

УДК 69.0

МИКРОСТРУКТУРА ГРУНТОВ

Жанкина Айжан Курайышевна
Zhankina_aizhan@mail.ru
Докторант ЕНУ им.Л.Н.Гумилева
Научный руководитель – А.С.Тулбекова

Введение. Микроструктура грунтов по сей день малоизучена, следовательно, более детальное и глубинное освоение данного вида исследования позволит в разы увеличить его значимость в современной науке, а именно науках о Земле.

Целью данной работы является – сбор и изучение современных данных о методах и приборах исследования микроструктуры обычного и обработанного грунта, изучение влияния микроструктуры на поведение грунта под воздействием различных факторов, и изменениях их свойств.

На сегодняшний день ясно, что микроструктура имеет большое значение в формировании свойств грунта, такие как: физические, физико-химические, прочностные и деформационные свойства.

Под микроструктурой следует понимать известный порядок, в котором расположены в отношении друг друга гранулометрические элементы грунта.

Несвязные грунты (пески) и имеют наиболее простой тип микроструктуры – раздельнозернистую микроструктуру. Характерным признаком такой микроструктуры является отсутствие связей между частицами грунта.

По расположению частиц раздельнозернистую микроструктуру можно подразделить на рыхлую и плотную. Первая отличается значительно большей пористостью, чем вторая, и менее устойчивым положением частиц.

В песках подверженных процессу естественной цементации, возникает новый тип микроструктуры, который характеризуется присутствием цементирующих веществ, заполняющих поры между частицами или располагающих вокруг контактов грунтовых частиц. Такая микроструктура называется цементосвязной. Микроструктура связных грунтов имеет более сложное строение, чем микроструктура несвязанных грунтов. Изучение ее затрудняется присутствием в грунте большого количества глинистых и коллоидных частиц, имеющих незначительные размеры.[1]

Было проведено множество исследований касательно микроструктуры глинистых почв. Так как наиболее активными компонентами почвы являются глинистые минералы. Это в основном водные алюмосиликаты, которые имеют уникальные слоистые или плателиковые структуры. Технически глинистые минералы относятся к филлосиликатам. Частицы глинистого минерала обычно имеют размер менее 2 μm , хотя некоторые из них крупнее. Наиболее распространёнными глинистыми минералами являются каолинит, смектит, иллит и глины со смешанным слоем. Несколько реже встречаются глины такие, как аллофан, галлоцит, хлорит, вермикулит и аттапульгит. В результате кристаллической структуры некоторые глинистые минералы могут быть по форме трубчатыми или сферическими.[2]

Методика исследования. Немало работ посвящено использованию метода структурных диаграмм «Микроструктура», разработанного в Институте земной коры СО РАН для определения параметров микроструктуры глин. Данный метод основан на результатах гранулометрического анализа, который выполняется пипеточным методом с двумя способами подготовки образца: агрегатным (взбалтывание в воде – разрушаются только водонеустойчивые агрегаты) и дисперсным (кипячение с пирофосфатом натрия – происходит максимальное разрушение агрегатов). Затем рассчитываются коэффициенты микроагрегатности (Кма), представляющие собой разность содержания каждой фракции, определенного при анализе с дисперсной и агрегатной подготовкой образца [3].

В работе [4] с помощью вышесказанного метода было рассмотрено влияние структурных особенностей лессовых грунтов на конкретные свойства и определены некоторые вопросы генетического характера. Проведенные исследования позволяют представить следующую модель микроструктуры лессовых грунтов: скелетно-агрегированная (агрегаты составляют 25-39%) или агрегированно-скелетная (24%); тип структурной модели- крупнопылеватый с преобладанием первичных частиц; имеется большой объем резервной, активной пористости, отсутствует ориентация элементов; главными компонентами, формирующими структурные связи, являются глинистые минералы (гидрослюдистомонтмориллоновая ассоциация с существенной примесью смешаннослойных), карбонаты, полуторные окислы и подвижные формы окиси алюминия; тонкоглинистая фракция имеет низкий коэффициент свободы.

Посредством оценки программы «Кластер-анализ» R-типа были исследованы количественные связи между физико-химическими свойствами и параметрами микроструктуры глинистых грунтов. Изучались такие группы физико-химических свойств, как: относительное набухание, усадка, пределы и число пластичности. Параметры микроструктуры были определены также методом структурных диаграмм. На основании приведенных многочисленных вариантов графиков - дендрограмм в работе [5] следует сделать вывод, что набухание и усадка не имеют существенных взаимосвязей; включение в число объектов исследований различных геолого-генетических комплексов отложений разной степени агрегированности выдвигает на первое место в качестве фактора влияния для

набухания количество агрегатов; усадка обнаруживает связи с коэффициентом свободы тонкоглинистой фракции, набухание-с реальной глинистостью.

Также используя метод «Микроструктура» для определения параметров лессовых и глинистых грунтов, рассматривалось применение программы для сравнительного анализа «Стандартная статистика». Расчеты реализуются с помощью компьютерного алгоритма «Микроструктура», составленного Н.Н. Гринь. Полученные результаты и их анализ позволяют сделать следующие выводы: удалось выделить признаки, имеющие максимальную разнородность распределения в исследованной группировке (коэффициент вариации > 80%): содержание тонко-мелкопесчаных агрегатов, коэффициент глинистости, содержание первичных тонко-мелкопесчаных частиц и коэффициент свободы фракции < 0,001 мм; стало известно, что изменчивость выделенных нестабильных признаков микроструктуры глинистых и лессовых грунтов обусловлена принадлежностью последних к различным геолого-генетическим комплексам, следовательно, полученная информация – необходимый блок при инженерно-геологической оценке этих грунтов, тем более что особенности микроструктуры часто «управляют» их свойствами[6].

Довольно немало изысканий было посвящено микроструктуре почве обработанной известью.

В работе [7] исследовалась микроструктура глинистых почв, обработанных известью и их геотехнические свойства. В качестве образца была взята уплотненная глина FoCa, обработанная известью. Образцы были изучены с помощью метода рентгеновской дифракции, термогравиметрическим анализом, также применялись методы сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) и просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ).

Было отмечено, что геотехнические свойства глинистого грунта изменяются сразу после обработки известью. Эти обработанные грунты теряют когезионные свойства и ведут себя как сыпучий материал: снижается индекс пластичности и давление набухания, а неограниченные сжимающие напряжения и проницаемость увеличиваются.

В результате, снимки СЭМ показывают морфологические изменения при обработке FoCa известью: более компактная структура и более толстые, но менее крупные частицы со взаимосвязанными порами. ПЭМ выявляет различные стадии известково-глинистой реакции: 1) флокуляция частиц и увеличение слоистости обработанной известью и необработанной почвы FoCa; 2) образование кристаллов кальцита (карбонизация извести); 3) создание новой фазы в обработанной известью FoCa. Эта новая фаза не обнаруживается с помощью рентгеновской дифракции, вероятно, из-за небольшого удлинения и очень низкой кристалличности данной фазы. Это вещество имеет химический состав кальций-кремний-алюминиевый гидрат. Морфология этого вещества выглядит как волнистая мембрана, образующая пористую пластинчатую структуру (как лист мятой бумаги).

Авторы работы [8] подвергли изучению влиянию стабилизации (упрочнение) известью на микроструктуру аллювиальной почвы, затем определили ее насыщенную гидравлическую проводимость. Исследование на микроскопическом уровне с помощью ртутной интрузивной порозиметрии показало, что обработка известью вызвало образование небольшого класса пор с диаметром менее $3 \times 10^3 \text{ \AA}$ в уплотненной почве. Этот класс не изменялся, благодаря содержанию воды в уплотнении, процедуре уплотнения и плотности в сухом состоянии. Уменьшение плотности, связанное с добавлением извести при оптимальном содержании влаги, объясняется главным образом образованием этого класса малых пор после обработки известью. Этот малый класс пор отсутствовал в необработанной почве. Далее, распределение пор по размеру ила, обработанного известью, при оптимальном содержании воды для уплотнения было тримодальным, а при содержании воды во влажном уплотнении оно было бимодальным, при этом более крупные поры отсутствовали при высоком содержании воды, что, вероятно, объясняет низкую гидравлическую проводимость. Параметры уплотнения (содержание воды и процедура уплотнения) в основном влияли на класс больших пор обработанного ила. Следовательно, автор делает вывод, что гидравлическая

проводимость независимо от обработки известью в основном зависит от большого объема пор ила.

В свою очередь в некоторых работах изучалась микроструктура почв, которые подверглись разного рода деформациям.

В первой работе рассматривалась микроструктура отложений после испытания на сдвиг с использованием обычной трехосной ячейки с элементами крепления в верхней и нижней пластинах. Отложения представляют собой месторождение илистых глин вулканического озерного слоя, перемежающееся с тонкими песчаными слоями пирокластических материалов песка и ила. Скорости сдвиговых волн измеряли во время изотропной консолидации и во время разрушения.

Из результатов испытаний можно сделать следующие выводы: изменение скорости сдвиговой волны во время изотропной консолидации от очень низких напряжений до эффективных напряжений, превышающих предел текучести, определяет две модели поведения, определяемые пределом текучести; изменение скорости сдвиговой волны во время недренированного разрушения показало семейство прямых линий с различными перехватами и довольно сходными наклонами; было получено простое выражение, которое описывает изменения скорости сдвиговых волн как функцию изотропного эффективного давления и осевой деформации для структурированной ветви ($p'/p'_y < 1$), ($p'/p'_y > 1$) для деструктурированной ветви соответственно [9].

Объектом исследования следующей работы [10] стали микроструктурные изменения быстрой глины после проведения серий испытаний на сжатие. Микроструктурные исследования были проведены с использованием технологии ультратонкого сечения и трансмиссионной электронной микроскопии Siemens Elmiskop I (80 кВ, 50μ апертура). Образцы были получены с глубины 7 м (6 м ниже уровня грунтовых вод).

По итогам, естественная микроструктурная структура характеризовалась сетью небольших агрегатов, соединенных звеньями частиц. Звенья разрушаются последовательно при увеличении деформации сдвига и образуются доменоподобные группы частиц. В макроскопической зоне сдвига, силы сдвига имеют тенденцию ориентировать и деформировать агрегаты.

Также агрегаты вели себя как жесткие тела до определенного уровня напряжения во время процесса сдвига. Концепция остаточной прочности может соответствовать состоянию, в котором большинство звеньев разорвано, в то время как агрегаты остаются нетронутыми, так как расстояние между центрами тяжести частиц, находящихся в агрегатах небольшое, от 100 до 200 Å.

Дополнительно ко всему было рассмотрено достаточно немало работ касаясь о влиянии самой микроструктуры на механические характеристики грунта.

Например, в работе [11] изучалось влияние микроструктуры на сжимаемость природных сингапурских морских глин. Для получения оценки первого порядка нелинейной кривой сжатия при отсутствии высококачественных образцов и постоянной скорости испытаний на деформацию, необходимо было количественно определить собственную кривую сжатия (исходную для восстановленной сингапурской морской глины) и инкрементную степень пустоты, поддерживаемую микроструктурой почвы при данном эффективном уровне напряжения. Кривая внутреннего сжатия для сингапурской морской глины может быть количественно определена с использованием уравнения 1.

$$e^* = I_V(0.25e_L - 0.04) + (0.109 + 0.679e_L - 0.089e_L^2 + 0.01e_L^3) \quad (1)$$

$$\text{где } I_V = 2.45 - 1.285 \log I_V = 2.45 - 1.285 \log \sigma'_V + 0.015 (\log \sigma'_V)^3.$$

Для оценки инкрементного коэффициента пустоты можно использовать уравнение, предложенное Лю и Картером. При сочетании собственной кривой сжатия и инкрементной степени пустоты нелинейная кривая сжатия для природной сингапурской морской глины может быть оценена с использованием формул 2 и 3:

$$e = e^* + \Delta e_i \left(\frac{\sigma'_{vy}}{\sigma'_v} \right)$$

(2)

или

$$e = e^* + 0.471 \log (S_{\sigma_0}) \left(\frac{\sigma'_{vy}}{\sigma'_v} \right)^{0.75} \quad (3)$$

Процедуры, предложенные в этом документе, достаточно хорошо предсказывали нелинейную кривую сжатия природной морской глины. Погрешность, связанная с прогнозируемыми показателями сжатия, составляет приблизительно $\pm 20\%$ от показателей сжатия, измеренных при постоянной скорости испытаний на деформацию на высококачественных образцах.

В статье [12] продемонстрирован пример исследования влияния микроструктуры на обрушение остаточной глинистой тропической почвы (oxisol) происходящая из базальта в южной части Бразилии. Были проведены одиночные и двойные испытания одометра с профилем почвы до глубины 9 м. Испытания одометра показали чувствительность почвы к замачиванию. Верхняя часть (глубиной более 4,5 м) более подвержена разрушению, чем глубинная часть по направлению к границе с сапролитом в точке с. 9 м Существует тесная связь между коэффициентом разрушения и виртуальным пределом текучести, вероятно, связанная с более высоким отношением пустот к поверхности и микроструктуре материала.

Микроскопический анализ выявил изменения в организации плазмы с глубины 4,5 м, что может объяснить изменения в поведении материала при загрузке/замачивании. В верхней части сечения преобладает микроагрегатная плазма с взаимосвязанной пористостью и макропустоты биологического происхождения. Эти характеристики способствуют разрушению. На глубине ниже 4,5 м зоны сплошной плазмы и микроагрегатного соединения становятся более частыми. Эти зоны связаны с уменьшением взаимосвязанной пористости и меньшей склонностью к разрушению.

Исследование показало влияние микроструктуры на соотношение между виртуальным пределом текучести и давлением вскрыши (σ_p/σ_0); самые высокие показатели были определены на глубине до 1,6 м. Считается, что циклы смачивания и сушки, которым подвергалась почва во время её образования, очень значительны. Эти отношения также увеличиваются в пределах от 4,5 до 6 м глубины, что вероятно, связано с уменьшением микроагрегации.

Вывод. Изучив данные работы, можно сделать вывод, что по сей день для получения изображений микроструктуры почвы в основном используют такие приборы как сканирующий электронный микроскоп (СЭМ), просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ), трансмиссионной электронной микроскопии и т.д. Данные приборы помимо достоинств продемонстрированных в вышеуказанных работах имеют ряд недостатков по отдельности. Следовательно, необходимо сочетать макро- и микроскопические приборы для того, чтобы дополнить пробелы друг друга при изучении грунта на микроструктурном уровне, что является трудоемким и дорогим процессом.

Из методов для определения и обработки микроструктур почв, и ее свойств часто применяют метод структурных диаграмм «Микроструктура», метод малоуглового рассеяния рентгеновских лучей, метод дифракции рентгеновских лучей, термогравиметрический анализ, метод ртутной интрузивной порозиметрии, также микроструктура подвергалась испытаниям на изгиб, сжатие и т.д. Сами методы по-своему хороши, но остро стоит вопрос о методах получения и подготовки образцов для исследования, так как в ходе этого образцы грунта претерпевают разрушение природного структурного образования и изменения ряда свойств, что является недопустимым при изучении микроструктуры природного грунта в своём естественном виде.

Список использованных источников

1. Сергеев Е.М. Понятие о микроструктуре грунтов, Москва, 1946, С.1-3.
2. R.H.Bennett, M.H.Hulbert. Clay Microstructure // Kluwer Academic Publishers; 1986, 3p.
3. Вашестюк Ю.В. Микроструктура дисперсных грунтов юга восточной Сибири и сопредельных территорий. // Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геол.-минерал. наук (8.04.14) Иркутск. 2014. С.5-6.
4. Гелеверя Т.И. Микроструктура лессовых грунтов // Теория инженерных сооружений и строительные конструкции. Известия КГАСА. №1(2), 2004. С.45-46.
5. Рященко Т.Г., Чернышова Ю.В. Микроструктура и физико-химические свойства глинистых грунтов (опыт применения кластерного анализа) // Науки о Земле. Вестник ИрГТУ, №4 (44), 2010, С.41-44.
6. Рященко Т.Г., Чернышова Ю.В., Сравнительный анализ параметров микроструктуры глинистых и лессовых грунтов (программа «стандартная статистика») // Науки о Земле, Вестник ИрГТУ, №9(56), 2011. С.64-72.
7. M. Al-Mukhtar, S.Khattab, Jean-Francois Alcover, Microstructure and geotechnical properties of lime-treated expansive clayey soil // Engineering Geology, 139-140. 2012. P.17–27.
8. O. Cuisinier, Jean-Claude Auriol, T.Le Borgne, D.Deneele // Engineering Geology, 123.2011. P187–193.
9. J.A. Diaz-Rodriguez, P.Moreno-Carrizales, L.Lopez-Flores, A study of soil microstructure using bender element tests // International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, 28. 2001. P.1-5.
10. R. Pusch, Microstructural changes in soft quick clay at failure // Canadian Geotechnical journal. volume 7, №1. 1970.P.1-7.
11. Han-Eng Low, Kok-Kwang Phoon, Thiam-Soon Tan, S. Leroueil, Effect of soil microstructure on the compressibility of natural Singapore marine clay // Can. Geotech. J. 45: 161–176. 2008. P.161-176.
12. N.H.M. Gutierrez, M.T.de No´brega, O.M.Vilar, Influence of the microstructure in the collapse of a residual clayey tropical soil // Bull Eng Geol Environ.68. 2009. P.107–116.