

КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
В ГУМАНИТАРНЫХ НАУКАХ

УДК 902/904,620.187, 622.7.016.34

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКРАШЕННЫХ ЗОН ПОВЕРХНОСТИ СТЕЛЫ  
ИЗ ЯМНОГО СВАТИЛИЩА МОГИЛЬНИКА ПЕСЧАНЫЙ IV

© 2023 г. А. Ю. Лобода<sup>1,2,\*</sup>, П. И. Калинин<sup>3</sup>, И. Н. Трунькин<sup>1</sup>, Р. Д. Светогоров<sup>1</sup>, А. М. Антипин<sup>5</sup>,  
А. В. Бобыльских<sup>4</sup>, Н. В. Леонова<sup>4</sup>, Е. Ю. Терещенко<sup>1,2,5,\*\*</sup>, Е. Б. Яцишина<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия

<sup>2</sup>НИЦ “Курчатовский институт” – ИРЕА, Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Россия

<sup>4</sup>Государственный исторический музей, Москва, Россия

<sup>5</sup>Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН, Москва, Россия

\*E-mail: lobodaau@mail.ru

\*\*E-mail: elenatereschenko@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.09.2022 г.

После доработки 26.09.2022 г.

Принята к публикации 26.09.2022 г.

Представлены результаты исследования окрашенных областей поверхности антропоморфной стелы, найденной в с. Ремонтное и датированной эпохой бронзы. С помощью рентгенофазового анализа и методов электронной микроскопии изучены элементный и фазовый состав образцов. Выявлено, что красный цвет на лицевой поверхности стелы обусловлен красным минеральным пигментом на основе гематита, а темная и зеленая области имеют естественное происхождение, связанное с воздействием окружающей среды на песчаник.

DOI: 10.31857/S0023476123010162, EDN: DPUHCS

## ВВЕДЕНИЕ

В 2019 г. Степной археологической экспедицией Государственного исторического музея в Ростовской области был раскопан курган 17 могильника Песчаный IV, в котором обнаружены два захоронения с мегалитическими конструкциями, характерными для ямной культуры Ергеней [1].

В состав одной из таких конструкций входила антропоморфная стела, ее исследованию посвящена данная работа. Согласно реконструкции захоронения, над которым была установлена стела, представляло собой четырехугольную яму, сооруженную на уровне древней поверхности [2]. На стенах ямы сохранились следы от циновок, окрашенных красным пигментом, дно устлано подстилкой, на которой обнаружены кости ребенка 3.5 лет. Сверху из каменных блоков сложены три яруса кромлеха, в центре которого была установлена антропоморфная стела. Стела найдена упавшей в могильную яму, ее голова при падении откололась [2].

Изначально стела представляла собой плоский каменный блок вытянутой трапециевидной формы со скошенным основанием. Плечи стелы несимметричны, хорошо выделена голова прямо-

угольной формы, на ее лицевой стороне три полукруглых выступа.

На изваянии видны следы грубых сколов и подтесов, в нижней части основания выбито прямоугольное углубление. На центр тулова стелы нанесена красная “точка”, следы красного пигмента также обнаружены на отколоте голове. На правой стороне от плеча к основанию слабо видна полоса в виде темных зигзагов [2].

В задачи исследования входило изучение цветных областей поверхности стелы, визуально прослеженных как на поверхности тулова, так и на отколоте голове изваяния.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На поверхности стелы выделяются темные, зеленые и красные участки, которые, предположительно, могли быть искусственно окрашены пигментами. Для исследования с поверхности тулова и головы стелы скальпелем отобрали образцы различных цветов:

– материал стелы (бежево-серый). Тулово (1, 2), голова (3).

– темный (темно-серый). Тулово, лицевая поверхность (4, 5).

- зеленый. Тулово, лицевая поверхность (6, 7).
- красный. Тулово, центр лицевой поверхности (8).
- красный. Голова, лицевая поверхность (9).

Для исследования морфологии и элементного состава использовали двухлучевой растровый электронно-ионный микроскоп VERSA 3D (Thermo Fisher Scientific) с кольцевым твердотельным детектором обратно рассеянных электронов (CBS), совмещенный с энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором (РЭМ/ЭРМ) – SDD-детектором (EDAX). Съемка проходила при низком вакууме (70 Па) при ускоряющем напряжении 30 кВ и токе 45 нА. Данные РЭМ/ЭРМ о составе усредняли по результатам измерений нескольких точек на каждом образце. Содержание элементов приведено в процентном отношении.

Исследование фазового состава проб проводили методом рентгенофазового анализа (РФА) на экспериментальной станции “РСА” Курчатовского источника синхротронного излучения [3]. Для измерения использовали монохроматическое излучение с длиной волны  $\lambda = 0.8 \text{ \AA}$  (энергия фотонов  $E = 15498 \text{ эВ}$ ), сфокусированное на образце до размера 400 мкм. Регистрацию дифракционных картин осуществляли двумерным позиционно-чувствительным детектором Rayonix SX165, размещенным на расстоянии 80 мм от образца перпендикулярно к оси прямого пучка. Время экспозиции составляло 2 мин. Полученные двумерные дифрактограммы интегрировали к одномерному виду зависимости  $I(2\theta)$  (интенсивности рассеяния  $I$  в точке дифрактограммы от угла рассеяния  $\theta$ ) с использованием программы Dionis [4]. Определение количественного фазового состава проводили методом корундовых чисел [5] с помощью базы данных PDF4+.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Элементный состав.** По данным РЭМ/ЭРМ (табл. 1. Основа: образец 1 области 1, 2, рис. 1а) материал основы состоит из кремния (4.6–43.9%) и кальция (1.2–37.9%) с примесями фосфора (1.3–4.0%) и алюминия (0.8–0.9%). Содержание железа в разных областях съемки колебалось от 0 до 18%, в ряде областей материала основы регистрировались железосодержащие включения (до 60% железа), при расчете среднего состава точки с содержанием железа выше 20% исключались. В элементном составе образцов темного пигмента выявлено присутствие кремния (3.46–36.47%), железа (2.85–4.34%), алюминия (1.5–9.47%), калия (0.67–2.04%), кальция (0–69.15%). Зеленый образец преимущественно состоит из кальция (0–66.67%), кремния (5–55.66%), калия (0.28–9.06%), с примесями алюминия (0.72–1.68%),

фосфора (0.32–1.66%). В составе образцов красного цвета как с тулова, так и с головы стелы преобладает железо (48.28–71.69%), а также присутствует кремний (3.42–11.2%), алюминий (1.4–4.4%) и кальций (1.03–3%) (табл. 1).

**Фазовый состав.** Образец основы, из которого состоит стела, представляет собой смесь кварца (55–85%) и кальцита (15–40%). В небольших количествах присутствует гетит (2%) (табл. 2, образец 1), что согласуется с данными РЭМ/ЭРМ.

В темных образцах 4, 5 помимо кварца (48–57%) и кальцита (0–11%) зафиксированы фазы мусковита (9–11%), альбита (18–25%), клинохлора (1–4%) (табл. 2).

В образцах 6, 7 зеленого цвета выявлены только кварц (92–100%) и кальцит (0–8%) (табл. 2).

Красные образцы 8, 9 с тулова и головы стелы помимо кварца (26–39%) содержат гематит (48–64%), мусковит (2–4%) и альбит (7%) (табл. 2).

**Микроморфология по данным РЭМ.** Установлено, что материалом стелы является кварцевый песчаник, сцементированный карбонатным материалом. На рис. 1а показаны области с повышенным содержанием кремния (обл. 1 – 43.9 мас. %) и кальция (обл. 2 – 37.9 мас. %).

Темные образцы 4, 5 представляют собой налет силикатных минералов и мелких скоплений кристаллов железа (рис. 1б), покрывающих зерна кварца и кальцита материала стелы. Зеленые образцы 6, 7 состоят преимущественно из зерен кварца и кристаллов кальцита (рис. 1в). Красные образцы 8, 9 – скопление мелких кристаллов (рис. 1г), согласно данным РЭМ/ЭРМ и РФА – гематита, имеющих тонкоигольчатое строение.

## ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении состава цветных областей поверхности следует учитывать, что при отборе приповерхностных образцов нельзя исключить влияние материала основы. В данном случае это кварцевый песчаник, сцементированный карбонатным материалом с примесью различных силикатных и железистых минералов (рис. 1а, табл. 1, 2).

Образцы темного цвета с лицевой части стелы по своему фазовому составу отличаются от песчаника, из которого сделана скульптура, большим содержанием силикатов – слюды, полевого шпата и клинохлора, которые и могут быть причиной темной окраски породы. Согласно РЭМ-изображениям образец представляет собой разрозненные скопления мелких кристаллов силикатов на поверхности песчаника.

Маловероятно, что темный цвет обусловлен искусственно нанесенным на стелу пигментом. Песчаник мог иметь более темный оттенок изначально из-за повышенной концентрации сили-

**Таблица 1.** Элементный состав образцов по данным РЭМ/ЭРМ

Образец	Основа			Темный, тулово (№ 4, 5)	Зеленый, тулово (№ 6, 7)	Красный, тулово (№ 8)	Красный, голова (№ 9)
	№ 1 Область 1	№ 1 Область 2	Среднее (№ 1–3)				
C	5.2	3.2	2.8	10.1	5.5	6.3	2.7
O	45.1	45.5	28.0	29.9	25.3	6.2	9.3
Na	0.1	0.4	0.4	1.0	0.1	0.2	0.8
Mg	0.2	0.6	0.6	1.5	0.1	0.1	0.5
Al	0.9	0.8	5.0	9.5	1.2	1.6	3.3
Si	43.9	4.6	19.4	36.5	54.2	4.4	7.7
P	1.3	4.0	1.8	1.0	1.8	0.4	0.2
S	0.7	0.5	1.7	1.5	3.4	0.4	0.1
Cl	0.0	0.5	0.3	0	0.1	0.1	0.4
K	0.1	0.2	1.5	2.04	0.4	0.4	1.0
Ca	1.2	37.9	31.6	0	2.0	1.1	1.2
Ti	0	0.1	0.2	0.3	0	0.2	0.4
Mn	0	0	0.1	0	0	0.1	0.2
Fe	0.2	0.5	4.6	4.3	0.8	77.7	71.6
Cu	0	0	0.2	0	0.2	0.7	0.6
Cr	0.1	0.3	0.2	0	0.1	0	0
Ni	0	0.9	0.8	0.6	0.3	0.1	0
Sn	0.8	0	0.8	1.5	4.8	0	0

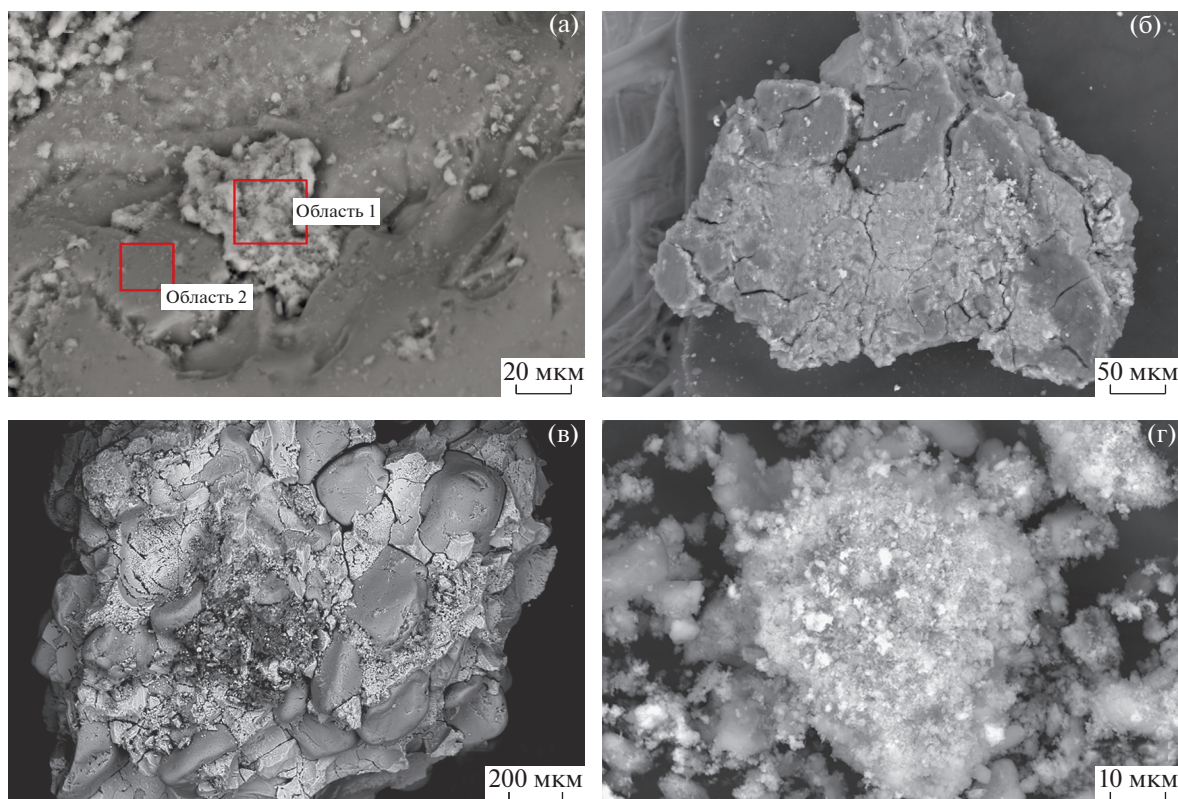
**Таблица 2.** Данные РФА о минеральном составе образцов

Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Основа, %			Темный, тулово, %		Зеленый, тулово, %		Красный, тулово, %	Красный, голова, %
Кварц	55	67	85	48	57	100	92	39	26
Кальцит	40	33	15	11			8		
Гематит								48	64
Мусковит				9	11			4	2
Альбит				18	25			7	7
Клинохлор				4	1				
Гетит	2								

катных минералов. Темный оттенок также мог возникнуть во время экспозиции песчаника на поверхности в результате воздействия агентов выветривания на железосодержащие минералы и первичные силикаты. Такой процесс мог являться аналогом “пустынного загара”, широко распространенного в засушливых областях: в результате попеременного увлажнения и высыхания песчаника происходит усиленное движение капиллярных вод, выносящих на поверхность горной породы соединения железа и марганца, окрашивающие песчаник [6].

Образцы зеленого цвета с лицевой части стелы полностью состоят из кварца и кальцита, что соответствует песчанику стелы. Отсутствие каких-либо других примесей в образце не позволяет говорить о том, что зеленый пигмент является искусственным красителем. Вполне вероятно, что зеленый оттенок является литогенным признаком, унаследованным породой в процессе осадконакопления.

Образцы красного цвета 8, 9 с лицевой поверхности и головы стелы состоят из оксида железа — гематита ( $Fe_2O_3$ ) и кварца ( $SiO_2$ ) с небольшими



**Рис. 1.** РЭМ-изображение в обратно-рассеянных электронах: а – образец 1, области анализа элементного состава с преобладанием кремния (обл. 1) и кальция (обл. 2); б, в, г – образцы 4, 6, 8 соответственно.

примесями мусковита и альбита, которые, как и кварц, по всей видимости, попали в образец из песчаника. Элементный состав подтверждает, что основным компонентом этих образцов является железо. При РЭМ-исследовании морфологии красных образцов выявлено, что они представляют собой скопление скрытокристаллических форм гематита, полностью покрывающих песчаник в месте нанесения. Значительное количество гематита на поверхности песчаника и однородный химический состав образца являются признаками, указывающими на искусственность красящего вещества. Данное предположение подтверждается тем, что в составе песчаника стелы гематит не обнаружен. В нем присутствует незначительное количество гидроксида железа – гетита, имеющего желтый цвет.

Для плейстоценовых лессовидных суглинков и сформированных на них современных каштановых почв не характерно присутствие гематита в сколь-нибудь значимых количествах. Ожелезнение под влиянием грунтовых вод также можно исключить, так как в районе исследования они залегают достаточно глубоко. В связи с этим можно предположить, что красный пигмент на голове и лицевой поверхности стелы не является природным образованием. Он представляет собой

красный минеральный пигмент на основе гематита [7]. Такие пигменты часто встречаются в погребениях эпохи бронзы в данном регионе [8]. Однородный состав, красный цвет, скрытокристаллическое строение агрегатов, отсутствие крупных, правильной формы кристаллов гематита могут свидетельствовать об их технологическом производстве в результате обжига гидроксида железа (гетита) [7].

Однако остается открытым вопрос об умышленной окраске каменной стелы. Красный пигмент нанесен локально в виде пятна небольшого диаметра на лицевой части стелы. Нельзя исключить, что песчаник, из которого изготовлена стела, оказался окрашен красной охрой в результате ее разрушения и падения в могильную яму, где находился пигмент. Кроме того, окрашивание могло произойти в результате случайного попадания охры на стелу при ее изготовлении или в процессе погребального обряда.

Полученные данные не позволяют говорить об антропогенной природе темного и зеленого красителей. Так как песчаник имеет аллювиальное происхождение, это подразумевает значительную разнородность его минерального состава. Неоднородное распространение силикатных минералов (полевых шпатов, слюд) в песчанике стелы

может приводить к формированию разнообразных цветовых оттенков на поверхности скульптуры. По всей вероятности, исходная плита песчаника долгое время пребывала на открытом воздухе. В результате на ее поверхности сформировался слой “пустынного загара”, обусловивший темные, зеленые и бурые оттенки на некоторых участках стелы. Таким образом, воздействие физического, химического и биологического выветривания привело к преобразованию песчаника, изменению его химического и фазового состава, а также цвета поверхности.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты работы позволяют дополнить существующие представления о традиции декорирования мегалитических комплексов эпохи бронзы, в частности ямной культуры Средних Ергеней, к которой относится изученная антропоморфная стела из Песчаного IV, являющаяся на данный момент самой восточной подобной находкой [2].

Материал исследованной стелы был определен как известковистый кварцевый песчаник с примесью различных силикатных и железистых минералов. Образец красного пигмента на лицевой поверхности стелы по химическому составу представляет собой искусственную охру на основе оксида железа – гематита. Возможны две гипотезы появления этого пятна на поверхности стелы – намеренное нанесение охры на изделие и случайное попадание пигмента на стелу из погребения или в процессе строительства кургана. Темная и зеленая области не являются искусственно нанесенным красителем. Зеленый и темный оттенки песчаника могли сформироваться под воздействием процессов выветривания во

время экспозиции плиты песчаника на дневной поверхности, являясь аналогом так называемого “пустынного загара”, покрывающего горные породы в жарком климате.

Работа частично выполнена в рамках государственного задания ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН (в части рентгенодифракционных лабораторных исследований) и тематического плана НИЦ КИ (в части электронно-микроскопических и синхротронных исследований).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шишлина Н.И. // Известия Самарского научного центра РАН. Археология и этнография. 2014. Т. 16. № 3. С. 285.
2. Шишлина Н.И., Леонова Н.В., Калинин П.И. и др. // Труды VI (XXII) Всероссийского археологического съезда в Самаре. СГСПУ. 2020. С. 358.
3. Svetogorov R.D., Dorovatovskii P.V., Lazarenko V.A. // Crystal Research and Technologies. 2020. V. 55. № 5. P. 1900184. <https://doi.org/10.1002/crat.201900184>
4. Светогоров Р.Д. “Dionis – Diffraction Open Integration Software”, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018660965.
5. Hubbard C.R., Evans E.H., Smith D.K. // J. Appl. Cryst. 1976. V. 9. № 2. P. 169. <https://doi.org/10.1107/S0021889876010807>
6. Геологический словарь / Ред. Паффенгольц К.Н. и др. М.: Недра, 1978. Т. 2. 455 с.
7. Калинин П.И., Трифонов В.А., Шишлина Н.И. и др. // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 4. История. Регионоведение. Международные отношения. 2018. Т. 23. № 3. С. 82. <https://doi.org/10.15688/jvolsu4.2018.3.7>
8. Шишлина Н.И. Северо-западный Прикаспий в эпоху бронзы (V–III тысячелетия до н.э.). Труды Государственного исторического музея. Вып. 165. Москва. 2007. 399 с.