

## ЛЕССОВЫЕ ГРУНТЫ И ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ИХ ПРОСАДОЧНЫХ СВОЙСТВ

Е.В. Пантюшина

*В статье приведены основные отличия лёссовых грунтов по составу, структурно-текстурным признакам и механическим свойствам. Рассмотрены инженерные методы устранения просадочных свойств лёссовых оснований.*

*Ключевые слова: лёсс, просадка, грунт, свойства, структура, основание, фундамент, методы устранения просадочности.*

### ВВЕДЕНИЕ

Лёссовые грунты занимают практически 17 % территории России [1,2].

Лёссы лежат сплошным покровом на большей части Украины (до 80%). Большие площади покрыты лёссовыми породами в Средней Азии, Казахстане, Восточной, Южной и Западной Сибири. Довольно часто они встречаются в Белоруссии, Поволжье, Якутии и других районах. Самая большая территория лёсса находится в Китае (на географических картах Китая всегда окрашивается в желтый цвет – цвет лёсса).

На рисунке 1 показана карта распространения лёссовых пород на территории СНГ, составленная В.С. Быковой и С.А. Пастушковой ("Лёссовые породы СССР", 1986).

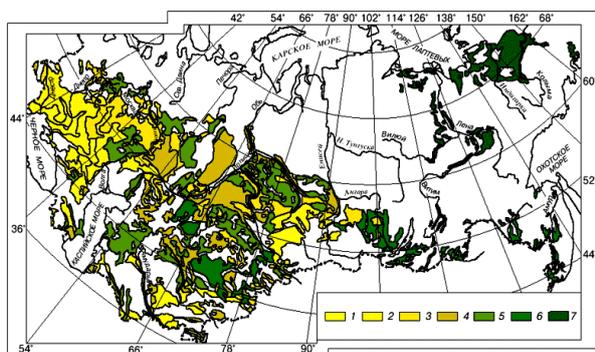


Рисунок 1 – Карта распространения лёссовых пород на территории СНГ

По оценкам специалистов, до 45% стоимости работ по строительству гражданских и промышленных объектов на лёссовых грунтах тратится на комплекс мероприятий, предотвращающих деформацию сооружений из-за просадочности оснований.

### ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЛЕССОВ

Более чем за вековую историю изучения лёссов было предложено не менее двадцати

различных гипотез их происхождения [3,4]. Обобщение этих данных позволило объединить все гипотезы в несколько групп, объясняющих возникновение лёссов эоловым (ветровым) и водным путем.

#### **Эоловая гипотеза**

Ее основателем является Ф. Рихтгоффен (1877). Относя лёссы к эоловым отложениям, он не считал ветер единственным фактором образования лёссовых пород. После детального изучения лёссов Китая Ф. Рихтгоффен пришел к выводу, что лёссовый (пылеватый) материал переносился и откладывался в бессточных впадинах ветром и дождевой водой и удерживался там степной растительностью. Эоловая гипотеза нашла много последователей среди ученых России и других стран, которые развили и дополнили ее. Так, В.А. Обручев (1904) объяснял формирование сплошного лёссового покрова на высоких элементах рельефа за счет пыли, принесенной из отдаленных районов (экзотическая пыль). По мнению П.А. Тутковского (1899), ветры развеивали ледниковые отложения и уносили пыль далеко от ледникового покрова, где она и образовывала лёсс. Американские ученые Ф. Леверетт (1899), Т. Чемберлин и др. (1909) основное значение придавали образованию пылеватых толщ за счет развеивания речных и водно-ледниковых отложений близлежащих долин.

Многие известные отечественные и зарубежные ученые, например, А.И. Москвитин, И.И. Трофимов, Н.И. Кригер были и до настоящего времени остаются горячими сторонниками эоловой гипотезы.

Это связано с тем, что данная гипотеза хорошо объясняет покровное залегание лёссов на больших площадях и подкрепляется фактами быстрого накопления в засушливых областях довольно мощных слоев пылеватых осадков после прохождения сильных пыльных бурь.

**Гипотезы водного происхождения.**

Среди сторонников, рассматривающих лёсс как породу, сформировавшуюся в водной среде, следует отметить выдающихся ученых П.А. Кропоткина (1876), В.В. Докучаева (1892), А.П. Павлова (1898), Ю.А. Скворцова (1948), Н.И. Толстихина (1928). По мнению этих исследователей, образование толщи пылеватых осадков происходило в результате смыва и последующего переотложения склоновых пород, переноса и накопления минерального материала в речных долинах и озерах, а также переноса и накопления лёссовых отложений водно-ледниковыми потоками. Существовала также точка зрения, что лёсс - это принесенная пыль, но переотложенная водными потоками.

Все эти гипотезы рассматривают лишь процесс накопления пылеватых отложений, но не отвечают на главный вопрос: как пылеватый осадок превращается в лёсс с характерным набором признаков и свойств.

**Почвенно-элювиальные гипотезы .**

В соответствии с этими гипотезами пылеватые отложения могут накапливаться любым путем, а их превращение в лёсс со всеми специфическими признаками этой породы происходит в результате почвообразования и выветривания. К сторонникам этой гипотезы следует отнести Л.С. Берга (1916), Н.М. Симбирцева (1900), Б.Б. Польшова (1934), И.П. Герасимова (1939). При рассмотрении данных гипотез, к сожалению, приходится констатировать, что они могут объяснить происхождения лишь отдельных лёссовых толщ.

Обобщение и анализ существующих в настоящее время гипотез происхождения лёссов позволяет сказать, что процесс формирования лёссовых пород состоит из двух этапов:

- накопление минерального пылеватого осадка, которое может происходить различными путями,
- превращение накопленного осадка в типичный лёсс, то есть в просадочную породу.

Безусловно, второй этап, характеризующийся появлением уникального явления - просадочности лёссов, имеет важнейшее значение. Ведь именно просадочность делает лёссы теми «загадочными» породами, над которыми уже более ста лет бьются ученые.

Из инженерной геологии известно, что лёсс:

- эолового происхождения;
- содержит соли  $\text{CaCO}_3$ ;  $\text{CaSO}_4$ ;
- имеет малую влажность;
- довольно однороден;

- характерная особенность наличия макропор.

Образование лёсса по эоловой теории с его характерными особенностями приведено на рисунке 2. Предполагается, что пылевато-глинистые мелкие частицы, наносимые ветром, постепенно откладывались слоями и прорастали растительностью.

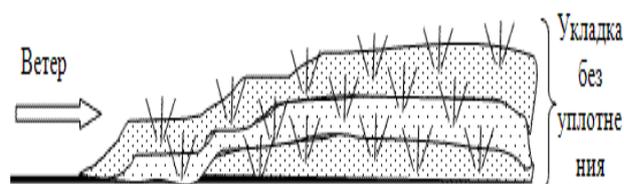


Рисунок 2 – Схема образования лёссового грунта по эоловой теории происхождения

Постепенно растительность сгнивала, вода испарялась, а соли кальция (по результатам гниения растительности) оставались. Поскольку водно-коллоидные связи, оставшейся пленочной воды, прочны и могут выдержать большую нагрузку, то грунт не уплотнялся. Коэффициент пористости такого грунта практически оставался постоянным  $e \approx \text{const}$  (отсюда определение не уплотненный грунт) – наличие большого количества макропор. Количество макропор в верхних слоях лёсса увеличивается из-за наличия землероев.

По гранулометрическому составу и числу пластичности лёссовые грунты относятся к пылеватым супесям и суглинкам.

Влажность лёссовых грунтов в естественном состоянии обычно не превышает 0,08...0,16, степень влажности менее 0,5, пористость –0,4...0,5.

Для лёссовых грунтов характерно большое наличие макропор в виде трубчатых канальцев диаметром 0,1...4 мм, преимущественно имеющих вертикальное положение (рисунок 3).

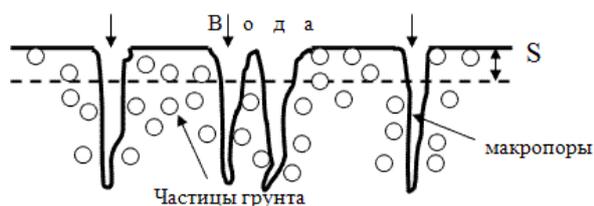
По мере замачивания загруженного лёссового грунта наблюдается резкое уменьшение его объема, что приводит к просадке дневной поверхности и возведенных на ней сооружений.

Просадкой называют быстро развивающуюся осадку, вызванную резкими изменениями структуры грунта.

При природной влажности лёссовые грунты за счет цементационных связей обладают заметной прочностью и способны держать вертикальные откосы высотой более 10 м. Увлажнение лёссов приводит к растворению цементационных связей и разрушению его макропористой текстуры. Это сопровож-

## ЛЕССОВЫЕ ГРУНТЫ И ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ИХ ПРОСАДОЧНЫХ СВОЙСТВ

дается резкой потерей прочности грунта, значительными и быстро развивающимися деформациями уплотнения – просадками. Поэтому лёссовые грунты называют просадочными.



**Макроструктура лёссового грунта**

Рисунок 3 – Схема макроструктуры лёссового грунта и возможности развития просадки при попадании в неё воды

### МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЕ ПРОСАДОЧНОСТИ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

В связи с широким распространением лёссовых пород на территории Алтайского края (до 20% территории) проблема борьбы с просадочностью этих пород в основаниях зданий и инженерных сооружений всегда была актуальной в нашем регионе. Проблема заключается в том, что при промачивании лёсса происходит просадка и резкое уменьшение прочности основания. При этом наблюдается потеря устойчивости основания, что зачастую приводит к полному или частичному разрушению зданий и сооружений.

Для устранения просадочных свойств лёссовых оснований применяются различные методы. Ниже приведены основные из них, имеющие свои достоинства и недостатки [5]:

1. Наиболее распространенным методом, на первом этапе борьбы с просадочностью лёссовых оснований, являлся метод механического уплотнения лёссовых грунтов тяжелыми трамбовками многократно (до 10 - 16 раз) сбрасываемые на уплотняемый участок грунта с высоты 4 - 8 м. Данный метод позволяет уплотнить толщу лёссового грунта на глубину до 3,5 м.

Недостатком данного метода является влияние динамических воздействий, вызванных трамбованием, на близкорасположенные здания и сооружения.

2. Глубинное уплотнение грунтовыми набивными сваями применяют, если необходимо ликвидировать просадочные свойства лёссовых грунтов на глубину более 10 м. И в этом случае при пробивке скважин для устройства свай возникают динамические колебания в грунтах основания.

3. Ликвидировать просадочные свойства возможно методом предварительного замачивания лёссового массива. При этом происходит спровоцированная просадка грунта, после чего он уплотняется, теряет просадочность и переходит в стабильное состояние. При применении данного метода необходим значительный комплекс мероприятий для исключения замачивания оснований под рядом расположенными зданиями и сооружениями

4. Одним из ранних способов борьбы с просадочностью являлся метод термического закрепления лёссовых грунтов, при котором через грунт с помощью специальных приспособлений пропускался раскаленный воздух или газы при температуре 300 - 800 градусов. Под действием высокой температуры происходило оплавление и спекание минералов на контактах между отдельными частицами и агрегатами и формировались прочные фазовые контакты кристаллизационного типа, устойчивые по отношению к воздействию воды. В результате существенно повышалась прочность лёссового грунта и он становился непросадочным. Минусом данного метода являлось значительное химическое «загрязнение» закрепляемых пород, и поэтому в настоящее время он не применяется.

5. Одним из наиболее эффективных в настоящее время методов устранения просадочности является метод силикатизации лёссовых грунтов. Растворы химических веществ вводят в грунт при помощи инъекторов. Погружают инъекторы посредством забивки, осуществляя ее заходками, несколько превышающими длину перфорированной их части, обычно равную 0,5-1,5 м. На глубине каждой заходки производят нагнетание закрепляющих веществ, используя насосы, специально изготавливаемые для химического закрепления грунтов.

Радиус распространения нагнетаемых веществ в грунте колеблется в пределах 0,4-1,0 м, а глубина погружения инъекторов может достигать 15-20 м и более. К недостаткам данного метода можно отнести его высокую стоимость и сложность контроля сплошности закрепленного массива.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время на кафедре «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» совместно с кафедрой «Строительные материалы» (профессор Овчаренко Г.И.) создается совместное научное направление по разработке специальных растворов

и применению на территории региона одного из наиболее эффективных, экологически чистых и современных методов устранения просадочности лессовых оснований - метода «Геокомпозит».

Метод «Геокомпозит» или метод армирования грунтового массива основан на управляемом инъецировании под давлением расчетных объемов твердеющих растворов по специально рассчитанной объемно-планировочной схеме.

Образовавшиеся при этом включения в радиусе 1,5-2,0 м от инъектора формируют при твердении жесткий армирующий каркас.

Фрагменты грунтового массива, расположенные между включениями, уплотняются давлением инъецируемого раствора, действующим как внутримассивный домкрат, приобретая существенно улучшенные механические характеристики.

Результат: жесткий каркас из затвердевшего раствора дополнительно армирует уплотненный грунтовый массив.

Укрепленный таким образом грунтовый массив является принципиально новым природно-техногенным образованием - геотехногенным композитом или «Геокомпозитом», обладающим высокой степенью жесткости и хаотической структурой (напоминающей корни дерева), в котором «матрицей» является уплотненный грунт, а армирующим скелетом – затвердевший раствор.

Использование метода «Геокомпозит» возможно для любых типов фундаментов: плитных, ленточных, столбчатых, а также и свайных фундаментов, при необходимости повышения несущей способности свай под аварийными зданиями и сооружениями.

Создание природно-техногенного композита в основании зданий и сооружений осуществляется путем нагнетания твердеющего раствора через инъектор, предвари-

тельно забитый на определенную глубину. При этом создается так называемая «элементарная ячейка» геокомпозита. После инъецирования уплотняющего раствора массив грунта будет закреплен на всю проектную глубину, при этом металлический инъектор не извлекается, что позволяет дополнительно повысить несущую способность массива грунта за счет образования корневой микро-сваи.

Для решения поставленной задачи предполагается разработать универсальный состав закрепляющего раствора и технологию его инъецирования для ликвидации просадочных свойств лессового основания.

При этом, разработанный в ходе запланированной совместной научной работы, закрепляющий раствор при нагнетании под давлением должен обладать высокой избирательной способностью, приводящей к закреплению наиболее слабых зон грунтового массива и повышению несущей способности массива в целом с минимальными затратами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лессовые породы СССР. Т. 1. Инженерно-геологические особенности и проблемы рационального использования / Под ред. Сергеева Е.М., Ларионова А.К., Комиссаровой Н.Н. - М., 1986. - 273 с.
2. Лессовые породы СССР. Т. 2. Региональные особенности / Под ред. Сергеева Е.М., Быковой В.С., Комиссаровой Н.Н. - М., 1986. - 276 с.
3. Кригер Н.И. Лёсс. Формирование просадочных свойств. М.: Наука, 1986.
4. Лессовые породы Западной Сибири и методы устройства оснований и фундаментов: Монограф. Г.И. Швецов – М.: Высшая школа, 2000. – 244 с.
5. Основания и фундаменты: Справочник / Г.И. Швецов, И.В. Носков, А.Д. Слободян, Г.С. Госькова; под ред. Г.И. Швецова.– М.: Высш. шк., 1991. – 383 с.