

УДК 620.187

РАСТРОВАЯ МИКРОСКОПИЯ И МИКРОАНАЛИЗ МИНЕРАЛОВ В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ

А. И. Иванова¹, В. А. Фенин²

¹Тверской государственный университет, 170100, Тверь

²ОАО НПЦ «Тверьгеофизика»

Проведены исследования микроструктуры и элементного состава кернового материала, извлечённого с глубины 2000...3000 м при бурении с отбором керна в естественном сложении структуры и состава пород. Исследовались свежие плоские сколы, структура и состав которых отвечает естественному сложению породы. Представлены данные, характеризующие топографию поверхности образцов в широком интервале увеличений в режиме вторичных электронов и результаты определения элементного состава в режиме отраженных (обратно-рассеянных) электронов. Полученные данные используются при геофизических исследованиях микростроения и состава минеральной части карбонатных пород, являющихся коллекторами нефти и газа.

Ключевые слова: геофизические исследования, керновый материал, карбонатные породы, растровая электронная микроскопия, рентгеновский микроанализ

Введение. Электронномикроскопический метод исследования в настоящее время получил широкое распространение в различных областях науки и техники, поскольку электронный микроскоп благодаря высокой разрешающей способности (более чем на два порядка выше по сравнению со световым микроскопом) позволяет наблюдать тонкие особенности и детали структуры микрообъектов на атомарно-молекулярном уровне, которые другими приборами не могут быть выявлены [1].

Изучение микростроения и состава минеральной части карбонатных пород, являющихся коллекторами нефти и газа, на микроуровне стало возможным только с появлением сканирующего электронного микроскопа (РЭМ). Принцип работы РЭМ на отражение, большая глубина фокуса, относительно большие размеры образцов (до 2...3 см), предоставили возможность изучать объекты в большом диапазоне увеличений и открыли новые перспективы в изучении пород-коллекторов. Изучение породы в РЭМ даёт информацию о текстуре и структуре породы, поэтому образцы, отобранные для таких исследований, должны быть ориентированы относительно напластования породы. Большинство фотографий получают с поверхности, перпендикулярной напластованию, так как именно она

несет максимальную информацию о расположении структурных элементов, характере и взаимосвязи пор, степени уплотнения породы с увеличением глубины [2].

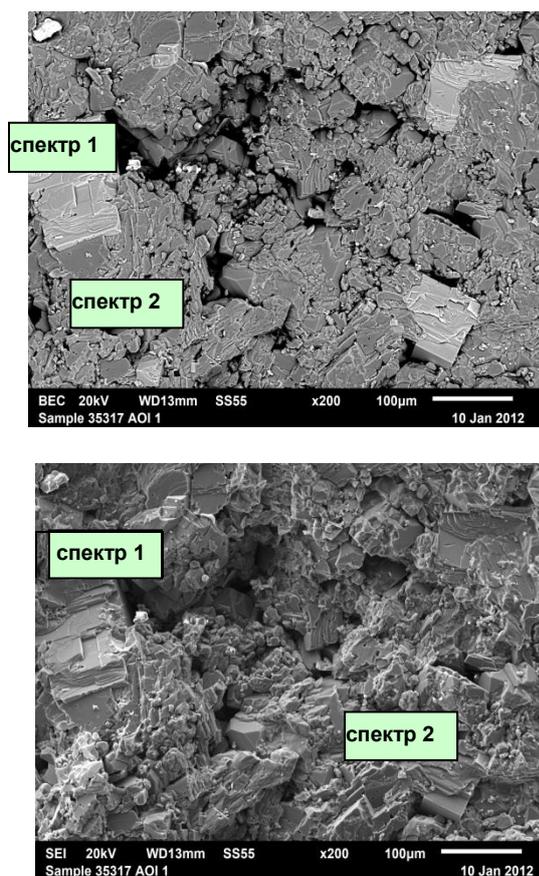
Преимущества РЭМ для получения изображений с высоким пространственным разрешением, большой глубиной поля зрения и простой пробоподготовкой делают его незаменимым инструментом в ряде разделов геологической науки [3, 4].

Микроскопическое изучение геологических пород включает в себя определение минералогического состава, структурных и текстурных особенностей. Применение локального рентгеноспектрального анализа позволяет получить данные о химическом составе очень мелких кристаллов и агрегатов минералов, выявить закономерности распределения различных по химизму фаз. Метод спектрального анализа заключается в регистрации интенсивности характеристического рентгеновского излучения, возникающего при бомбардировке образца пучком ускоренных электронов, что позволяет определять элементный состав в точке взаимодействия электронов с веществом.

Целью данной работы является выявление оптимальных условий определения минерального и химического состава образцов кернового материала.

Эксперимент. Исследования проводились на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6610LV (Япония) и энергодисперсионном спектрометре INCA Energy350 X-Max 20 (Великобритания). В работе также была использована установка для магнетронного напыления образцов JEOL JFC-1600 (Япония.).

В настоящей работе исследовался керновый материал Даниловской скважины № 71, извлеченный с глубины 2000...3000 м при бурении с отбором керна в естественном сложении структуры и состава пород. Для определения топографии поверхностей сколов образцов использовался режим вторичных электронов (SEI), а для исследований элементного состава образца – режим отраженных (обратно-рассеянных) электронов (BSE – back-scattered electrons). Образцы наклеивались с помощью токопроводящей плёнки на столик-держатель РЭМ, затем проводилось напыление токопроводящего слоя Pt толщиной ~ 20 нм на поверхность сколов магнетронным методом.



Р и с . 1 . Доломит, содержащий ангидрит.
а – режим обратно-рассеянных электронов;
б – режим вторичных электронов

На рисунке 1 приведено изображение поверхности образца доломита – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, содержащего ангидрит CaSO_4 во вторичных и обратно-рассеянных электронах. Изображение поверхности образца в обратно-рассеянных электронах характеризует его состав. Различия в интенсивности цвета вызваны различиями в среднем атомном номере ангидрита (13,40) и доломита (17,90).

Как показали опыты, пространственный контраст изображения на плоской поверхности в ряде случаев может отсутствовать или быть незначительным, поэтому при анализе осадочных пород особенно ценным является сопоставление изображений морфологии поверхности с данными рентгеновского микроанализа (рис.2), а также сопоставление изображений,

полученных в режиме вторичных и чувствительных к элементному составу обратно-рассеянных электронов.

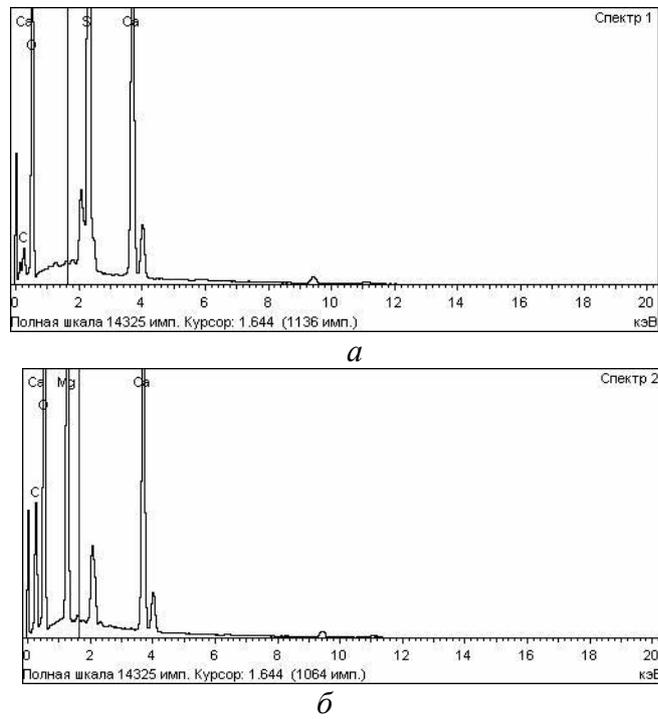


Рис. 2. Энергетический спектр минералов с указанием элементного состава (*а* – ангидрит, *б* – доломит)

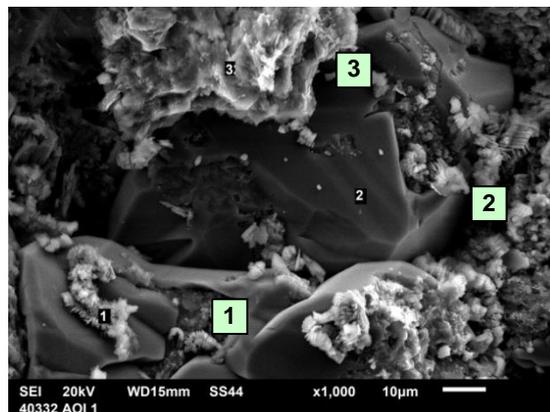


Рис.3. Скол терригенной породы (скважина Ярудейская). Изображение получено в режиме вторичных электронов

На рисунке 3 теригенной породы скважины Ярудейская по форме пространственных изображений идентифицируются: 1 – «червеобразные» верми-сростки – агрегаты каолиновых пластинок $(Al_2[Si_2O_5](OH)_4)$, 2 – крупные оgranенные кристаллы, складывающие породу, 3 – вещество неопределенной формы в верхней части снимка. Элементный анализ позволяет идентифицировать кристаллы по химическому составу: SiO_2 – кварц и глинистое вещество – хлорит $(Mg,Fe,Al)(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$ по присутствию Mg и Fe, дать полный минералогический анализ изображения и подтвердить состав каолинита.

Систематические исследования большого количества образцов показывают сложный характер морфологии и изменчивость строения пустотного пространства коллекторов в различных нефтегазоносных регионах, что делает методы растровой электронной микроскопии и микроанализа неотъемлемым атрибутом комплекса различных взаимно дополняющих методов физического и физико-химического анализа кернов [5].

Список литературы

1. Сергеева Н.Е. Введение в электронную микроскопию минералов. М.: МГУ, 1977. 144 с.
2. Багринцева К.И., Дмитриевский А.Н., Бочко Р.А. Атлас карбонатных коллекторов месторождений нефти и газа Восточно-Европейской и Сибирской платформ. М., 2003. 264 с.
3. Рид С. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии. М.: Техносфера, 2008. 232 с.
4. Cardell C., Yebra A., Van Grieken R.E.. Applying digital image processing to SEM-EDX and BSE images to determine and quantify porosity and salts with depth in porous media // *Microchim. Acta*. 2002. V. 40. P. 9-14.
5. Alan Mur et al. Integration of core sample velocity measurements into a 4D seismic survey and analysis of SEM and CT images to obtain pore scale properties // *Energy Procedia*. 2011. V. 4. P. 3676-3683.

**SCANNING ELECTRON MICROSCOPY AND MICROANALYSIS
OF MINERALS IN SEDIMENTARY ROCKS**

A. I. Ivanova¹, V. A. Fenin²

¹Tver State University, 170100 Tver, Russia

²OJSC «Tvergeofizika», Tver, Russia

Microstructure and element composition of core materials retrieved from the depth of 2000...3000 м during drilling with recovery of core with natural formation of the rock structure and composition. Data characterizing the surface topography of the samples in a wide interval of magnification in the regime of secondary electrons and element composition obtained in back-scattered electrons are presented. The obtained results are finding their use in geophysical studies of the microstructure and mineral composition of carbonate rocks serving as oil and gas collectors.

Keywords: *geophysical studies, core material, carbonate rocks, scanning electron microscopy, X-ray microanalysis*

Об авторах:

ИВАНОВА Александра Ивановна –старший преподаватель кафедры прикладной физики, ведущий инженер кафедры прикладной физики; *email:* alex.ivanova33@yandex.ru;