

Метод трехмерного статистического анализа микроструктуры и порового пространства керна по теневым изображениям с рентгеновского микротомографа

*В.В. Мизгулин, Н.А. Штуркин, Е.Ю. Нурканов, Р.М. Кадушиников (ООО «СИАМС»),
С.С. Сафонов (Технологическая компания «Шлюмберже»)*

Целью работы является разработка метода трехмерного статистического анализа микроструктуры и порового пространства керна. Задача статистического анализа наиболее эффективно решается с помощью вычислительных машин. Для такого решения необходимо представить микроструктуру и поровое пространство керна в цифровом виде. Наиболее известными способами этого представления являются получение стека теневых изображений при помощи рентгеновского микротомографа, трехмерная цифровая реконструкция микроструктуры и порового пространства керна по изображениям шлифов и результатам лазерного дисперсионного анализа. Оба способа имеют свои преимущества и ограничения. Использование рентгеновского микротомографа дает, безусловно, более достоверную картину, однако при сканировании полноразмерного пласта микропоры на получаемых теневых изображениях неразличимы. Трехмерная цифровая реконструкция является типичной задачей моделирования, которое используется преимущественно для обучения или прогнозирования. Несмотря на широкие возможности компьютерных моделей, для их эффективного применения в исследовательских задачах требуется решение сопутствующих задач по системному анализу, доработке, тестированию и периодической калибровке моделей под различные типы пород. С системной точки зрения прежде чем прибегать к моделированию, необходимо получить максимальное количество исходной информации, в том числе с помощью микротомографии. В работе предлагается метод трехмерного статистического анализа микроструктуры и порового пространства керна по теневым изображениям с рентгеновского микротомографа.

Первым шагом является сшивка стека теневых изображений с микротомографа в трехмерное воксельное изображение (при реализации использовался модифицированный алгоритм Фельдкампа). Далее проводится предобработка трехмерного изображения: контрастирование, шарпенинг, морфологическая фильтрация. Затем путем уровневой бинаризации сегментируется пустотное пространство. Порог сегментации может варьировать, поэтому следует проводить калибровку алгоритма обработки для различных типов пород, например по коэффициенту пористости. Когда поровое пространство сегментировано, можно приступить к ключевому шагу метода, построению карты толщин.

Анализ карты толщин позволяет построить перколяционные кластеры, получить распределение размеров и удельных поверхностей пор, гранулометрический состав, исследовать анизотропию пор и зерен, фактор формы, разделить поровое пространство на открытое и изолированное, а также рассчитать изменение поперечной пористости в различных направлениях.

Кроме карты толщин, интерес представляет построение карты рентгеновских плотностей. С помощью этой карты без дополнительной калибровки можно выделять рудные включения и особенно плотные минералы. Исследования по классификации минералов с помощью рентгеновских плотностей ведутся давно. При наличии достоверной таблицы классификации можно с известной вероятностью прогнозировать наличие того или иного минерала в определенной фазе.