

Минералогическая сегментация трёхмерных микротомографических изображений горной породы с обучением по данным электронной микроскопии с рентгеновским энергодисперсионным детектированием.

И.А. Варфоломеев^{1,2}, И.В. Якимчук²

¹ Московский физико-технический институт (государственный университет)

² ООО Технологическая компания Шлюмберже

В последние годы в нефтегазовой отрасли бурно развиваются направления, связанные с прямым моделированием тепловых, фильтрационных, геомеханических, электрических и других физических свойств горных пород на микроуровне [1]. В простейшем случае, в качестве исходных данных для подобных расчётов используются трёхмерные цифровые модели образцов породы, различающие лишь пору и породу. Хотя в ряде случаев оказывается достаточно и бинарной модели, свойства образца могут сильно зависеть от его минерального состава и пространственного распределения веществ в нём. В настоящей работе рассматривается задача построения трёхмерных минералогических моделей миникернов горной породы, т.е. моделей, в которых каждому вокселю приписывается определённый минерал. Для её решения образец сканируется методами рентгеновской микротомографии и электронной микроскопии с последующей совместной постобработкой полученных изображений.

Трёхмерное микротомографическое изображение, на основе которого строится модель, содержит лишь косвенную информацию о типах минералов: эффективный коэффициент поглощения рентгеновского излучения, текстура и форма зёрен. Достаточно широко используемый в настоящее время подход «прямой» сегментации микротомографического изображения на несколько классов, в соответствии лишь со значением эффективного уровня поглощения вещества (т.е. уровнем серого на изображении), имеет весьма ограниченную применимость - многие минералы оказываются плохо различимы, в частности, в силу полихроматичности рентгеновского пучка, используемого в современных настольных микротомографах.

Явная информация о пространственном распределении минералов, составляющих образец, может быть получена путём картирования какого-либо сечения образца с помощью электронного микроскопа с энергодисперсионным детектором. Измеряемый таким образом спектр характеристического рентгеновского излучения позволяет напрямую определить концентрации различных химических элементов, а специальное программного обеспечение позволяет с достаточно высокой надёжностью определить тип минерала [2].

На первом этапе обработки, непосредственно после получения трёхмерного микротомографического и двумерного минералогического изображений, при помощи специально разработанного алгоритма производится их пространственное совмещение.

На втором этапе, область пересечения упомянутых изображений используется для обучения классификатора (Random Forest) и оптимизации параметров процедур выделения признаков (LBP и несколько других признаков). При этом признаки могут приписываться как отдельным вокселям, так и целым (предварительно выделенным) зёрнам вещества.

На третьем этапе, с использованием обученного классификатора, производится оценка вероятности принадлежности каждого вокселя определённому классу (минералу) и сегментация полученных карт вероятности при помощи процедуры поиска оптимального разреза графов [3].

В докладе будет представлен краткий обзор создаваемой методики программного построения трехмерных карт минералогии и продемонстрированы некоторые результаты её применения.

Литература

- [1] *Auzerais F. M., Dunsmuir J., Ferréol B. B., et al.* Transport in sandstone: A study based on three dimensional microtomography. – *Geophys. Res. Lett.* – 1996 – vol. 23, no. 7 – pp.705–708.
- [2] *Butcher A., Helms T., and Gottlieb P.* Advances in the quantification of gold deportment by QemSCAN, in *Seventh Mill Operators' Conference*, 2000.
- [3] *Schroff F., Criminisi A., and Zisserman A.* Object Class Segmentation using Random Forests. – *Proceedings Br. Mach. Vis. Conf.* 2008– 2008 – pp.54.1–54.10.

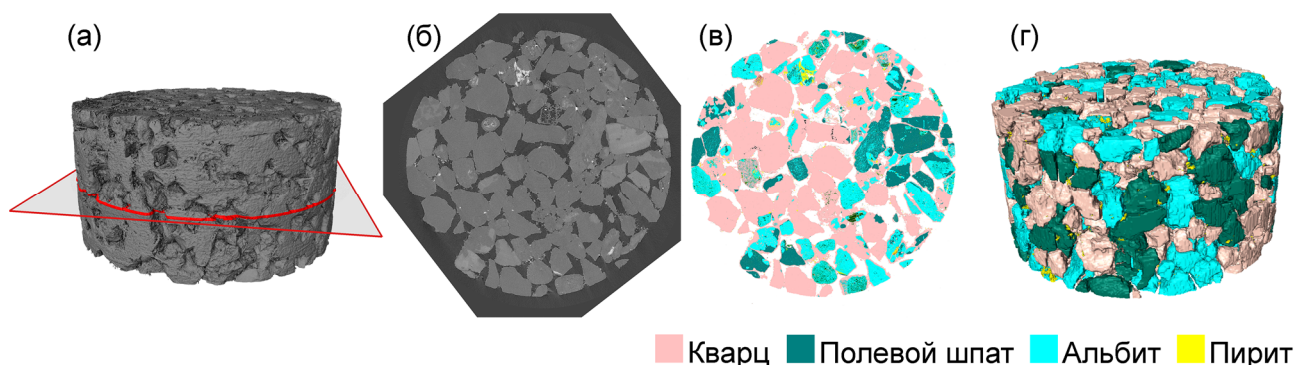


Рис. 1. Пример построения трёхмерной карты минералогии на основе микротомограммы: (а) трёхмерное изображение исходной микротомограммы; (б) сечение микротомограммы, соответствующее поверхности, изученной методом электронной микроскопии; (в) исходная минералогическая карта; (г) полученная трёхмерная карта минералов.