

## **Лекция №1.**

### **Распространение и основные свойства лессовых грунтов.**

#### **Состав и основные физические характеристики лессовых грунтов.**

#### **Просадочные свойства. Показатели прочности грунта.**

#### **Модуль общей деформации и коэффициент Пуассона лессовых грунтов.**

### **I. РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЛЁССОВЫХ ГРУНТОВ**

Лессовые грунты являются одними из наиболее распространенных разновидностей континентальных четвертичных отложений. На земном шаре они покрывают большие территории, встречаясь практически на всех континентах.

Лессовые грунты служат основаниями фундаментов на Украине, в Белоруссии, Молдавии, Закавказье, Средней Азии, Нечерноземной зоне, Западной Сибири, на Северном Кавказе, в других районах .

Значительное распространение лессовых грунтов в Европе (Румыния, Венгрия, Болгария, Чехословакия, Германия, Франция, Австрия). В Северной Африке лессовые грунты наиболее часто встречаются в Алжире и Марокко, а на Азиатском континенте - в Китае, Афганистане. Большие территории представлены отложения лессовых грунтов в Северной и Южной Америке (в США - штаты Канзас, Иллинойс, Айова, Миннесота, бассейны рек Миссури и Миссисипи; в Канаде, Аргентине, Бразилии, Уругвае).

Распространены лессовые грунты и на Австралийском континенте.

Еще в XVIII веке жители Рейнской долины, где залегают глинистые породы со значительным содержанием пылеватых частиц, обратили внимание на то, что при замачивании происходит как бы "растворение" этих грунтов. Процесс их взаимодействия с водой более сложный. Но именно благодаря описанному свойству растворяются (Lössen-немецкое) эти грунты получили название "лессовых".

#### **I.I. Состав и основные физические характеристики лессовых грунтов**

В ГОСТ 25100-95 дано определение лессового грунта, который по гранулометрическому составу содержит более 50 % пылеватых (размером 0,05. ..0,005 мм) частиц, легко- и средне-растворимые соли в карбонаты кальция, однородный, преимущественно макропористый; в маловлажном состоянии способен держать вертикальный откос; при замачивании маловлажный лессовый грунт дает просадку, легко размокает и размывается, а при полном водонасыщении может переходить в плавучее состояние.

По литогическому составу лессовые отложения представлены в основном суглинками, реже - супесями, глинами. Принято различать типичный лёсс (первичные образования) и лессовидные породы (производные первичных образований). В строительстве используют общее определение "лессовые грунты" с подразделением на отдельные виды по гранулометрическому составу (супеси, суглинки и глины) и по числу пластичности.

В лессовых грунтах имеются различные по степени растворимости соли: труднорастворимые соли карбонаты (кальцит), среднерастворимые соли сульфаты (гипс), и легкорастворимые - галоиды (галит) и сульфаты (тенардит). Растворение солей в воде существенно зависит от режима движения поверхностных или подземных вод, их температуры и насыщенности растворенными солями.

Лессовый грунт по окраске изменяется от светло-палевого до темно-бурого цвета, содержат микро- и макропоры. Значительное количество макропор, размер которых превышает 0,5 мм. Суммарная пористость может достигать 60 %, чаще составляет 44...53 %. Л.Г. по коэффициенту пористости делят на: низкопористые при  $e$  до 0,8 и высокопористые при  $e > 0,8$ . Непросадочные разновидности лессовых грунтов имеют пористость менее 40 %.

Пористость грунта по глубине массива уменьшается, что связано с его обжатием нагрузкой от собственного веса. В отдельных случаях макропоры заполнены темным по окраске гумусом. В стенке котлована можно заметить вертикальные каналы (червеходы, кротовины - ходы землероев, остатки перегнивших растений и т.д.). Такая структурно-текстурная особенность Л.Г. предопределяет его механическую и фильтрационную анизотропность, повышенную водопроницаемость в вертикальном направлении по сравнению с горизонтальным.

При плотности в сухом состоянии  $> 1,6 \text{ т/м}^3$  лессовый грунт является практически непросадочным. При среднем значении плотности частиц грунта,  $\rho_s = 2,72 \text{ т/м}^3$  это соответствует пористости  $n = 41,2 \%$ . Поэтому при искусственном уплотнении лессового просадочного грунта стремятся довести его до плотности в сухом состоянии  $\rho_d = 1,6 \text{ т/м}^3$  и более.

Влажность  $W$  лессовых грунтов колеблется в широком диапазоне: в засушливых районах составляет 3...6, в районах с умеренным климатом - 15...20 %. На влажность лессового грунта оказывает существенное влияние глубина его залегания, наличие подземных вод и водонепроницаемость подстилающих слоев.

Влажность лессовых грунтов оказывает влияние на их прочностные и деформативные свойства. Важен прогноз влажностного режима в грунтовом основании для зданий I и II

классов на срок 25 и 15 лет с учетом сезонных и многолетних колебаний и степени потенциальной подтопляемости территории. Для зданий III класса можно не делать.

При проектировании зданий выделяют три возможных расчетных случая по вероятности замачивания грунтов основания.

**Первый** - природная влажность грунта  $W$  не превышает его влажности на границе раскатывания  $W_p$ . В период эксплуатации зданий, не оборудованных водонесущими коммуникациями и не имеющих мокрого технологического процесса, исключено интенсивное замачивание грунта поверхностными и подземными водами. Считают, что со временем, в период эксплуатации, влажность грунта возрастет в пределах площадки застройки до  $W = W_p$ . Проектирование оснований и фундаментов строго обосновано и осуществляют по прогнозируемой влажности грунта  $W = W_p$ .

**Второй** - природная влажность грунта основания достаточно велика и выше, чем на границе раскатывания  $W_p$ . Если дальнейший рост влажности грунта исключен или возможно кратковременное увлажнение в ограниченном объеме, то ее расчетное значение для последующего проектирования принимается по фактически установленной в период изысканий.

**Третий** - в процессе эксплуатации здания неизбежно замачивание лессового грунта до почти полного водонасыщения ( $S_r = 0,9...1,0$ ). Наблюдения показывают, что с течением времени происходит замачивание лессовых грунтов даже под зданиями, не оборудованными водонесущими коммуникациями - через неисправные отмостки, из-за подъема уровня подземных вод, растекания воды в основании из расположенных вблизи объектов с мокрым технологическим процессом.

В современных городах есть тенденция к подъему уровня подземных вод, формированию отдельных горизонтов верховодки и образованию куполов воды в местах значительных утечек. В жилой зоне Волгодонска по данным наблюдений треста "Ростовдон-ТИСИЗ" установлено повышение уровня подземных вод со средней скоростью около  $1...2$  м/год, а в центральной части Ростова-на-Дону - примерно  $0,3...0,5$  м/год.

Наибольший объем вода в грунты оснований поступает из водопроводных и канализационных сетей, системы теплоснабжения. От общего количества поступающей в грунт воды попадает из труб нового водопровода  $15...18\%$ , эксплуатируемого менее 50 лет -  $18...30\%$ , более 50 лет -  $30...50\%$

Например, из трубы водопровода из трещинки площадью  $2\text{ мм}^2$  вытекает вода со скоростью  $15\text{ л/ч}$ , то грунт с исходной степенью влажности  $S_r = 0,6$  и пористостью  $\Pi = 45\%$  за сутки будет увлажнен по площади  $1\text{ м}^2$  на глубину  $2\text{ м}$ , а за неделю на  $10...14\text{ м}$ .

Вывод - при проектировании промышленных и гражданских зданий и сооружений в следует исходить из экстремальных условий, связанных с неизбежным замачиванием лессового грунта основания.

## 1.2. Просадочные свойства

Наиболее характерное свойство лессовых грунтов, которое следует учитывать при проектировании и строительстве на них, это просадочность. Под **просадочностью** понимают свойство грунта, находящегося в напряженном состоянии от действия собственного веса или внешней нагрузки, проявлять дополнительные деформации при увлажнении. Они обусловлены коренным изменением структуры грунта при его замачивании вследствие сложного комплекса физико-химических явлений.

Процесс просадки рассматривают как сложное физико-химическое взаимодействие воды и грунта, которое снижает прочность связей и происходит сближением частиц за счет значительного объема пор в природном лёссе. Просадочные деформации происходят интенсивно, с вертикальными и горизонтальными перемещениями.

При действии нагрузки от фундамента в грунте возникают два противоположных процесса: процесс уплотнения и упрочнения и процесс релаксации внутренних связей - снижения величины структурного и цементационного сцепления. В зависимости от того, какой процесс преобладает, в грунте проходят деформации упрочнения или деформации незатухающего пластического течения.

Лессовые грунты неоднородны. Слагающие их частицы обладают значительной прочностью, которая во много раз выше прочности связей между ними.

Просадочные деформации лессового грунта определяют по результатам компрессионных опытов, в естественном и замоченном состоянии (рис. 1).

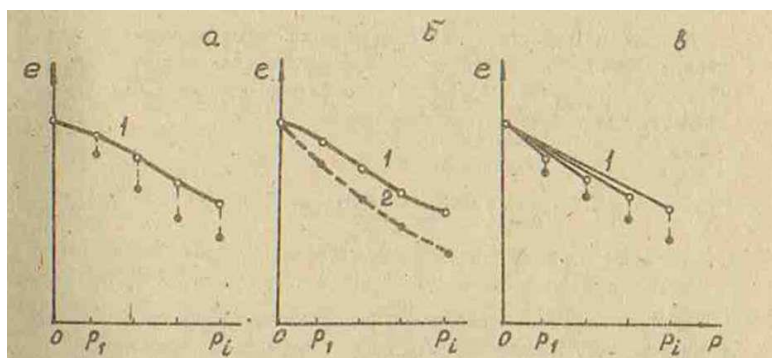


Рис. 1. Схемы испытаний лессовых грунтов на просадочность по методам одной кривой (а); двух кривых (б); ускоренному (в): 1 и 2 - соответственно природного и водонасыщенного грунтов

Эти испытания носят названия соответственно "сухой" и "мокрой компрессии". По результатам компрессионных испытаний определяют - относительную просадочность  $E_{sl}$ , которая существенно влияет на общее значение деформации просадочной толщи.

$$E_{sl} = (h_{n,p} - h_{sat,p}) / h_{n,g},$$

где  $h_{n,p}$  и  $h_{sat,p}$  – высота образца природной влажности и после полного водонасыщения при давлении  $P$ , равном вертикальному напряжению на рассматриваемой глубине от внешней нагрузки  $\sigma_{zp}$  и от собственного веса водонасыщенного грунта  $\sigma_{zg, sat}$ ;  
 $h_{n,g}$  - высота образца природной влажности при давлении  $P = \sigma_{zg}$ .

Зависимость представляют через коэффициенты пористости грунта  $e$ , соотв. высотам образца  $h_{n,p}$ ,  $h_{sat,p}$ ,  $h_{n,g}$

$$\varepsilon_{sl} = (e_{n,p} - e_{sat,p}) / (1 - e_{n,g}).$$

Наиболее часто определяют относительную просадочность  $E_{sl}$  в одометрах методами одной и двух кривых, для ускоренных определения пользуют совмещенный метод.

Метод одной кривой (рис. 1. а) - предварительно обжатый в компрессионном приборе образец лессового грунта природного сложения и влажности выдерживают под давлением  $P_1$  до условной стабилизации. Затем при этом давлении  $P_1$  грунт замачивают и по формуле вычисляют  $E_{sl}$ . Испытывают несколько образцов при вертикальных давлениях, обычно, при 0,05; 0,1; 0,2; 0,3 МПа и определяют  $E_{sl}$ .

Метод двух - одновременное испытание в одометрах компрессионных приборов двух образцов грунта, отобранных из одного монолита и имеющих одинаковую влажность и плотность. Один образец испытывают в состоянии природной влажности путем обжатия его вертикальным давлением, прикладываемым отдельными ступенями. Другой насыщают водой и затем нагружают ступеням до расчетного давления, равного сумме максимальных значений вертикальных напряжений от внешней нагрузки  $G_{zp}$  и собственного веса водонасыщенного грунта  $G_{zg, sat}$ . По результатам испытаний строят компрессионные кривые (рис.1, б).

Совмещенный метод основан на ускоренном испытании трех-четырёх образцов грунта, обжатых конечной величиной вертикального давления (без промежуточных ступеней), с последующим замачиванием под нагрузкой (рис. 1., в). Совмещенный метод приемлем для предварительной оценки просадочных свойств лессовых грунтов в начальной стадии проектирования.

По результатам лабораторных определений строят гранки зависимости относительной просадочности от вертикального давления (рис. 2).

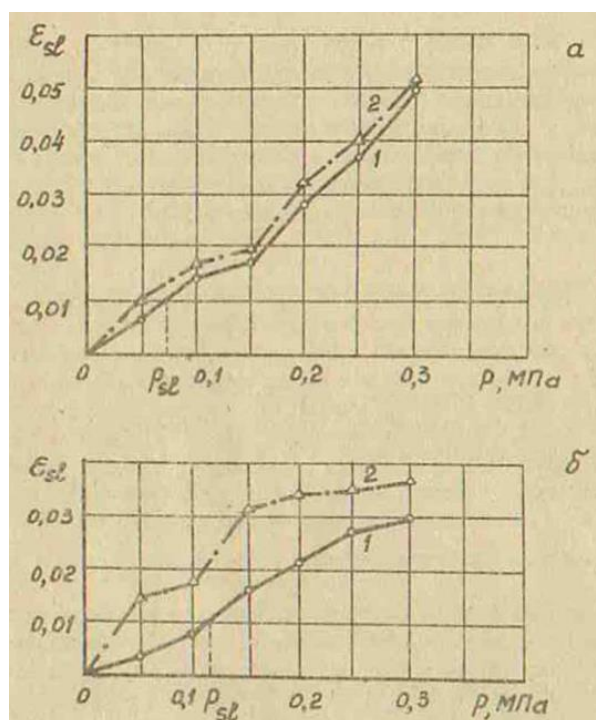


Рис. 2. Зависимость относительной просадочности лессового суглинка от вертикального давления, установленная по методам: 1 - одной кривой; 2 - двух кривых

Метод одной кривой моделирует работу грунта, увлажняемого при действии на него внешней нагрузки. Метод двух кривых отражает работу грунтового основания под гидротехническими сооружениями и под зданиями, основания которых увлажняют до начала строительства или в процессе их возведения.

Начальное просадочное давления  $p_{sl}$ , при условии  $P = p_{sl}$  начинают проявляться просадочные деформации и значение  $\epsilon_{sl} = 0,01$  (рис. 2).

Значения начального просадочного давления колеблются в зависимости от влажности и пористости лессовых грунтов: в Душанбе в диапазоне 0,01...0,03 МПа, Грозном - 0,04...0,07, Запорожье - 0,07... 0,09, Никополе - 0,10...0,12 . в Ростовской области начальное просадочное давление изменяется в диапазоне - 0,04...0,15 МПа.

### 1.3. Показатели прочности грунта

Показатели прочности грунта - удельное сцепление  $C$  и угол внутреннего трения  $\Phi$ .

Прочность пылевато-глинистых грунтов определяет активность и число связей между частицами. На ранней стадии формирования грунта его прочность обусловлена действием межмолекулярных сил частиц, которое проявляется в виде сцепления. Это сцепление, названное первичным, зависит от плотности осадка, слагающего грунт. В результате соединения частиц в

агрегаты и их цементации происходит вторичное сцепление упрочнения, что способствует "консервации" неуплотненного состояния лессового грунта.

Дисперсность грунта обуславливает проявление внутреннего трения при нарушении сплошности среды, связанным с относительным смещением частиц.

Прочность пылевато-глинистых грунтов обусловлена влиянием первичного сцепления и сцепления упрочнения, и сил внутреннего трения. Вследствие незначительной начальной плотности лессовых грунтов силы первичного сцепления невелики, основное значение приобретают сцепление упрочнения и силы внутреннего трения.

Показатель прочности грунтов - их сопротивление сдвигу, зависящее от физических свойств и напряженного состояния в образце или основании.

$$T = P \operatorname{tg} \varphi + C,$$

где  $C$  – удельное сцепление,  $\varphi$  – угол внутреннего трения,  $T$  – сопротивление грунта сдвигу,  $P$  – нормальное давление.

При замачивании лессовых просадочных грунтов, в отличие от обычных пылевато-глинистых, происходит существенное уменьшение их удельного сцепления и небольшое снижение сил трения. Такая особенность лессового грунта объяснена его составом, который включает около 50...70 % пылеватых частиц. Которые, занимая по размерам промежуточное положение между песчаными и глинистыми частицами, обладают существенными силами трения даже в условиях водонасыщения.

#### **1.4. Модуль общей деформации и коэффициент Пуассона лессовых грунтов**

Модуль деформации грунта является коэффициентом пропорциональности между напряжениями и общими деформациями (упругими и остаточными). Большую часть общей деформации лессовых грунтов составляют остаточные деформации (до 80...90 %).

При одном давлении, чем выше степень водонасыщения грунта, тем большую часть составляют остаточные деформации и меньшую - упругие.

Значения модуля общей деформации лессового грунта изменяются в широком интервале, т.к. существенно зависят от исходной влажности и пористости грунта, и от диапазона давлений. Например, при увлажнении лессовидных суглинков Ростова-на-Дону, имеющих в природных условиях степень влажности 0,4...0,5, модуль общей деформации уменьшается с 15...16 до 2...3 МПа. Изменение модуля деформации лессовых грунтов может быть в пределах 1...40 МПа. В современных методах расчета основания используют коэффициент относительной поперечной деформации грунта  $V$  (коэффициент Пуассона). В лессовых грунтах коэффициент Пуассона является переменной величиной.

При  $S_r$  до 0,5  $V = 0,30$ , при  $S_r$  от 0,5 до 0,8  $V = 0,35$ , при  $S_r$  от 0,8 до 1,0  $V = 0,40$ .