

ОЦЕНКА МИКРОСТРУКТУРЫ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ МЕТОДАМИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ РЭМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ

И.В. Карелина, М.А. Гумиров

Одной из актуальных проблем современных инженерной геологии и грунтоведения является изучение закономерностей формирования и деформируемости лессовых грунтов в основаниях зданий и сооружений. Практика строительства на лессовых грунтах свидетельствует о многочисленных деформациях зданий и сооружений, находящихся в сфере взаимодействия с лессовыми грунтовыми основаниями. До настоящего времени остается недостаточно изученной сама природа деформируемости лессовых грунтов под нагрузкой, несмотря на многочисленные исследования в данной области. Важность проблемы совершенно очевидна, если учесть современные масштабы строительства на подобных грунтах. Решение перечисленных вопросов возможно лишь на основании комплексного изучения и оценки структурно-текстурных особенностей лессовых грунтов и закономерностей их деформирования под влиянием внешних воздействий.

Основными механическими воздействиями, имеющими наибольшее распространение при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений на лессовых грунтах, являются статические и динамические воздействия, а так же замачивание находящегося в напряженном состоянии грунта. Они обуславливают существенные изменения микроструктуры лессовых пород: разрушение структурных составляющих элементов, формирование новой микроструктуры (при динамическом уплотнении) и т.п.

Лессовые грунты юга Западной Сибири требуют изучения их микроструктуры с учетом специфических региональных особенностей. Одной из этих особенностей является преобладание на указанной территории I типа грунтовых условий по просадочности.

Микроструктура лессовых грунтов как материнских пород Верхнего Приобья, обнаженных эрозией и претерпевших интенсивные гипергенные образования, имеет свои характерные особенности, в том числе и по гранулометрическому составу: значительную агрегированность, ярко выраженную макропористость со значительным уменьшением с глубиной, неоднородность по площади и по вертикали, различные включения в виде линз и прослоек песка и др.

Сложность поведения лессовых грунтов юга Западной Сибири в процессе их эксплуатации в качестве оснований зданий и сооружений вызывает необходимость их изучения на количественном микроструктурном уровне для объективной оценки прочностных и деформационных свойств с закономерностями внутренних процессов в грунте с учетом региональных особенностей юга Западной Сибири.

При исследовании изменения микроструктуры лессового просадочного грунта под воздействием уплотнения тяжелой трамбовкой массой 7 тонн была выбрана опытная площадка в юго-западной части города Барнаула, в квартале 2001. Размер опытной площадки составил 9×9 метров. Основанием зданий и сооружений в пределах этой территории являются суглинки и супеси. Суглинки относятся к группам I типа по просадочности. При замачивании под давлением, равным природному, просадка их практически близка к нулю; при замачивании под нагрузкой 0,3 МПа суглинки проявляют просадочные свойства.

После уплотнения площадки тяжелой трамбовкой массой 7 тонн, отбирались образцы грунта через каждый метр до глубины 6 метров. Микроструктурные особенности оценивались для каждой из этих групп по глубинам.

Учитывая универсальность растрового электронного микроскопа при исследовании твердых тел [1], которая вытекает из обширного множества взаимодействий электронов пучка внутри образца как информации о природе объекта (формы, состава и т.д.), образцы грунта готовились для этого вида микроскопа.

Подготовка образцов грунта к электронно-микроскопическим исследованиям выполнялась в вакуумном универсальном посту ВУП-5 в условиях мгновенного замораживания при температуре жидкого азота и сублимирования при глубоком вакууме.

При невозможности получения первоначальной цифровой информации с растрового электронного микроскопа сразу на магнитный носитель, вначале выполнялись снимки поверхности образцов грунта с последующим

сканированием и оцифровкой их для электронного анализа на ПЭВМ.

В связи с тем, что при одном фиксированном увеличении РЭМ-изображения невозможно охватить весь диапазон структурных элементов глинистой породы как полидисперсной системы, РЭМ-фотографии выполнялись с увеличением от 50 до 3000 раз, т.е. перекрывающие весь диапазон встречаемых размеров элементов грунта. Обработка результатов морфометрических и геометрических характеристик выполнялась с использованием разработанного программного комплекса «Promik» по образцам грунта с увеличением $\times 350$ и $\times 1000$ для исключения статистически недостоверной информации при оп-

ределении размеров элементов изображения.

В результате компьютерного анализа по программе «Promik» [2] были получены количественные данные морфометрических и геометрических характеристик лессового просадочного грунта (рисунок 1) по двум группам: порового пространства и частиц (твердых составляющих структуру грунта: глобул, микроагрегатов, зерен и т.п.). Все результаты были сведены в таблицы данных микроструктурной обработки РЭМ-изображений, по которым были построены графики зависимости средней площади элементов и вероятности максимальной ориентации от глубины (рисунки 2, 3).

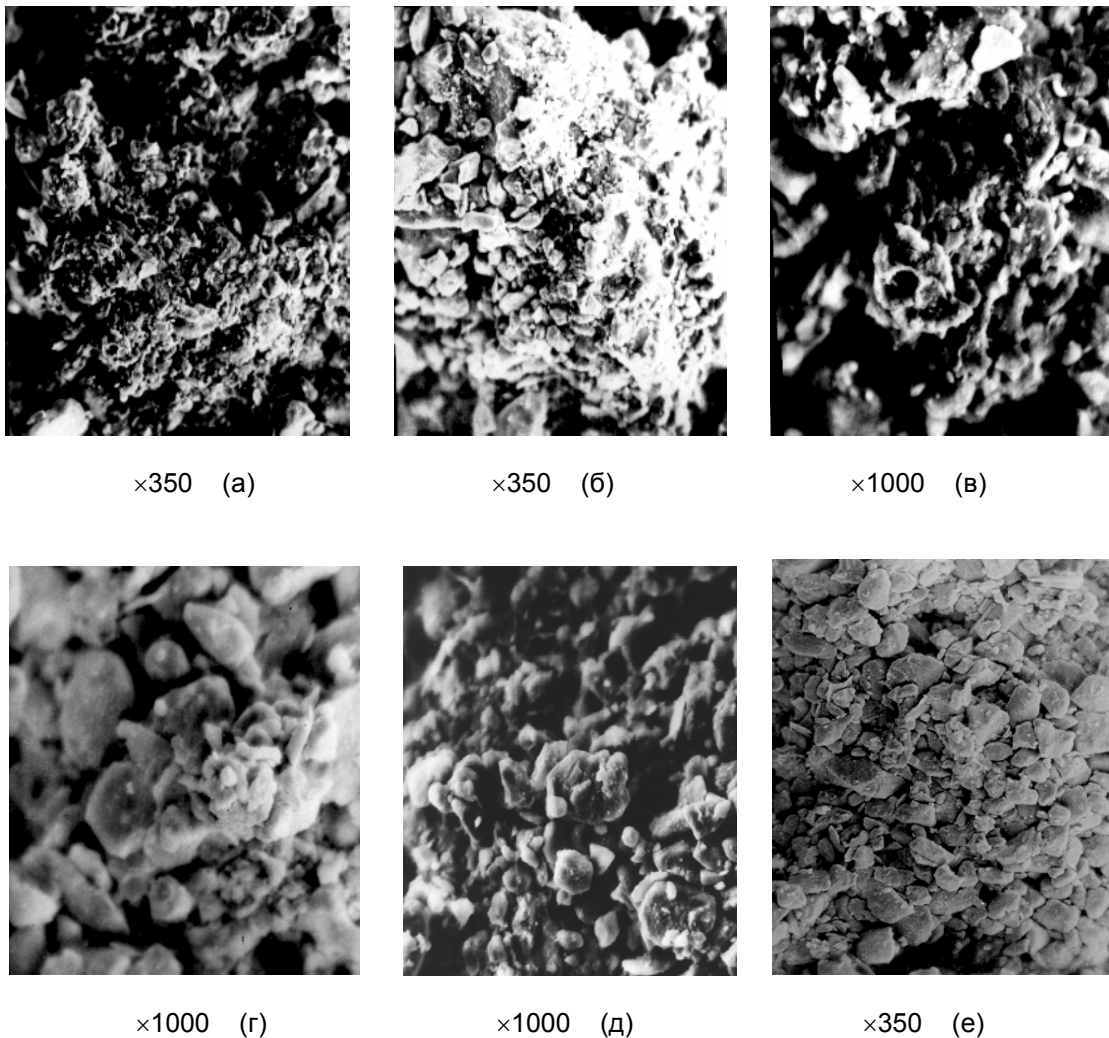


Рис. 1. Микроструктура лессового грунта после уплотнения трамбовкой массой 7 тонн на различной глубине: а) $H = 1,0$ м; б) $H = 2,0$ м; в) $H = 3,0$ м; г) $H = 4,0$ м; д) $H = 5,0$ м; е) $H = 6,0$ м

ОЦЕНКА МИКРОСТРУКТУРЫ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ МЕТОДАМИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ РЭМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ

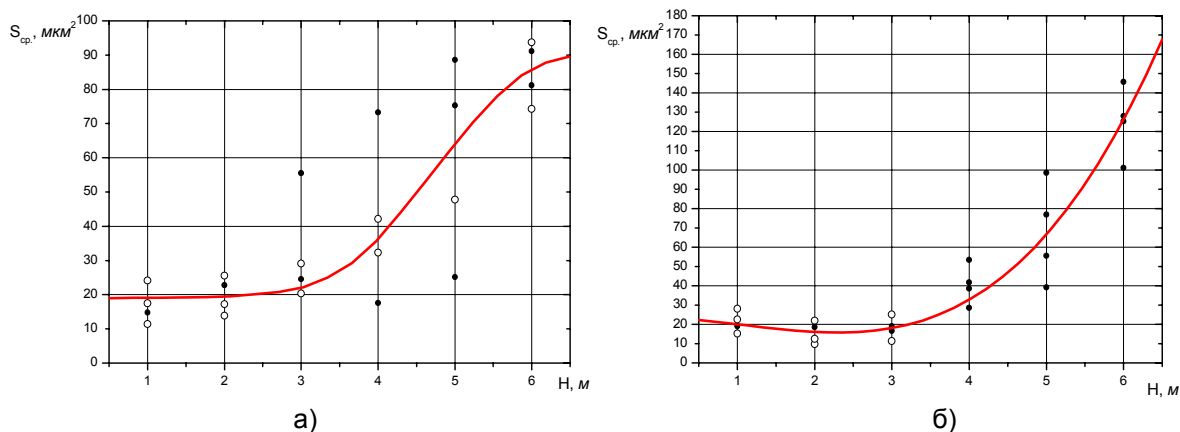


Рис. 2. График изменения средней площади элементов по глубине: а – частиц; б – пор

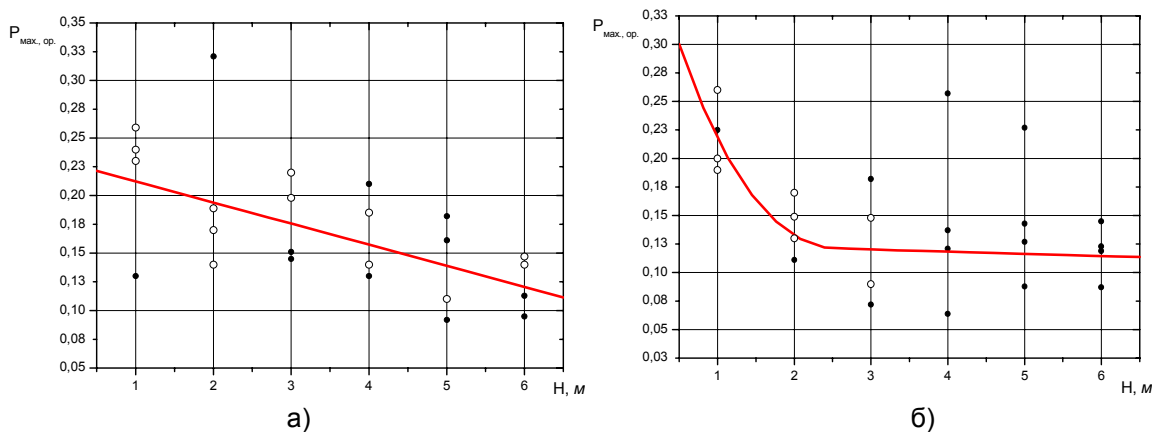


Рис. 3. График изменения вероятности максимальной ориентации элементов по глубине: а – частиц; б – пор

По результатам компьютерного анализа частиц лессового грунта можно проследить изменение структуры грунта, в зависимости от глубины уплотняемой толщи, от матричного (1-2 м) до скелетного (4-6 м) типа.

Так, на глубине до 2 метров воздействие динамических импульсов при уплотнении трамбовкой массой 7 тонн привело к дроблению частиц на более мелкие элементы – глобулы, агрегаты, - с диаметром $0,4 \div 3$ мкм. Их число среди общего количества составляет определяющее положение – около 80%. На РЭМ-изображениях (рисунок 1, а-б) хорошо визуально наблюдается некоторое расплющивание отдельных глобул и агрегатов лессового грунта. В образцах встречаются и довольно крупные частицы с диаметром $20 \div 30$ мкм, но их число не велико. По суммарным площадям на этих глубинах лидируют элементы с диаметром $16 \div 25$ мкм. По результатам количественного анализа очертания час-

тиц на глубине 1-2 м имеют довольно изрезанную неправильную форму, что является результатом частичного разрушения элементов структуры грунта под воздействием динамического уплотнения. На это же указывает наблюдаемая слабая ориентация частиц при низком процентном содержании не ориентированных элементов – $0 \div 12\%$.

На глубине 3 м отмечается постепенное уменьшение влияния уплотнения на структурные характеристики лессового просадочного грунта с глубиной. Несколько возрастает средний показатель диаметра элементов – до $3,5 \div 5,5$ мкм. Среди общего числа элементов мелкие частицы занимают так же лидирующее положение – около 80%, но их размеры несколько увеличились. По оценке суммарных площадей наряду с элементами диаметра $13 \div 19$ мкм больше пространства занимают крупные частицы размером до 30 мкм: вероятность их распределения в образце в сумме

составляет значение 0,54. Поверхность элементов остается все такой же изрезанной, но форма их становится все более близкой к округлости. Все это позволяет оценить микроструктуру уплотненного грунта на глубине 3 м как скелетно-матричную.

С увеличением глубины грунта с 4 до 6 м структура грунта все более приближается к природному сложению. Сказывается постепенное прекращение влияния трамбовки массой 7 тонн на дробление твердых составляющих элементов лессового грунта. В образце встречается все так же большое количество мелких элементов, но по мере увеличения глубины размеры их растут: от 0,5 мкм до 7,0 мкм. Значительно возрос средний диаметр частиц – до 6÷8 мкм. Крупных элементов встречается не много, но увеличились их размеры - 40÷70 мкм. Среди всех элементов возрастает вероятность увеличения площади частиц, занимающих промежуточное значение между мелкими и крупными – это глинисто-пылеватые агрегаты и зерна, хорошо заметные на РЭМ-изображениях (рисунок 1, г-е). На фотографиях также различим глинистый материал, расположенный в местах контактов агрегатов и глобул, и на поверхности песчаных и пылеватых зерен. Твердые структурные элементы с увеличением глубины становятся все более рыхлыми. Вследствие этих количественных показателей, структуру грунта на глубине 4-6 м можно отнести к скелетному типу (по В.И. Осипову) [3].

Так как расчет эквивалентных диаметров проводился на основе определения величин площадей элементов, то по графику зависимости среднего значения площади от глубины залегания грунта, уплотненного тяжелой трамбовкой, наблюдается эта же закономерность в разграничении структуры грунта с увеличением глубины (рисунок 2, а).

Так до глубины 2 м среднее значение площади частиц остается на одном и том же уровне – структура грунта представляет собой сплошную массу – однородную тонкодисперсную матрицу, которая визуально хорошо различима на рисунке 1, а-б. Начиная приблизительно с 3 м, происходит постепенное увеличение значения средней площади элементов. Как видно на рисунке 1, в-е, строение грунта претерпевает вследствие этого медленный возврат к своему природному строению - скелетной структуре. Глубину 3 м при этом можно рассматривать как некий переходный этап, на котором строение микроструктуры грунта можно оценить как скелетно-матричную.

В целом исследуемые образцы грунта можно охарактеризовать как слабо ориентированные, хотя по снижению показателя максимальной ориентации частиц (рисунок 3, а) можно говорить об изменении структуры грунта от более уплотненной толщи – менее 1 м, до постепенного прекращения влияния динамических ударов трамбовки – до 6 м и закономерно более.

Изменение структуры лессового просадочного грунта от матричного (глубина 1-2 м) до скелетного (4-6 м) типов с переходным этапом на глубине 3 метра так же хорошо прослеживается при количественном анализе порового пространства образцов.

До глубины 3 м средний диаметр пор не превышает в целом 3,5 мкм. Среди общего количества элементов число мелких пор велико – даже по доле суммарных площадей они занимают лидирующее положение. Это объясняется тем, что грунт приобрел более плотную структуру.

Начиная с глубины 3 м, элементы порового пространства начинают постепенно увеличиваться в размерах: минимальные значения - от 0,40 мкм до 1,64 мкм; средние – от 3,0 мкм до 8,5 мкм; максимальные – от 17,5 мкм до 85 мкм. Увеличивается величина вероятности суммарной площади крупных элементов порового пространства размером 30÷85 мкм.

Эти изменения хорошо прослеживаются на графике зависимости средней площади пор от глубины взятия образцов грунта (рисунок 2, б), уплотненного трамбовкой массой 7 тонн.

Вероятность максимальной ориентации пор резко снижается почти до глубины 3 м (рисунок 3, б), а далее наблюдается постепенное уменьшение этого показателя с увеличением процентного содержания не ориентированных пор (с 2% на глубине 4 м до 12% на глубине 6 м). Но в целом можно говорить о незначительной анизотропии элементов порового пространства.

Все это говорит о постепенном прекращении влияния уплотнения трамбовкой массой 7 тонн с глубины 3 м. При этом микроструктура лессового грунта на глубине 3 м может рассматриваться как переходный этап между двумя наблюдаемыми структурами: матричной и скелетной.

В результате проведенных исследований РЭМ-изображений грунта на количественном уровне была прослежена динамика изменения морфометрических и геометрических параметров основных структурных эле-

ОЦЕНКА МИКРОСТРУКТУРЫ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ МЕТОДАМИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ РЭМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ

ментов – частиц и пор, на различных горизонтах уплотненной толщи, что позволило сделать вывод об уплотнении лессового грунта трамбовками массой 7 тонн с изменением его микроструктуры. В результате до глубины 3 м происходит максимальное сближение частиц грунта, сопровождающееся процессом частичного и полного разрушения агрегатов и глобул - формируется новая матричная структура, отличная от природной. Это приводит к устранению просадочных свойств лессового основания. С глубины 3 м влияние трамбовки постепенно ослабевает, в результате чего структура грунта возвращается к природному состоянию - скелетному типу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: в 2-х кн.; Пер. с англ. / Дж. Гоулдстейн, Д. Ньюбери, П. Эчлин и др. – М.: Мир, 1984.
2. Карелина И.В., Гумиров М.А., Швецов Г.И. Компьютерная обработка РЭМ-изображений микроструктуры лессовых грунтов // Ресурсо- и энергосбережение как мотивация творчества в архитектурно-строительном процессе. Труды годичного собрания РААСН 2003. / Ред. кол.: В.М. Бондаренко (отв. ред.) и др. – Казань: Изд-во КГАСА, 2003. – С. 487-489.
3. Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А. Микроструктура глинистых пород / Под ред. Е.М. Сергеева. - М.: Недра, 1989.