

Определение субмикронной пористости зерна с помощью рентгеновской микротомографии

О. А. Ковалева^{1,2}, И. А. Варфоломеев^{1,2}, Д. А. Коробков², И. В. Якимчук²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Московский научно-исследовательский центр «Шлюмберже»

В прогнозировании разработки месторождений важную роль играют лабораторные исследования горных пород. Среди неразрушающих методов анализа пород все большее распространение получает метод рентгеновской микротомографии [1], который предоставляет информацию о внутренней структуре исследуемого зернового материала. Такие данные могут быть использованы в дальнейшем [2] для численного моделирования различных физических процессов, происходящих в породе в естественных условиях. Поскольку точность результатов моделирования во многом зависит от точности входных данных, представляется важным наиболее достоверно определить такие характеристики зерна как, например, пористость [3]. Несмотря на преимущества метода микротомографии, его возможности ограничены пространственным разрешением прибора, которое у современных лабораторных томографов достигает ~0.5 мкм. Применительно к задаче исследования горных пористых пород, это обстоятельство затрудняет учёт и анализ доли пор субмикронного размера. В данной работе рассмотрен подход к разрешению описанной проблемы, состоящий в сканировании (с последующим анализом) образцов в двух состояниях – начальном и насыщенном рентгенконтрастными веществами.

Известно, что наличие воздушных пустот в однородном минеральном зерне понижает его эффективную способность ослабления рентгеновского излучения. Однако поглощение излучения усиливается при заполнении пустотного пространства рентгенконтрастным веществом. Таким образом, по изменению коэффициента поглощения рентгеновского излучения в различных областях насыщенного рентгенконтрастными веществами образца по сравнению с его «сухим» состоянием можно судить о пространственном распределении пор, в том числе и субмикронного размера.

Для реализации этой методики был разработан экспериментальный подход, состоящий из нескольких стадий:

- 1) Микротомографическое сканирование образца в начальном состоянии с последующей процедурой реконструкции Рис. 1А;
- 2) Вакуумирование образца с дальнейшим насыщением рентгенконтрастным веществом;
- 3) Микротомографическое сканирование образца в состоянии насыщенности рентгенконтрастным веществом с последующей процедурой реконструкции Рис. 1Б;
- 4) Пространственное совмещение восстановленных объемных изображений с использованием разработанного ПО;
- 5) Попиксельное сравнение и анализ полученных массивов с построением карты пористости Рис. 1В;
- 6) Оценка общей пористости образца с учетом доли пор субмикронного размера.

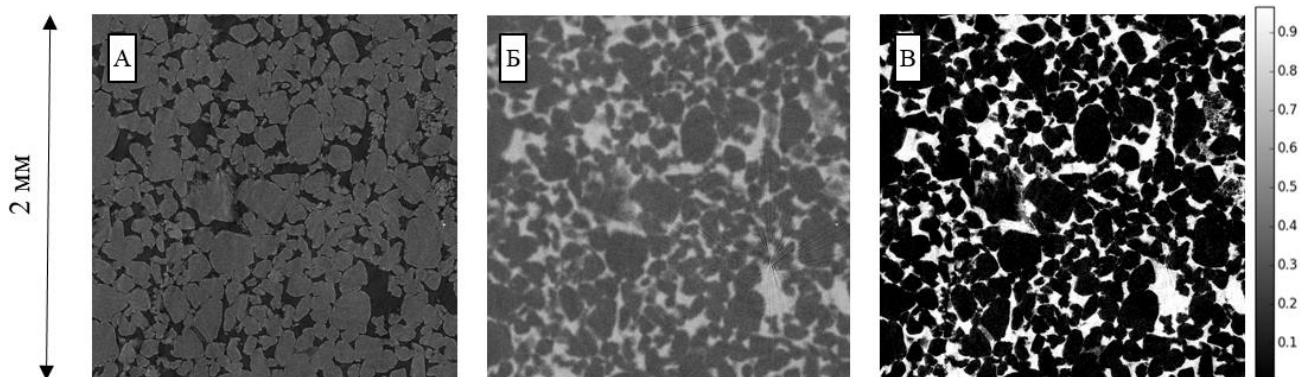


Рис. 1. Реконструированные изображения, соответствующие образцу в начальном (А) и «насыщенном» (Б) состоянии. В – карта пористости образца со шкалой.

Данная последовательность действий была проведена для нескольких образцов разного происхождения. Полученные результаты оценки общей пористости были сопоставлены с результатами измерения пористости традиционными лабораторными методами (газовая порометрия). Сравнение демонстрирует хорошее соответствие значений пористости с максимальным относительным различием в 4%, что говорит о применимости предложенного подхода. Кроме того, метод является универсальным относительно исследуемого объекта, не требует тщательной пробоподготовки и предоставляет информацию о поровом пространстве независимо от других исследований.

Литература

1. *Buzug T.* Computed tomography: From photon statistics to modern cone-beam CT. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. – 522p.
2. *Auzerais F. et al.* Transport in sandstone: A study based on three dimensional microtomography. – Geophysical Research Letters. – 1996. – V. 23. – №. 7. – pp. 705-708
3. *Mees F., Swennen R., Van Geet M., Jacobs P.* Applications of X-ray computed tomography in the geosciences. – Geological Society, London, Special Publications, 2003. – V. 215. – pp. 1-6