

**XXVIII Российская конференция по электронной микроскопии «Современные методы электронной, зондовой микроскопии и комплементарных методов исследования наноструктур и наноматериалов» г. Черноголовка, 7 – 10 сентября 2020г. Том 3. 254 с.**

В сборнике опубликованы материалы XXVIII Российской конференции по электронной микроскопии «Современные методы электронной, зондовой микроскопии и комплементарных методов исследования наноструктур и наноматериалов», прошедшей 7-10 сентября 2020 г. в Московской области, г.Черноголовка. Представлены тезисы докладов в соответствии тематическими секциями: Новые методы просвечивающей/растровой электронной микроскопии, электронной дифракции и микроанализа. Новые приборы, элементы электронной оптики, детекторы и обработка изображений; Крио-ЭМ и применение электронной, конфокальной сканирующей микроскопии в биологии и медицине; электронная микроскопия, электронная дифракция и микроанализ в исследовании новых материалов; растровая электронная и ионная микроскопия. In-situ исследования в РЭМ; сканирующая зондовая микроскопия; исследование сверхбыстрых процессов, фемтосекундная микроскопия, динамическая электронная кристаллография; электронная и ионная литография. Микроскопия в современных технологиях; электронная микроскопия в химии, геологии и изучении предметов искусства; комплементарные (синхротронные и нейтронные и др.) методы.

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

© 2020, ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

ISBN 978-5-6045073-3-9 (т.3)

ISBN 978-5-6045073-0-8

## Цветовая палитра зала Хаоса Каповой пещеры по результатам инструментальных исследований пигментов

Пахунов А.С.<sup>1</sup>, Варламов Д.А.<sup>2</sup>, Ксенофонтов Д.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт археологии Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт экспериментальной минералогии, Черноголовка, Россия

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
e-mail: [science@pakhunov.com](mailto:science@pakhunov.com)

DOI: 10.37795/RCEM.2020.91.24.039

В Каповой пещере (Шульган-Таш, расположена в республике Башкортостан) пигменты встречаются не только на стенах в четырех залах, но также в культурных слоях в этих залах и в переходе между ярусами. Визуальное сравнение позволяет предположить, что обнаруженные на полу пещеры пигменты могли использоваться и для выполнения рисунков.

В зале Хаоса изображения выполнены красными красками четырех различных оттенков. Половина зала сформирована разноразмерными камнями в результате обвала потолка. В последние годы между камнями были обнаружены многочисленные скопления пигмента.

Для анализа минерально-фазового состава пигментов (16 образцов) использованы методы сканирующей (а также просвечивающей) электронной микроскопии с сопутствующим количественным EDS анализом (изучение микроморфологии частиц и их вещественного состава – выполнены на СЭМ Tescan VEGA TS 5130MM и VEGA-II XMU, ИЭМ РАН, Черноголовка и JEOL JMS 6460 LV, IRAMAT-CRP2A, Бордо) и порошковой рентгеновской дифракции (определение фазового состава – STOE STADI MP, МГУ, Москва).

Большинство пигментов (7 образцов) имеют ежевичный оттенок и содержат крупнокристаллический гематит  $Fe_2O_3$  в форме спекулярита (рис. 1а). Технология обработки спекулярит-содержащего сырья заключалась в измельчении пигмента и смешивании его с глиной (4 образца), аналогичного скоплению, обнаруженному в 2014 году [Пахунов и Житенев, 2015] (рис. 1б). Такого рода пигмент использовался для выполнения изображений в зале Хаоса, а также одного изображения в зале Купольный.

Пигмент светло-красного оттенка (4 образца) встречается на т.н. «палитре» [Котов и др., 2005], а также на ряде небольших камней. Важно отметить, что если спекулярит в скоплениях находится в виде однородного необработанного или частично измельченного минерала, то светло-красный пигмент представляет собой смесь, которая содержит как немодифицированный пластинчатый гематит,

так и гематит, полученный посредством обжига, аналогичный пигменту из культурного слоя зала Знаков (рис. 1в) [Пахунов и др., 2021].

Данные рентгеновской дифракции позволили установить фазовый состав образцов. 7 проанализированных образцов содержат более 90% гематита, что показывает их природное происхождение – для приготовления краски использовался минерал, а не красная охра. В пяти образцах содержится значительное количество кварца и кальцита, однако морфология частиц гематита в них такая же, что и в первой группе – данные образцы были получены путем измельчения минерала. Третья группа, связанная с «палитрой», отличается значительным содержанием филлосиликатов. К четвертой группе относятся содержащие гётит образцы.

Пигменты первых двух групп использовались для выполнения изображений, тогда как веретенообразные частицы в образцах с рисунков не встречались. Вероятно, они использовались в других целях.

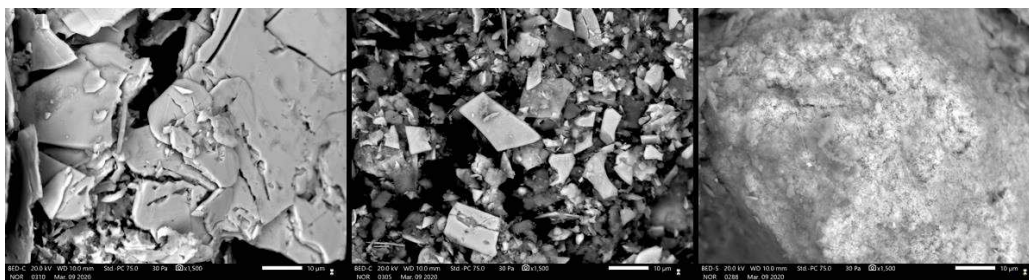


Рис. 1. СЭМ-изображения частиц гематита, масштаб 10 мкм: а) крупные пластинчатые в образце K18-2 б) измельченные пластинчатые в образце K18-23, в) веретенообразные в образце K18-28.

*Данная работа была поддержана РФФИ, проект №18-49-020014*

[1] А.С. Пахунов, В.С. Житенев, *Stratum plus. Археология и культурная антропология*, 1, 125–135 (2015).

[2] В.Г. Котов, Ю.С. Ляхницкий, Ю.Ю. Пиотровский, *Уфимский археологический вестник*, 5, 65–71 (2004).

[3] А.С. Пахунов, Р.Д. Светогоров, А.В. Овчаров, М.Н. Шушунов, Р.А. Сенин, *Российская археология*, 1, 2021 (в печати).