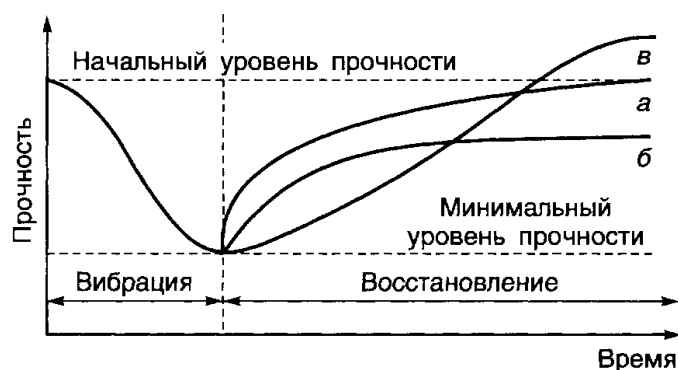


Рисунок 14.6. Кинетика восстановления прочности тиксотропной среды (а) и квазитиксотропных грунтов (б, в).

Это системы природного сложения.

Это смешанный тип структуры, и поэтому при разрушении контактов часть прочность не восстанавливается.

Получается, что прочность коагуляционных контактов вырастает. Может также увеличиться число и прочность контактов.

Микроагрегаты могут разрушаться в процессе динамического воздействия. Поэтому микроагрегатный состав грунта изменяется.

Кинетика тиксотропного упрочнения глинистых грунтов.

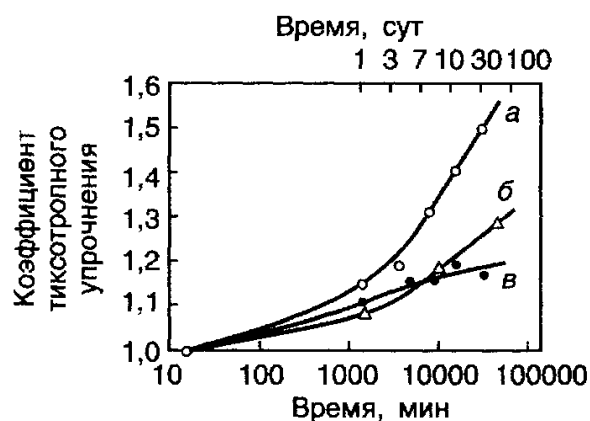


Рисунок 14.7. Кинетика тиксотропного упрочнения глинистых грунтов.

С точки зрения практики можно считать, что упрочнение заканчивается в течение первых нескольких суток.

Если строители забивают сваи, то их испытывают через неделю. Этот подход не совсем верный, но он упрощает выполнение поставленной задачи.

Продолжительность динамического воздействия влияет на разупрочнение глинистых грунтов.

Частотных эффектов много, поэтому все взаимодействия происходят в массиве.

В течение цикла воздействия, в зависимости от скорости изменения нагрузки, условия изменения могут складываться по-разному.

При некоторых частотах действительно прочность снижается больше (15-20 Гц), но это не резонанс, поскольку резонировать может только колебательная система.

Самое главное, что выделить собственное влияние частоты нельзя. Это некорректно, поскольку ее нельзя отделить от других параметров нагрузки.

Влияние частоты приложения нагрузки на деформацию суглинка.

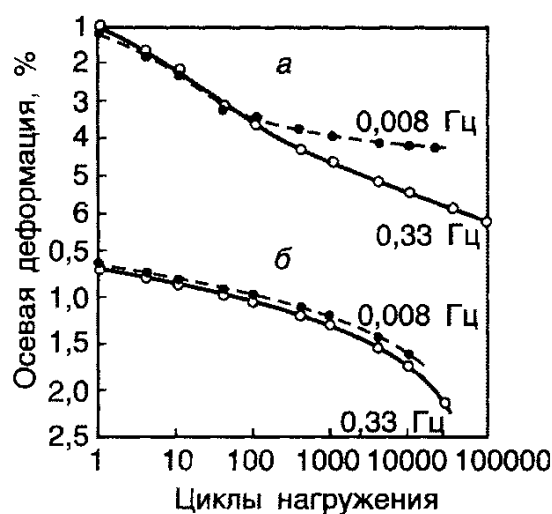


Рисунок 14.8. Влияние частоты приложения нагрузки на деформацию суглинка в водонасыщенном (а) и влажном (б) состоянии.

Во влажном состоянии различия не заметны.

Для меньшей частоты деформации имеется тенденция к замедлению со временем. Причиной этому являются тиксотропные эффекты.

За фазу разгрузки происходит частичное тиксотропное восстановление.

Лекция №15. Понятие инженерно-геологического элемента.

Виды показателей свойств, которые используются в грунтоведении.

Коэффициент корреляции.

Основными являются **корреляции** между показателями состава и свойств грунтов.

Корреляция — это взаимосвязь между разными показателями.

Примеры корреляционной зависимости:

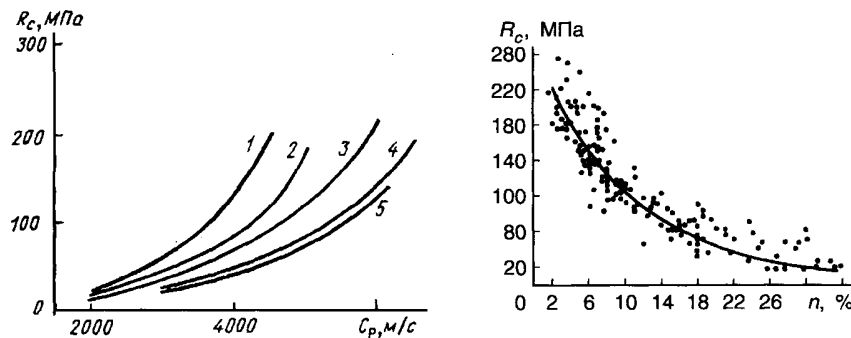


Рисунок 15.1. Примеры корреляционной зависимости: График связи величин прочности на сжатие и скорости продольных волн (слева), график зависимости прочности на одноосное сжатие от пористости в пористых эффузивах (справа).

Нужно составить выборку и проанализировать ее (корреляционная выборка, отражает природные свойства грунтов, и причину влияния одних характеристик на другие)

Далее строится элементарный график рассеяния.

По центру значений проводится пунктир – линия тренда (но это слабая зависимость).

Если график рассеяния представляет собой линию-экспоненту, то мы можем говорить о том, что связь более тесная.

Бесформенное облако значений означает, что зависимости нет, отсутствует парная корреляция (но по смыслу она должна быть). Следовательно, выборка нерепрезентативная, либо есть еще неучтенные факторы.

Использование корреляционных зависимостей:

- Анализ корреляционной зависимости позволяет лучше понять свойства грунтов, как те или иные факторы влияют на интересующие нас свойства.
- Выявление связей для определения трудноисследуемых показателей по более очевидным.

Трудности, сопряженные с использованием коэффициента корреляции:

Простое перенесение корреляционной зависимости с одной выборки на другую не даст результатов, даже если выборки аналогичны.

Существуют случайные корреляции, при которых не учтены все факторы (**ложные корреляции**).

Прежде чем искать зависимость, необходимо понимать, есть ли в этом физический смысл.

Практическое значение коэффициентов корреляции:

- Если коэффициент корреляции больше 0,9 то связь тесная.
- Если коэффициент корреляции больше 0,99, то связь функциональная.

Например, связь между гидроскопической влажностью грунта и площадью поверхности смачивания.

При этом следует помнить, что для получения коэффициента корреляции необходимо взять корень, — в противном случае, это не коэффициент корреляции, а коэффициент детерминации.

Разброс значений описывается средним квадратичным отклонением.

Эта изменчивость неоднородного грунта в массиве работает как по латеральному направлению, так и по глубине.

Чтобы рассчитать осадки под основанием сооружения, необходимо получить значения входных параметров (коэффициент пористости и плотность).

Любое из этих свойств будет разное в разных точках схемы, но если считать так, то задача нерешаема.

Строго говоря, классификационным может выступать любой показатель.

Виды показателей состава и свойств грунтов.

По назначению:

- Классификационные
- Расчетные

Расчетные подразделяются по представительности:

- Частные.
- Обобщенные.
- Собственно расчетные.

Обобщенные показатели могут быть нормативными — это та величина, которая характеризует данную выборку или инженерно-геологический элемент (за исключением параметров прочности).

Понятие инженерно-геологического элемента.

- **Инженерно-геологический элемент** — однородная в генетико-возрастном и литолого-петрографическом отношении часть разреза, в пределах которого показатели состава и свойств грунтов изменяются случайным образом.
- Инженерно-геологический элемент выделяется на основе изучения закономерностей изменения индивидуальных показателей.

По смыслу из этого следует, что литологически не может быть разных грунтов (песок и глина не могут попасть в один и тот же элемент).

Если аллювиальные пески лежат на морских, то это ничего не значит — это разные элементы и у них разный генезис.

С точки зрения проектирования любой грунт состоит из инженерно-геологических элементов.

Альтернативой здесь может стать математическое описание. В принципе, эта задача решаемая, можно построить поля изменения показателей (важно не на чем стоит, а какая там пористость).

Но это требует большого объема изменений.

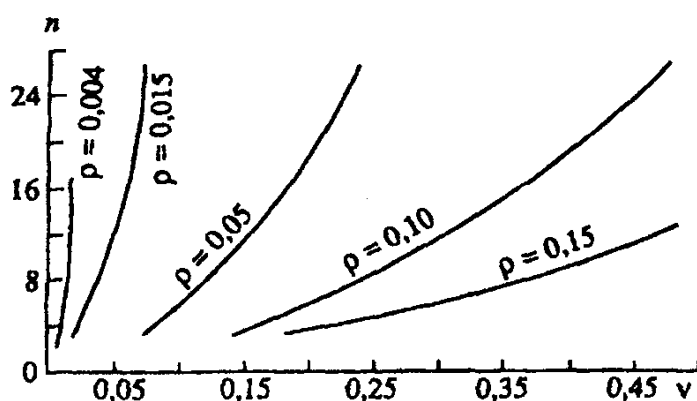


Рисунок 15.2. Зависимость количества частных определений характеристик от коэффициента вариации и показателя прочности.

Недостающие показатели обычно выдумываются. Это некорректно, но другого выхода здесь не предвидится.

Поэтому основной фактор аварий – человеческий фактор.

Общая классификация грунтов.

Общая классификация охватывает все грунты, которые есть на земле и даже еще не известны.

Основные правила классификации грунтов:

- Сумма выделенных таксономических единиц должна быть равна объему классифицируемого родового понятия.
- Классификационные признаки должны выбираться таким образом, чтобы каждый грунт попадал только в один из выделенных таксонов.
- В пределах одной таксономической единицы все таксоны более высокого уровня должны обособляться по признакам более высокого порядка.
- Классификационный признак может изменяться при переходе от одного уровня классифицирования к другому.

Исторически было разработано несколько общих классификаций, и сейчас из них используются 2 наиболее логичные.

Классификация грунтов:

- По общим особенностям происхождения подразделяются на **2 царства**:
 - Природные грунты.
 - Искусственные грунты.
- **Классы** грунтов выделяются по общему характеру структурных связей.
- **Группы** грунтов выделяются по особенностям структурных связей с учетом их прочности.
- **Подгруппы** грунтов выделяются по генезису.
- **Типы** грунтов выделяются по составу.

Вид грунта соответствует названию пород.

Лекция №16. Природные дисперсные грунты.

Несвязные грунты.

Характеристики несвязных грунтов:

- По генезису к ним относятся осадочные и вулканогенно-осадочные крупнообломочные и песчаные грунты.
- Состоят из слабоизмененных обломков горных пород и минералов.
- Связи между частицами преобладают механические.
- Сыпучие среды в сухом состоянии.
- При увлажнении – смешанные структуры.
- Обладают высокой пористостью (менее 50%).
- Обладают высокой водопроницаемостью.
- Обладают низкой сжимаемостью (имеют удовлетворительную несущую способность).

Для них характерно высокое сопротивление сдвигу за счет кулоновского трения, поскольку сцепление между ними невелико.

Крупнообломочные грунты:

Характеристики крупнообломочных грунтов:

- Состоят из обломков горных пород
- Среди них выделяются:
 - Валунно-каменистые (часто встречаются в составе водно-ледниковых образований)
 - Галечные и щебнистые
 - Гравийные и дресвяные

Генезис у этих грунтов разный – это могут быть как морские пески, так и континентальные отложения. Обломки могут быть **окатанными** и **неокатанными** – этот фактор влияет на свойства этих грунтов. Для свойств крупнообломочных несвязных грунтов важнейшее значение имеет состав заполнителя.

Зависимость модуля деформации от коэффициента выветривания (!!!)

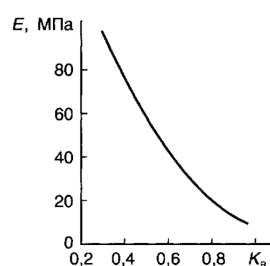


Рисунок 16.1. Зависимость модуля деформации щебнисто-дресвяных грунтов от величины коэффициента выветривания.

С изменением выветриваемости от минимальной к максимальной модуль деформации может упасть на несколько порядков.

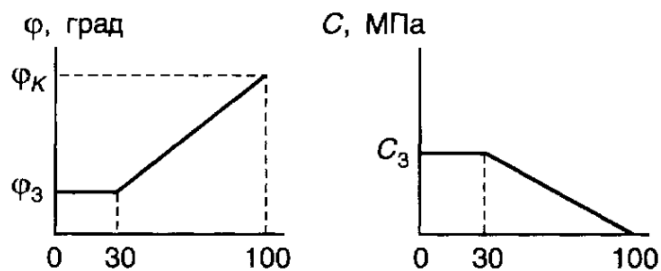


Рисунок 16.2. Зависимость угла внутреннего трения и сцепления крупнообломочного грунта от содержания обломков.

Зависимость деформации таких грунтов от величины коэффициента выветривания (см. рис. 16.1) представляет собой сильную идеализацию.

С увеличением содержания крупнообломочной фракции (см. рис. 16.2) трение растет, а сцепление падает при некоторых критериях содержания заполнителя.

Свойства обломочных несвязных грунтов:

- **Плотность скелета** имеет значения от 1,65 до 2,20.
- **Пористость** составляет 25 - 40%.
- **Естественная влажность** составляет 25 - 30%.
- **Высокая водопроницаемость**: десятки-сотни метров в сутки (у древних грунтов при прочих равных условиях снижается, поскольку происходит заполнение пор вторичными образованиями).
- Очень **слабосжимаемы** (без заполнителя).
- Обладают **высокой прочностью** – угол откоса более 40° .
- **Угол внутреннего трения** и сцепление сильно зависят от выветрелости обломков.
- Весьма **надежные основания**, которые не дают приращения сейсмической балльности.

Песчаные грунты.

Характеристики песчаных грунтов:

- **Состоят из мономинеральных частиц** размером 0,05 – 2 мм (однако, могут содержать примесь гравийных частиц).
- **Количество глинистых частиц** не превышает 3% (если это количество больше, то данный грунт нельзя называть песком).
- **Число пластичности** менее 1 (это связано с условиями классификации. Разность между песками и супесями условная, поэтому между специалистами

существует такая договоренность. Некоторые исследователи предлагали введение категории глинистого песка, но эти идеи не дали результатов).

- **Подразделяются (по ГОСТу) на:**
 - Гравелистые.
 - Крупные.
 - Средней крупности.
 - Мелкие.
 - Пылеватые
- **Особенности состава:**
 - Возможно присутствие значительного количества органического вещества (если его много, следует классифицировать такие грунты как «с растительными остатками», если меньше – как «заторфованные»).
 - Могут быть засоленными.

Взаимосвязь окатанности зерен грунта с их размером:

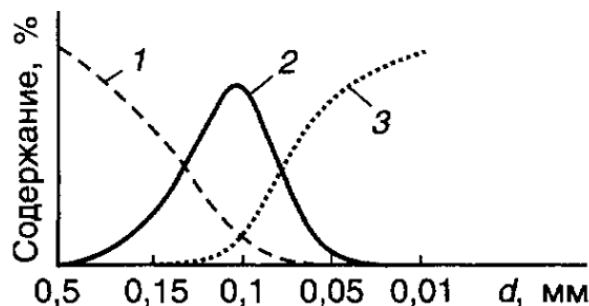


Рисунок 16.3. Взаимосвязь окатанности зерен с их размером у песчаных грунтов.

Чем крупнее частицы, тем лучше они окатаны, поскольку трение растет при большей массе, и поэтому начиная с определенного размера частицы вообще не окатываются.

Для песков характерно множество свойств:

- **Высокая пористость** – до 35-46%, а иногда и выше.
- **Пористость слабо** изменяется по разрезу, но обычно растет с увеличением размера зерен.
- **Высокая водопроницаемость** – от 10 см до 10-12 метров в сутки.
- **Обладают капиллярными свойствами**, высота их поднятия может составлять до 1 м.
- **Слабая сжимаемость.**
- **Выраженная дилатансия.**
- **Физико-механические свойства** определяются, главным образом, дисперсностью и пористостью
- **Угол внутреннего трения** варьируется от 25-26° (пылеватые пески) до 42-43° (крупные пески). При этом с увеличением размера зерна повышается значение главного трения.

- Могут обладать **слабым сцеплением**.
- **Модуль деформации** – от 10-12 до 50-60 МПа (этот модуль зависит от многих факторов).

Существуют нормативные значения удельных сцеплений, углов внутреннего трения и модулей деформации песчаных грунтов.

Виды песчаных грунтов	Обозначения характеристик грунтов	Характеристики грунтов при коэффициенте пористости			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Пески гравелистые и крупные	C_n	0,002	0,001	—	—
	φ_n	43	40	38	—
	E	50	40	30	—
Пески средней крупности	C_n	0,003	0,002	0,001	—
	φ_n	40	38	35	—
	E	50	40	30	—
Пески пылеватые	C_n	0,008	0,006	0,004	0,002
	φ_n	36	34	30	26
	E	39	23	18	11

Рисунок 16.4. Таблица нормативных значений удельных сцеплений (C_n , МПа), углов внутреннего трения (φ_n , град) и модулей деформации (E , МПа) песчаных грунтов.

Иногда проектировщики, если им не нравится фактическое значение, берут из этой таблицы (см. рис. 16.4). Это весьма необдуманно, но при этом правомерно, поскольку с формальной точки зрения эти значения записаны в нормативных актах. На этой таблице, однако, видна общая зависимость – снижение характеристик при росте коэффициента пористости. Однако эти данные нельзя назвать полностью не актуальными в силу того, что пески везде имеют разный состав.

Связные грунты.

Виды связных грунтов:

- **Минеральные:**
 - Глинистые.
 - Пылеватые (лессовые).
- **Органоминеральные:**
 - Илы.
 - Сапропели.
 - Заторфованные грунты.
- **Органические:**
 - Торфа (как отдельный вид).

Следует обратить внимание, что в ГОСТ-25100 нет пылеватых грунтов в принципе. С научной точки зрения это неправильно, но так она построена – пылеватые грунты

включены в состав глинистых, поскольку многие их свойства близки. Лессы будут отнесены к связным глинистым грунтам.

Общие особенности связных грунтов:

- Содержат значительное количество вторичных (глинистых) минералов, сформировавшихся при участии химического выветривания (от этого и происходит их название).
- Резкое изменение состояния и свойств при взаимодействии с жидким компонентом.
- Незначительная водопроницаемость при высокой пористости.

Какая бы не была водопроницаемость, у связных грунтов пористость выше чем у песчаных. Несмотря на то, что поры маленькие и заполнены водой, общая пористость как правило больше у связных.

Пылеватые грунты:

По своей сути – это специфические геодезические образования.

Характеристики пылеватых грунтов таковы:

- Континентальные породы, содержащие более 50% частиц размером 0,05-0,005 мм, обладающие высокой пористостью и присутствием макропор.
- Отложения перигляциальных и внеледниковых зон.
- По генезису могут быть:
 - Эоловый.
 - Делювиальный
 - Проллювиальный.
 - Аллювиальный.
 - Смешанный.
- Для этих грунтов характерно **покровное залегание**.

На многих картах выделяют покровные образования как генетический тип. Там обычно и присутствуют лессовые грунты. Однако эти слова нельзя назвать синонимами. Более того, этот термин используется неграмотно, ибо мы утверждаем, что он лежит сверху, но не говорим про генезис, а только про его положение.

- Для многих из них свойственна **просадочность** – **сингенетическая** или **эпигенетическая**.

Среди них выделяют **лессы** и **лессовидные грунты** (последние, в отличие от лессовых – непросадочные).

Особенности состава и строения лессовых грунтов:

- Однородность толщ, слоистость выражена неотчетливо.
- Присутствие в разрезах погребенных почв или гумусированных прослоев.
- Могут присутствовать прослой песка, гравийно-галечного материала.

- Характерно наличие макропор и пустот органического происхождения, макропоры имеют вертикальное направление.
- Столбчатая отдельность в верхней части естественных обнажений.
- Наличие горизонтов конкреций карбонатов, сульфатов, гипса и др.

Другие особенности состава и строения:

- Плотность лессовых грунтов – 1,33-2,03 г/см³ в зависимости от влажности.
- Невысокие характеристики пластичности – обычно 4-18, редко выше.
- Низкая водопрочность – грунту характерно быстрое размокание и легкое размывание (это часто затрудняет строительные работы на берегах).
- Водопроницаемость обычно менее 0,5 м/сут, и она существенно выше в вертикальном направлении.
- Сжимаемость разная – от 0,05 до 0,7 МПа.
- Наибольшие показатели деформационных свойств проявляются при влажности менее 17-18%.
- $\varphi = 5-31^\circ$
- $C \leq 0,05$ МПа.
- В водонасыщенном состоянии могут обладать плывунными свойствами.

В разных географических районах у лессов разная просадочность.

Пункт	Коэффициент относительной просадочности	Пункт	Коэффициент относительной просадочности
Одесса	0,05—0,015	Грозный	0,067—0,12
Херсон	0,05—0,09	Нальчик	0,044—0,08
Никополь	0,056—0,122	Сумгаит	0,041—0,099
Днепропетровск	0,034—0,08	Петропавловск	0,03—0,06
Запорожье	0,07—0,11	Чимкент	0,05—0,10
Кременчуг	0,04—0,08	Алма-Ата	0,03—0,07
Пенза	0,044—0,109	Тюмень	0,045—0,085
Саратов	0,04—0,083	Барнаул	0,045—0,095
Куйбышев	0,04—0,06	Новосибирск	0,03—0,08
Волжский	0,04—0,08	Кемерово	0,03—0,09
Ростов-на-Дону	0,04—0,06	Красноярск	0,04—0,08
Таганрог	0,043—0,074		

Рисунок 16.5. Таблица максимальных значений коэффициента относительной просадочности лёссовых пород в различных регионах России и СНГ.

Просадочность может быть эпигенетической. И как показывают исследования, есть два подобных механизма формирования просадочности:

- 1) **Циклическое набухание усадка** (когда набухание немного больше усадки). Изменяется характер взаимодействия частиц. При таком случае мы имеем прогрессирующий рост пористости и получаем недоуплотненное состояние.

- 2) **Циклическое промерзание и оттаивание.** При этом процессе увеличивается и сокращается объём пор. Если объём пор увеличивается больше чем сокращается, то данный механизм реализуется и формируются просадочные грунты.

Важно помнить, что все эпигенетические грунты – именно лессовидные, а не лессовые.

Глинистые грунты

Характеристики глинистых грунтов:

- Представляют собой связанные дисперсные грунты, содержащие не менее 3% глинистых частиц.
- Проявляют набухаемость и пластичность при увлажнении.
- Абсолютно преобладают среди осадочных пород, имея при этом разный генезис.
- Подразделяются на:
 - Глины.
 - Суглинки.
 - Супеси.
- Содержит глинистые минералы, обуславливающие специфические свойства глинистых грунтов.
- Часто являются недостаточно надежными основаниями для ответственных сооружений.

Определяющими свойствами для физико-механических свойств грунтов являются структурные свойства. Для этих грунтов также характерны реологические, а для молодых пород – и тиксотропные свойства.

Состояние породы (консистенция)	Глины		Суглинки		Супеси	
	φ°	C , МПа	φ°	C , МПа	φ°	C , МПа
Твердая	22	0,100	25	0,060	28	0,020
Полутвердая	20	0,060	23	0,040	26	0,015
Тугопластичная	18	0,040	21	0,025	24	0,010
Мягкопластичная	14	0,020	17	0,015	20	0,005
Текучепластичная	8	0,010	13	0,010	18	0,002
Текучая	6	0,005	10	0,005	14	0,000

Рисунок 16.6. Таблица ориентировочных расчетных показателей сопротивлени сдвигу глинистых грунтов.

Глинистые грунты обладают различной деформируемостью и прочностью. Здесь (см. рис. 16.6) показана зависимость характеристик грунта от его состава. При уменьшении уплотненности и увеличении влажности грунта уменьшаются его угол внутреннего трения и сцепление.

Органоминеральные связные грунты:

Виды органоминеральных связных грунтов:

Илы:

- Молодые недоуплотненные осадки современных водоемов, не завершившие стадию диагенеза (это даже не порода, с геологической точки зрения - это осадок).
- Имеют морской или континентальный генезис.
- Бывают супесчаные, суглинистые, глинистые.
- Минеральную часть илов составляют силикаты или карбонаты.
- Органическую часть илов составляют отмершие остатки и продукты жизнедеятельности организмов.

В илах много органики, а также много живого компонента, который занят переработкой этой самой органики.

Предпочтительнее изучать илы в условиях естественного залегания.

Свойства морских илов быстро меняются с глубиной залегания.

Морские бассейны	Глубина залегания, м	Число определений	Естественная влажность, %	Влажность на пределе текучести, %	Пористость, %	Потери при прокаливании, %	Содержание Сl, мг на 100 г
Баренцево море	0—2	120	45—40	37—32	61—53	2—3	401—357
	2—4		40—34	36—32	53—47	3—2	357—280
	4—10		34—32	30	47—45	2	250—106
Финский залив	0—2	175	240—180	185—160	87—82	23—10	750—650
	2—4		180—105	160—70	82—76	10—8	650—320
	4—10		105—80	70—65	76—68	8—2	410—320
Черное море	0—2	85	190—160	115—110	83—78	38—36	550—530
	2—4		160—110	110—85	78—70	36—25	540—530
	4—10		110—70	85—82	70—67	25—14	540—460

Рисунок 16.7. Изменение свойств морских илов в зависимости от глубины залегания.

Модули деформации илов очень низкие, требуются специальные методы при строительных работах (илы вынимают или же прикрывают засыпкой).

Нагрузка, МПа	Модуль деформации илов, МПа		
	супесчаных	суглинистых	глинистых
0,025—0,10	2,34	1,23	0,26
0,025—0,15	3,06	1,52	0,36
0,050—0,15	3,99	1,95	0,43

Рисунок 16.8. Модуль деформации илов.

Основные особенности илов:

- Высокая пористость.
- Высокая влажность.
- Водонасыщенные системы.
- Коагуляционные структуры.
- Микростроение илов ячеистое или скелетное.

Ил всегда требует специальных методов подготовки при закладке основания сооружений.

Лекция №17. Царство природных и техногенных грунтов.

Сапропелевые грунты

Часто ошибочно ими называют любой органогенный грунт.

Тем не менее, они содержат в себе более 10% органогенного вещества по массе, что очень много.

- **Сапропелевые грунты** – это молодые органоминеральные отложения озёр, содержащие более 10% органического вещества.
- Сапропели образуются в водной среде, преимущественно из водных растений и животных
- Наиболее распространены в лесной зоне.
- Мощность может достигать 15-20 м.
- Представляет собой полидисперсную систему с преобладанием пылеватых частиц.
- Состоят из минеральных (кварц), органических и органоминеральных соединений.

По содержанию органического вещества **подразделяются** на:

- **Минерализованные** (<30% органического вещества) – обычно песчаные или глинистые.
- **Органоминеральные** (30-50%) – кремнеземистые или известковые.
- **Минерально-органические** (50-70%) – диатомовые или смешанно-водорослевые.
- **Органические** (органического вещества более 70%).

Залежи сапропелевых грунтов обычно слоистые, в нижней части они более минерализованы.

Естественная влажность составляет: от 100-350% у минерализованных до 1600-30000% у органических.

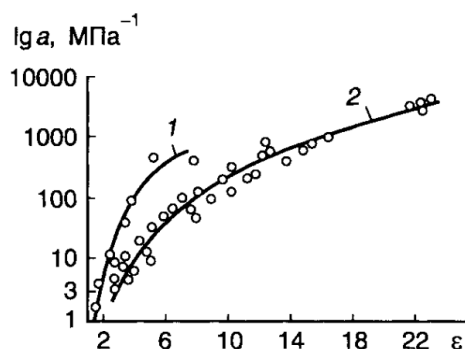


Рисунок 17.1. Зависимость коэффициента сжимаемости сапропелей от коэффициента пористости, где 1 – известковый сапропель, 2 – водорослевый сапропель.

Зависимость коэффициента сжимаемости сапропелей от коэффициента пористости выглядит следующим образом: с увеличением коэффициента пористости сжимаемость резко увеличивается.

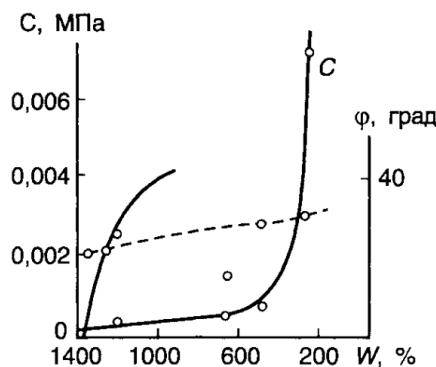


Рисунок 17.2. Зависимость сцепления (C) от угла внутреннего трения (φ) сапропелей от влажности.

Для сапропелей также характерна зависимость прочностных характеристик от влажности. Показатель сцепления резко меняется и начинает расти на пороге 500-600%.

Особенности свойств сапропелей:

- **Низкая плотность скелета:** 0,05-0,3 г/см³
- **Очень высокая пористость:** 72-92% у минерализованных, 94-98% - у органических, преобладают ультрапоры.
- **Не набухают**, дают усадку до 95%% исходного объема (при высушивании), при этом пористость падает в 6-9 раз.
- **Пластичны:** $I = 120-650$.
- **Очень сильно сжимаемы:** коэффициент принимает значения от 3-10 до 500-3000 МПа⁻¹.
- **Обладают очень низкой прочностью:** $c = 0,0002-0,007$; $\varphi = 15-29^\circ$.
- **Легко разжижаются** (плыунные грунты из разряда истинных плывунов), обладают выраженными тиксотропными свойствами.

Заторфованные грунты

Эта категория является промежуточной между минеральными и органическими грунтами.

Характеристики заторфованных грунтов:

- Заторфованные грунты всегда являются **связными грунтами**, даже если минеральная их часть – песок.
- По содержанию растительных остатков **подразделяются** на:
 - Слабозаторфованные.
 - Среднезаторфованные.

○ **Сильноторфованные.**

- Очень часто торфованные грунты составляют верхнюю часть разреза дна болот. В таком **надо давать специальное название**: сильноторфованный суглинок, сильноторфованная супесь и т.д.
- Торфованные грунты занимают промежуточное положение между связными минеральными грунтами и торфом.

Торф относится к органическим связным грунтам, которые включают в себя органические илы и собственно торфа.

Торф

Торф – геологически молодая, не прошедшая стадии диагенеза горная порода, образующаяся в результате отмирания и разложения болотной растительности в условиях избыточного увлажнения и недостатка кислорода.

Торф служит хорошим естественным удобрением, поскольку содержит в себе перегнившие растения. Кроме того, торф – это отличное топливо, даже несмотря на то, что он водонасыщен.

Основная опасность, связанная с торфом – это его горение. Чаще всего торф горит в результате мелиорации, когда слишком большие участки торфа осушаются. Торф горит хорошо и долго, дает много тепла, но его сложно разжечь. Основная трудность заключается в том, что горение торфа – это не пожар как таковой, торфа тлеют на глубине, поэтому погасить такой торфяник может оказаться практически невозможно.

Генезис торфов:

- **Озерно-болотные** – образуются на междуречных равнинах и неплодородных террасах при зарастании водоемов или заболачивании.
- **Аллювиально-болотные** – образуются на пойме в результате болотообразования при участии при участии аккумулятивной деятельности рек.

Острова лесов внутри болот – это остатки, лес поглощается болотом. Образуется влаголюбивая растительность, которая при разложении долго гниет.

Торфа различают по степени разложения и зольности.

Если сжечь торф, останется зола, которая органикой уже не является. При отсутствии в торфе органических остатков его называют сильноразложившимся.

По степени разложения R выделяют:

- Слаборазложившиеся торфа ($R = 5-20\%$).
- Среднеразложившиеся торфа ($R = 20-30\%$).
- Хорошо разложившиеся торфа ($R = 30-40\%$).
- Сильноразложившиеся торфа ($R > 40\%$).

Аллювиально-болотные низинные торфа обычно средне- или хорошо разложившиеся, средне- и высокозольные (18-40%).

Озерно-болотные обычно нормально- и среднезольные (как правило, менее 18%).

Особенности состава торфов:

- Высокая динамичность состава.
- Дисперсность частиц.
- Зольность – минеральные компоненты.
- От гумуса – до древесины.
- Много газов (метан, водород, аммиак, сероводород, углекислый газ).

Влажность торфов:

- Весовая (до 1000%).
- Объёмная (95-98%).
- Зависит от степени разложения.
- Преобладает влажность капиллярная и иммобилизованная.

Влажность зависит от степени разложения торфа, с увеличением разложения влажность понижается (см. рис. 17.3).

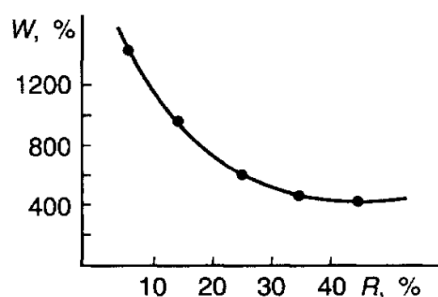


Рисунок 17.3. Кривая зависимости влажности нормальнозольных торфов от степени разложения.

Влажность снижается, поскольку пустот в грунте становится меньше.

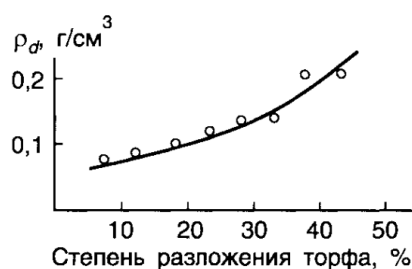
Строение торфов:

- Обычно слоистые.
- Структурно-текстурные особенности связаны с ботаническим составом и степенью разложения.
- С увеличением степени разложения торфам становится характерна комковатость.

Свойства торфов:

- Низкая плотность, зависит от степени разложения и зольности.
- Плотность верховых торфов обычно составляет около 1, а низинных – до 1,2 г/см³.
- Плотность скелета составляет менее единицы (0,07-0,2 г/см³), она зависит от степени разложения.
- Пластичность определяется степенью разложения.
- Высокая объёмная усадка является частично обратимой.
- Низкая водопроницаемость (0,1-2 м/сут) из-за высокой гидрофильности.

1:



2:

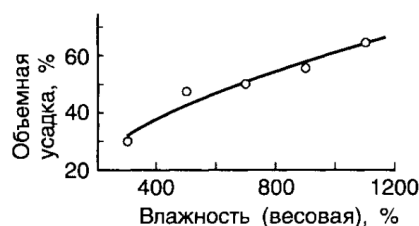


Рисунок 17.4. Зависимости прочностных свойств торфа от степени разложения (1) и от влажности (2).

Прочностные свойства торфа зависят от генезиса, степени разложения, плотности и влажности.

Грунт	Степень разложения, %	Коэффициент уплотнения (сжимаемости), МПа ⁻¹
Торф	0—10	30—80
	10—25	25—30
	25—40	15—25
	40 и более	7,5—1,5
Торфяной ил	—	2,5—1,5

Рисунок 17.5. Таблица ориентировочных величин коэффициента уплотнения для торфов разной степени разложения.

Торфа могут быть погребенными (они более древние, слежавшиеся, уплотненные).

Влажность торфа, %	Угол внутреннего трения, град	Сцепление, МПа
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
более 1500	0—5	0,004—0,01

Рисунок 17.6. Таблица ориентировочных значений угла внутреннего трения и сцепления торфов при различной их влажности.

При больших влажностях сцепление отсутствует, а угол трения очень мал.

Уплотнение во времени возникает в результате микробиологических процессов.

Инженерно-геологические особенности почв.

Для полного представления о классификации грунтов необходимо также кратко рассмотреть почвы как разновидность грунтов.

Инженерно-геологические особенности почв:

- **Почва – верхний горизонт разреза**, измененный под влиянием природных и техногенных факторов.
- Этим изменениям способствует **выветривание** и собственно почвообразование.
- **Своеобразие состава** – сочетание минеральных и высокодисперсных органических соединений (эти органические соединения определяют важнейшее свойство почв для человека – плодородие).

Почва не может быть основанием для сооружений. При строительных работах почва обычно выкапывается и обустривается котлован. Если эта почва плодородная, она вывозится в другое место для её дальнейшей эксплуатации.

- **Зональность строения**, характеризующаяся наличием выраженных генетических горизонтов.
- **Наличие макроструктуры.**

Свойства с глубиной меняются довольно существенно

Почва содержит:

- **Органические остатки** разной степени разложения.
- Часто в почве наблюдается **повышенное содержание водорастворимых солей** в отдельных горизонтах – это означает изменение свойств и агрессивность почв.

Для почв характерна высокая динамика состава и свойств. Динамические процессы изменения в почвах происходят достаточно быстро по сравнению с другими грунтами.

Царство техногенных грунтов.

Характеристики царства техногенных грунтов:

- Включает скальные, дисперсные и мёрзлые грунты.
- Группы:
 - Скальные и полускальные грунты.
 - Связные и несвязные грунты.
 - Промороженные грунты.
- Подгруппы:
 - Природные образования, измененные в условиях естественного залегания.
 - Природные перемещённые образования: насыпные, намывные, образованные взрывом.
 - Антропогенные образования (природоподобные образования, созданные человеком как побочный продукт его деятельности).

Техногенные грунты весьма разнообразны, их разнообразие часто ставит проектировщиков в тупик.

Царство техногенных грунтов подразделяется на таксоны по следующим признакам:

- Классы выделяются по природе структурных связей.
- Подклассы выделяются по структурам грунтов, образованных контактами разного типа.
- Типы выделяются по генезису.
- Подтипы выделяются по методам создания или преобразования.
- Виды выделяются по направлениям изменений грунтов, в которых различаются грунты:
- Улучшенные.
- Ухудшенные.
- Искусственно образованные.
- Измененные (самопроизвольно, без дополнительной характеристики качества таких изменений).
- Подвиды выделяются по особенностям технологии преобразования или создания с учетом состава.
- Разновидности выделяются по количественным показателям состава, строения, состояния и свойств грунтов, как и природные грунты.

Основные факторы формирования состава и свойств техногенных грунтов:

- Способ и технологии создания.
- Водно-тепловой режим (так же как и для природных).
- Химический состав вод.
- Возраст (не геологический, а в физическом времени).
- Улучшенные грунты (= искусственно образованные).
- Ухудшенные грунты.

Класс скальных и полускальных техногенных (искусственных) грунтов.

Типы скальных грунтов и методы их мелиорации:

- Улучшенные скальные и полускальные грунты.
- Скальные и полускальные инъекционно закрепленные грунты:
 - Цементизацией.
 - Глинизацией.
 - Битумизацией.
 - Силикатизацией.
 - Известкованием.
 - Обработкой карбамидными смолами.

Все это – **технические методы мелиорации** грунтов. Так много методов нужно в силу того, что они все имеют свои ограничения. Например, силикатизация обычно применяется именно к дисперсным грунтам, чтобы повлиять на их просадочность.

- Скальные и полускальные термически упрочненные грунты:
 - Термическим упрочнением.
 - Электроплавлением.
- Полускальные электрохимические закрепленные грунты.

Лекция №18. Массивы грунтов.

Причина ухудшения свойств и состава грунтов с точки зрения их как основания инженерных сооружений.

Универсальный фактор для всех грунтов – изменения напряженного состояния. Разгрузка природных напряжений является негативным фактором.

1) Скальные и полускальные техногенно ухудшенные грунты.

Причины ухудшения:

- Изменение напряженного состояния.
- Термически измененные скальные и полускальные грунты (например, по периметру полостей при подземной газификации углей и серы).

В условиях массивов скальных и полускальных грунтов изменение напряженного состояния может быть связано не только с экскавациями, но и со взрывами.

Также влияние оказывают термические изменения (например, при подземной газификации угля происходит горение с сопутствующим возникновением трещиноватости).

Эти вышеобозначенные процессы могут происходить совместно. Напряженное состояние изменяют и полости, созданные в промышленных целях. Такой же эффект можно наблюдать и при выемке пород.

Если в случае проходки котлована нужно достаточно быстро возводить сооружение, то тогда до начала нулевого цикла обычно недобирают полметра. Это делается чтобы минимизировать простаивание грунта.

2) Полускальные антропогенно образованные грунты.

Эта подгруппа отсутствует в общей классификации грунтов ГОСТ 25100-2011. Её представляют:

- **Солеотходы** отвалов калийных соединений.
- **Золоцементогруппы** – бывший золоотвал (само по себе техногенное образование, а потом на нем решили что-то построить, и его укрепляют цементацией)

Класс дисперсных техногенных грунтов.

1) **Техногенно-измененные несвязные грунты** – это грунты, которые изменены в условиях естественного залегания.

Они могут быть уплотнены:

- **Механическим уплотнением** (поверхностным или глубинным).
- **Водопонижением.**
- **Кольматацией** (фильтрацией через пористую среду).

- Составлением **оптимальных гранулометрических смесей**.
- **Армирование**. Армированные грунты – это по своей сути не грунты, а массив, уплотненный человеком.

2) Техногенно-переотложенные несвязные грунты – это грунты, перемещенные из своего первоначального местоположения.

Они представлены следующими видами:

- **Насыпные** грунты – планомерно возведенные насыпи (площадная отсыпка под строительство) и отвалы
- **Намывные** грунты – земляные сооружения, бурты, гидроотвалы.

Работы проводятся механически или взрывом. Или намывом.

3) Антропогенно образованные несвязные грунты.

Имеют несколько разновидностей:

- **Отвалы и гидроотвалы** шлаков металлургического производства (отличаются только способом их удаления).
- **Золошлаки** (образуются на ТЭС).
- **Шламы** хвостохранилищ (хранилищ шлаков, отходов) горнообогатительных производств.

Все антропогенно образованные несвязные грунты состоят из веществ, не содержащихся в земной коре.

Связные техногенные грунты.

Техногенно-измененные связные грунты:

- Инъекционно-закрепленные (из несвязных).
- Осушенные (осушение может быть самотечным, вакуумным, электроосмотическим).
- Уплотненные (трамбованием, взрывами, вытрамбовыванием, статической нагрузкой, замачиванием, гидровиброуплотнением).
- Армированные.
- Ухудшенные (они могут ухудшаться в результате изменения напряженных состояний, в результате изменения их плотности, и в результате изменения их влажности).

Техногенно-переотложные (перемещенные) связные грунты:

- Насыпные (насыпи, дамбы, плотины).
- Намывные.

Антропогенно образованные связные грунты:

- Твердые бытовые отходы (возникают на месте свалок, мусора).

- Культурные слои (геологическое образование, формируется в местах длительного проживания крупных человеческих сообществ).

Особенности культурного слоя:

В результате человеческой деятельности формируется слой грунта, отличный от того, что под ним, и от того, что над ним.

В местах проживания людей создается искусственный слой, в том числе из-за перемещения грунтов в результате строительства.

Особенно большой вклад в возникновение культурного слоя происходит в период военных действий, когда здания разрушаются. Свой вклад в него также вносят выброшенные предметы обихода, строительство улиц, каналов и канализаций, кладбища.

Антропогенный слой часто таит большие проблемы, он непредсказуем. Он может иметь до 10-15 метров в глубину.

Коль скоро он имеет такую огромную мощность, то вынуть его нельзя. В историческом центре города строительство всегда ведется на культурном слое, и это сложнее, поскольку приходится учитывать его особенности и уплотнять, не вынимая.

Культурный слой представляет основной интерес для всех археологов, это основное поле их деятельности.

Мерзлые техногенные грунты – получены в результате искусственного замораживания грунтов, целенаправленного, для обеспечения работы сооружений, выделяющих значительное количество тепла.

Класс мерзлых техногенных грунтов.

Формируется благодаря таким факторам, как:

- **Замораживание грунтов.**
- **Намораживание искусственных льдов** (в северных морях таким способом намораживают даже временные искусственные острова, которые существуют по несколько лет).

Иногда намораживание осуществляется с помощью укладки ледяных глыб и их смерзанием («кабаны»).

Кроме того, к техногенным мерзлым грунтам относятся **искусственно промерзшие грунты** (в результате деятельности человека).

Ухудшенные мерзлые грунты – это грунты растепленные (в результате хозяйственной деятельности повышается его температура). При разных температурах свойства любых грунтов, в том числе и техногенных, отличаются.

Массивы грунтов.

Испытания обычно проводятся на образцах, однако в конечном счете при проектировке сооружений приходится иметь дело с естественным массивом. Это другая задача, поскольку свойства грунта в образце и массиве отличаются.

Отличия массивов грунтов от гипотетического образца:

- Нарушение природного сложения образца при отборе, транспортировке, хранении, установке.
- Нарушение природного напряженно-деформированного состояния грунта.
- Изменение состава и соотношения компонент грунта.

Обобщив вышесказанное, можно сделать вывод, что в массиве грунте работает не так, как в образце и не так, как мы себе представляем. Причиной этому является априори неизвестное состояние грунта.

При изъятии образца могут быть утрачены некоторые особенности свойств грунта. Нет уверенности в том, что, добиваясь нужного отклика в образце при испытаниях, мы добиваемся отклика грунта во всем объеме массива.

Особую проблему составляют органоминеральные грунты (такие, как ил), где много биоты, поскольку с течением времени состав такого грунта быстро изменяется. Деятельность биоты даже за коротких период времени может привести к изменению соотношения компонентов.

Зависимость скорости продольных волн от объема исследуемого грунта (см. рис. 18.1) наглядно показывает разницу между образцом и массивом в принципе.

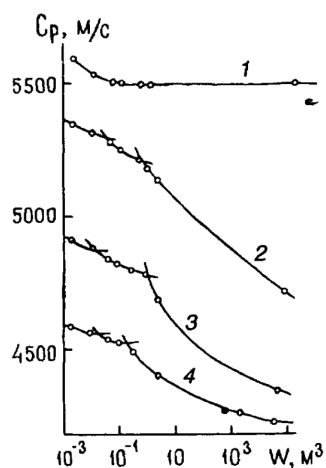


Рисунок 18.1. Зависимость скорости продольных волн от объема исследуемого грунта.

Под номерами 3 и 4 представлены образцы грунта, а под номерами 1 и 2 – зависимость в массиве соответственно. Очевидно, что скорость закономерно снижается с увеличением объема грунта.

Понятие о массиве грунтов.

Для работы с грунтами и их исследованием были введены следующие понятия:

1) Массив горных пород – геологическое тело, образующее геологическую структуру или её часть, сформировавшееся в определенной геолого-структурной и палеогеографической обстановке и характеризующееся присущими ему геологическими, гидрогеологическими и инженерно-геологическими особенностями.

В геологических границах массива горных пород посчитать основание невозможно. Поэтому существует другое существенно отличное понятие – массив грунтов.

2) Массив грунтов (инженерно-геологический массив) – часть земной коры, находящаяся в сфере воздействия инженерных сооружений, исследуемая с целью проектирования и последующей эксплуатации сооружений.

3) Сфера воздействия – масса горных пород, в пределах которой могут произойти изменения естественных условий в процессе строительства и эксплуатации сооружений.

Существует также понятие «**грунтовая толща**» – синоним понятия «массив грунта».

Массивы более разнообразны чем грунты – если взять число возможных сочетаний из разных грунтов, то получится почти бесконечное множество массивов.

Основные факторы, определяющие поведение массивов грунтов:

1. Вещественный состав массива грунтов.

- Массивы могут быть сложены разными грунтами и типами грунтов – скальных, дисперсных, мёрзлых
- Присутствие растворимых компонентов в составе массивов.
- Влажность грунтов.
- Присутствие глинистого и органического вещества.
- Льдистость.

2. Выветрелость массива:

- Зональность кор выветривания.
- Площадные и линейные коры выветривания.

3. Трещиноватость массива:

- Первичная.
- Вторичная.

Этот фактор важнее для скальных и полускальных грунтов, но он имеет значение и для других типов.

4. Газонасыщенность массива.

- Особенно много газов в угленосных породах.
- Метан, углекислый газ, азот, водород.

Если газ под давлением, то он снижает сопротивление пород внешним нагрузкам.

5. Обводненность массива.

Влияет на:

- Свойства грунтов
- Напряженное состояние грунтов.
- Растворение подземными водами.

Подземные воды могут быть агрессивны к строительному материалу, что также необходимо учитывать при проектировке.

6. Температура и фазовый состав жидкого компонента.

7. Анизотропия свойств массива грунтов (меняет ширину и глубину зоны влияния сооружений).

8. Неоднородность строения и свойств.

Она проявляется как:

- Степень неоднородности массива.
- Степень изменчивости.



Рисунок 18.2. Диаграмма структурной неоднородности горных пород в массиве.

Чем больше массив по площади и объёму, тем менее он однороден. В целом неоднородность в массиве – явление неизбежное.



Рисунок 18.3. Режим инженерно-геологической изменчивости грунтов: нестационарная скачкообразная зависимость (1), стационарная (скачкообразная) зависимость (2), квазифункциональная

Также различные показатели грунтов имеют тенденции к изменению в зависимости от окружающих условий. Инженерно-геологическая изменчивость грунтов может носить различный характер в зависимости от условий залегания (см. рис. 18.3), что значительно отражается на характеристиках массива.

Напряженно-деформационное состояние массива.

Основные причины напряженно-деформационного состояния:

- Поле сил гравитации.
- Напряженное состояние самого грунта в массиве.
- Влияние реальных деформаций на напряжение грунта в массиве.

В разных объёмах массива напряженное состояние может быть простым или сложным.

Реально возникающая деформация влияет на напряжение, поскольку исходное напряженное состояние таким образом меняется. Следовательно, без сооружений, с сооружениями и через некоторое время после постройки напряженные состояния разные.

Классификация массивов.

У массивов нет общепринятой классификации, поскольку в ней нет необходимости и её слишком сложно создать. Однако для отдельных географических регионов существуют разные наборы типов массивов.

Принципы создания таких группировок:

- Понятность принципов классифицирования.
- Вписанность в общую классификацию инженерно-геологических структур.

Важно, что в основу положены те же логические принципы что и в основу классификации грунтов, хотя признаки будут отличаться.

Массивы техногенных грунтов.

Под **массивом техногенных грунтов** понимается объём грунтов, в пределах которого в условиях их естественного залегания произошло целенаправленное или случайное (побочное) изменение их состава, состояния и свойств, существенное для инженерно-хозяйственной деятельности человека. Таким образом, границей массива техногенно преобразованных природных грунтов является воображаемая поверхность произвольной конфигурации, за пределами которой показатели состава, состояния и свойств находятся в пределах их вариации для неизмененных грунтов.

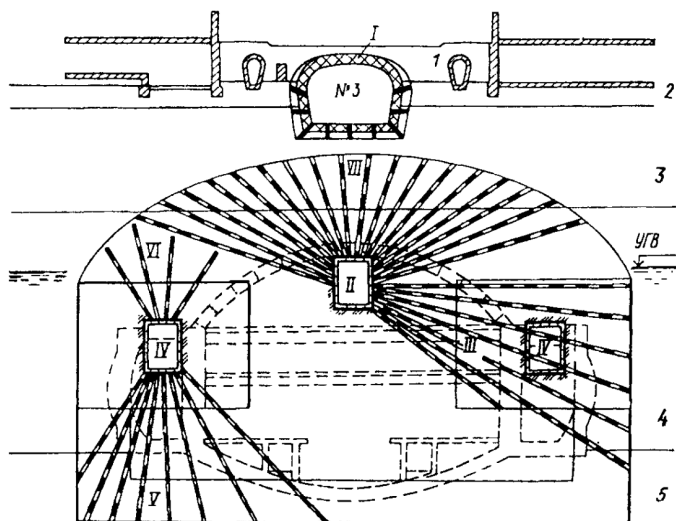


Рисунок 18.4. Схема закрепления грунтов при строительстве станции метро «Обер» в Париже. 1 – культурный слой; 2,3 – аллювиальные отложения разного возраста; 4 – мергели с включением щебня; 5 – известняки лютецкого яруса. I – создание рубашки вокруг служебного тоннеля; II – центральная штольня; III – закрепление грунта в районе боковых штолен из центральной штольни; IV – боковые штольни в закрепленном грунте; V – создание водонепроницаемой завесы нагнетанием глинистого раствора; VI, VII – закрепление верхней части массива инъекцией силикагеля. Техногенно преобразованные скальные грунты сформированы в пределах зон III, V, VI, VII

Техногенно созданные грунты.

Под **массивом техногенно созданных грунтов** понимается непрерывный объём перемещенных горных пород, твёрдых промышленных или бытовых отходов, сформированный каким-либо одним способом и рассматриваемый в качестве основания, среды или материала для возведения инженерных сооружений.

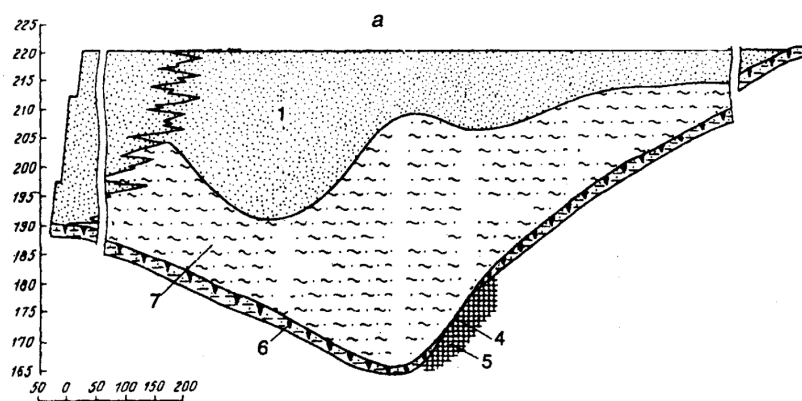


Рисунок 18.5. Разрез массива грунтов гидроотвала Курской магнитной аномалии. 1 – намывные пески с прослоями глинисто-меловых паст; 4 – щебень, дрсва, мел с глинистым заполнителем; 5 – мел трещиноватый; 6 – покровный суглинок; 7 – суглинисто-меловая пкаста с прослоями песков.



Рисунок 18.6. Схемы классификации грунтовых толщ на примере Западной Сибири – по признакам состава и строения (слева) и по признакам состояния (справа).

Обобщив, можно сделать вывод, что классифицирование массивов может быть сформировано по разным признакам – как например, по составу или же по состоянию (см. рис. 18.6). Главное правило при этом заключается лишь в том, чтобы классифицирование было логичным.



ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ
М.В. ЛОМОНОСОВА

teach-in
Л Е К Ц И И У Ч Е Н Ы Х М Г У