

УДК 537.533.35

XXVII Российская конференция «Современные методы электронной и зондовой микроскопии в исследованиях органических, неорганических наноструктур и нано-биоматериалов». Черноголовка, 28-30 августа 2018г. Том 2. 2018.- с.

В сборнике опубликованы материалы XXVII Российской конференции «Современные методы электронной и зондовой микроскопии в исследованиях органических, неорганических наноструктур и нано-биоматериалов», прошедшей 28-30 августа в Московской области, г.Черноголовка.

Представлены тезисы докладов в соответствии с тематическими секциями: новые методы просвечивающей/растровой электронной микроскопии, электронной дифракции и микроанализа; новые приборы, элементы электронной оптики, детекторы и обработка изображений; электронная микроскопия, электронная дифракция и микроанализ в исследовании новых материалов; другие применения электронной микроскопии и комплементарных методов; электронная микроскопия в химии, геологии и метеоритоведении; растровая электронная и ионная микроскопия. In-situ исследования в РЭМ; крио-ЭМ и применение электронной, конфокальной сканирующей микроскопии в биологии и медицине; сканирующая зондовая микроскопия; электронная и ионная литография; микроскопия в современных технологиях; методы электронной микроскопии и микроанализа в исследовании предметов культурного наследия.

Данное издание предназначено для учёных, специалистов, аспирантов и студентов, интересующихся современными методами электронной и зондовой микроскопии в исследованиях органических, неорганических наноструктур и нано-биоматериалов.

© 2018, ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

Применение электронной микроскопии и компьютерной томографии при деформационных испытаниях глинистых грунтов

Соколов В.Н., Чернов М.С., Кузнецов Р.А., Разгулина О.В., Денисова Л.Г., Юрковец Д.И.

Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Изучение изменений в строении глинистых грунтов, происходящих в процессе деформирования, может позволить лучше понимать природу деформируемости и прочности грунта. Для этого авторами выполнены исследования возможных изменений микростроения глинистых грунтов на разных стадиях их подготовки и нагружения в условиях трехосного сжатия. Эти изменения фиксировались качественно и количественно с помощью анализа результатов растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгеновской компьютерной микротомографии (μКТ), по методике комплексного анализа данных РЭМ-μКТ [1]. Подобное сочетание методов позволяет изучить строение образца от макро- до микроуровня организации минерального вещества. Применение данной методики позволяет значительно повысить достоверность исследований строения полидисперсных и часто неоднородных глинистых пород. Главным преимуществом комплексного анализа данных (РЭМ-μКТ) о строении образцов является возможность анализировать не только микропоры, но и макропоры, включая крупные.

Для установления закономерностей изменения строения глинистых грунтов при компрессионных испытаниях применялась разработанная авторская методика изучения строения одного и того же объема грунта при различных нагрузках в ходе компрессионных испытаний образцов диаметром 2 см. Исследования проводились на глинистых образцах нарушенного сложения. В минеральном составе образцов преобладают глинистые минералы (около 90 %) – каолинит и смешанослойные каолинит-сметтит.

Монолит образца для исследований готовился из пасты с влажностью предела текучести в приборе предварительной консолидации при нагрузке 0,05 МПа. Для исследования изменения строения на разных ступенях нагружения из одного монолита вырезалась серия одинаковых образцов, для одного из которых была получена серия РЭМ- и μКТ-изображений при увеличениях от 4 до 32000 раз. После этого вырезанные образцы подвергались компрессионным испытаниям. Для каждого образца, как при начальном сложении, так и после каждой из ступеней нагружения, методом μКТ были получены изображения для дальнейшего количественного анализа. При этом, после первой ступени нагружения первый образец серии был подготовлен для получения РЭМ-изображений. Аналогичным образом, второй образец готовился для съёмок в

РЭМ после второй ступени нагружения, и так далее до последней заданной ступени нагружения.

Количественный анализ строения всей серии образцов был проведен с помощью программного обеспечения «СТИМАН» [2] по массиву данных РЭМ- и μ КТ-изображений. Результаты количественного анализа показали, что на ступени нагружения, соответствующей 0,05 МПа деформация происходит преимущественно за счёт полного закрытия пор более 100 мкм, а также уменьшается вклад крупных межмикроагрегатных микропор 10-100 мкм. С ростом нагрузки четко прослеживается уменьшение абсолютных значений данных категорий пор. При давлениях в 0,1-0,15 МПа процесс деформирования продолжает происходить за счёт уменьшения вклада крупных микропор 10-100 мкм. На фоне уменьшения общей пористости, так же происходит перераспределение порового пространства, за счёт которого несколько изменяется вклад пор других категорий. При давлении в 0,2 МПа происходит существенное уменьшение вклада категорий пор 0,1-10 мкм. Данная ступень нагружения соответствует наибольшим значениям деформаций. Процесс деформирования при давлениях 0,3 и 0,4 МПа происходит за счёт закрытия пор размером 1-100 мкм. Межчастичные и внутриультрамикроагрегатные микропоры, размером $<0,1$ мкм, не принимают участия в деформировании.

Обобщение данных количественного анализа строения образцов глинистого грунта при компрессионных испытаниях после каждой ступени нагружения показывает, что поры различных категорий не закрываются монотонно, а имеют различную скорость и порядок закрытия. Помимо отжатия воды из образца, в процессе компрессионного сжатия происходит перераспределение пор. Даже при отсутствии существенной деформации в процессе нагружения в строении образца, тем не менее, происходит перераспределение вклада пор различных категорий в общую пористость, которое в абсолютных значениях значительно, чем сокращение общей пористости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-05-00971а). В качестве аппаратной базы для исследований применялись РЭМ LEO 1450VP (Германия) и μ КТ Yamato TDM 1000H-II (Япония), приобретенных в рамках реализации Программы развития Московского университета.

1. Булыгина Л.Г., Соколов В.Н., Чернов М.С., Разгулина О.В., Юрковец Д.И. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2014. № 5. С. 457-463.
2. Соколов В.Н., Юрковец Д.И., Разгулина О.В. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2008. № 4. С. 377-382.