



УДК 902.904 (574)
МРНТИ:03.41.11

<https://doi.org/10.52967/akz2026.1.31.258.267>

Элементный анализ пигментов грота Акбауыр по данным pXRF

© 2025 г. Самашев З., Зайцева О.В., Садибеков А.Б., Водясов Е.В.

Keywords: Eastern Kazakhstan, Akbaur Grotto, Bronze Age, rock art, pigments, elemental composition, portable X-ray fluorescence spectrometry (pXRF), iron, paint layer

Түйін сөздер: Шығыс Қазақстан, Ақбауыр үңгірі, қола дәуірі, жартас өнері, пигменттер, элементтік құрам, портативті рентгенфлуоресценттік спектрометрия (pXRF), темір, бояу қабаты

Ключевые слова: Восточный Казахстан, грот Акбауыр, бронзовый век, наскальное искусство, пигменты, элементный состав, портативная рентгенофлуоресцентная спектрометрия (pXRF), железо, красочный слой

Zainolla Samashev¹, Olga Zaitceva^{2*}, Aidar Sadibekov², and Evgeny Vodyasov²

¹Doctor of Historical Sciences, Margulan Institute of Archaeology, Astana, Kazakhstan.

ORCID: [0000-0002-7171-3003](https://orcid.org/0000-0002-7171-3003) E-mail: archaeology_kz@mail.ru

^{2*}Corresponding author, Candidate of Historical Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Oskemen, Kazakhstan.

ORCID: [0000-0002-4590-1238](https://orcid.org/0000-0002-4590-1238) E-mail: snori76@mail.ru

²Researcher, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Oskemen, Kazakhstan.

ORCID: [0000-0002-2932-7029](https://orcid.org/0000-0002-2932-7029) E-mail: ajdarsadibekov@gmail.com

²Candidate of Historical Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Oskemen, Kazakhstan.

ORCID: [0000-0003-2277-2274](https://orcid.org/0000-0003-2277-2274) E-mail: vodiasov_ev@mail.ru

Elemental Analysis of Pigments from the Akbaur Grotto Using pXRF

The article is devoted to the study of the elemental composition of the paint layers of the Akbaur Grotto rock art (Eastern Kazakhstan). The aim of the study is to identify chemical differences between color groups of pigments and to assess their significance for understanding the technology and sequence of image creation. The analysis was carried out in situ using portable X-ray fluorescence spectrometry (pXRF). Digital image enhancement allowed two color groups to be distinguished and compared with the elemental analysis data. Iron was identified as the principal coloring component. Stable differences between the groups were recorded in the relative ratios of Fe/SiO₂ and Fe/Al₂O₃, indicating the heterogeneity in the composition of the paints. The obtained data allow for the use of different sources of mineral raw materials and do not exclude a multi-stage formation of the rock art complex. The study is of a pilot nature and represents the first attempt to apply pXRF to the analysis of pigments in the rock art of Kazakhstan. It is noted that the recorded signal reflects the combined contribution of the paint layer and the underlying rock, which limits the interpretation of the results and determines the need for further research.

Funding source: This research has been funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP23484177).

For citation: Samashev, Z., Zaitceva, O., Sadibekov, A., Vodyasov, E. 2026. Elemental Analysis of Pigments from the Akbaur Grotto Using pXRF. *Kazakhstan Archaeology* 1 (31), 258–267 (in Russian).

DOI: [10.52967/akz2026.1.31.258.267](https://doi.org/10.52967/akz2026.1.31.258.267)



Зайнолла Самашев¹, Ольга Викторовна Зайцева^{2*},
Айдар Бекәділұлы Садибеков², Евгений Вячеславович Водясов²

¹Тарих ғылымдарының докторы, Ә.Х. Марғұлан атындағы Археология институты,
Астана қ., Қазақстан

^{2*}Корреспондент авторы, тарих ғылымдарының кандидаты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан
техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

²Ғылыми қызметкер, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан

²Тарих ғылымдарының кандидаты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан

Ақбауыр үңгірі пигменттерінің элементтік құрамы (pXRF әдісі бойынша)

Мақала Шығыс Қазақстандағы Ақбауыр үңгіріндегі жартас суреттерінің бояу қабаттарының элементтік құрамын зерттеуге арналған. Зерттеудің мақсаты – пигменттердің түстік топтары арасындағы химиялық айырмашылықтарды анықтау және олардың бейнелерді жасау технологиясы мен орындалу реттілігін айқындаудағы маңызын бағалау. Талдау *in situ* жағдайында портативті рентгенфлуоресценттік спектрометрия (pXRF) әдісімен жүргізілді. Кескіндерді цифрлық өңдеу нәтижесінде екі түстік топ айқындалып, олар элементтік талдау нәтижелерімен салыстырылды. Негізгі бояушы компонент темір болғаны анықталды. Топтар арасында Fe/SiO₂ және Fe/Al₂O₃ салыстырмалы қатынастары бойынша тұрақты айырмашылықтар тіркелді, бұл бояулар құрамының біртекті еместігін көрсетеді. Алынған деректер әртүрлі минералдық шикізат көздерінің пайдаланылғанын болжауға мүмкіндік береді және жартас суреттері кешенінің көп кезеңді қалыптасуын жоққа шығармайды. Зерттеу пилоттық сипатқа ие және Қазақстан аумағындағы жартас өнері пигменттерін талдауда pXRF әдісін қолданудың алғашқы тәжірибесі болып табылады. Тіркелген спектрлік деректер бояу қабаты мен астындағы жыныстың жиынтық әсерін көрсететіндіктен, бұл жағдай нәтижелерді интерпретациялауға белгілі бір шектеулер енгізеді және әрі қарайғы зерттеулер жүргізу қажеттілігін айқындайды.

Қаржыландыру көзі: Зерттеу ҚР ҒЖБМ Ғылым комитетінің 2024–2026 жж. гранттық қаржыландыру шеңберінде, ЖТН AP23484177 аясында жүргізілді.

Сілтеме үшін: Самашев З., Зайцева О.В., Садибеков А.Б., Водясов Е.В. Ақбауыр үңгірі пигменттерінің элементтік құрамы (pXRF әдісі бойынша). *Қазақстан археологиясы*. 2026. № 1 (31). 258–267-бб. (Орысша).

Зайнолла Самашев¹, Ольга Викторовна Зайцева^{2*},
Айдар Бекадилович Садибеков², Евгений Вячеславович Водясов²

¹Доктор исторических наук, Институт археологии имени А.Х. Маргулана, г. Астана, Казахстан

^{2*}Автор-корреспондент, кандидат исторических наук, Восточно-Казахстанский
технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

²Научный сотрудник, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

²Кандидат исторических наук, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Элементный анализ пигментов грота Акбауыр по данным pXRF

Статья посвящена изучению элементного состава красочных слоёв росписей грота Акбауыр (Восточный Казахстан). Цель исследования – выявить химические различия между цветовыми группами пигментов и оценить их значение для понимания технологии и последовательности создания изображений. Анализ выполнен методом портативной рентгенофлуоресцентной спектрометрии (pXRF) *in situ*. По результатам цифровой обработки изображений выделены две цветовые группы, сопоставленные с данными элементного анализа. Установлено, что основным красящим компонентом является железо. Зафиксированы устойчивые различия между группами по относительным соотношениям Fe/SiO₂ и Fe/Al₂O₃, что свидетельствует о неоднородности состава красок. Полученные данные допускают использование различных источников минерального сырья и не исключают многоэтапности формирования комплекса росписей. Работа носит пилотный характер и представляет собой первый опыт применения pXRF для анализа пигментов наскального искусства Казахстана. Отмечается, что регистрируемый сигнал отражает суммарный вклад красочного слоя и подстилающей породы, что ограничивает интерпретацию результатов и определяет необходимость дальнейших исследований.

Источник финансирования: Исследование выполнено в рамках грантового финансирования Комитета науки МНВО РК 2024–2026 гг., ИРН проекта AP23484177.

Для цитирования: Самашев З., Зайцева О.В., Садибеков А.Б., Водясов Е.В. Элементный анализ пигментов грота Акбауыр по данным pXRF. *Археология Казахстана*. 2026. № 1 (31). С. 258–267.



1 Введение

Росписи грота Акбауыр, расположенного в Уланском районе Восточно-Казахстанской области (рис. 1)*, широко известны мировой науке [Самашев 2025; Rozwadowski, Lymer 2012].



Рис. 1. Карта с указанием расположения грота Акбауыр
1-сур. Ақбауыр үңгірінің орналасуын көрсететін карта
Fig. 1. Map showing the location of the Akbaur Grotto

Акбауыр можно по праву назвать уникальным памятником наскального искусства не только по причине редкости подобных изображений, выполненных минеральными красками, но и благодаря сложной композиции, включающей более 80 фигур и знаков (рис. 2). В научной литературе росписи грота Акбауыр датируются концом III – началом II тыс. до н.э. на основании рисунка двухколёсной повозки, рассматриваемого как хронологический индикатор, но при этом допускается и многоэтапное формирование комплекса [Самашев 2006; 2025].

Недавно была создана трёхмерная модель Акбауыра и проведена обработка текстуры внутренней поверхности грота с помощью пигментных карт и декорреляционного растяжения, что позволило выявить новые рисунки, практически не видимые человеческим глазом [Зайцева и др. 2024]. Интерактивная 3D-модель грота Акбауыр размещена на хостинге Sketchfab по ссылке <https://sketchfab.com/3d-models/akbauyr-b06700d326054bf3b333ad41257f20ae>.

*Иллюстрации подготовлены авторами.



Рис. 2. Грот Акбауыр. Цифровая аналитическая прорисовка на основе ортофото и сопоставления различных режимов DStretch с указанием точек pXRF-анализа
2-сур. Ақбауыр үңгірі. Ортофото негізінде жасалған цифрлық аналитикалық сызба және pXRF талдау нүктелері көрсетілген DStretch бағдарламасының әртүрлі режимдерін салыстыру
Fig. 2. Akbaaur Grotto. Digital analytical tracing based on an orthophoto and comparison of different DStretch enhancement modes with indicated pXRF analysis points



Несмотря на значительное количество публикаций, посвящённых иконографии и проблемам семантики комплекса, технологические аспекты создания росписей до настоящего времени практически не изучались. Чаще всего археологи, видя изображения, нанесённые красными, бордовыми, оранжевыми или жёлтыми пигментами, определяют их как охры без проведения химических анализов. Однако как минимум с неолита были известны и другие минеральные красители, дающие яркие красные оттенки, например, киноварь [Gliozzo 2021].

Также в археологических и искусствоведческих работах наблюдается неоднозначность употребления самого термина «охра». Необходимо различать рудные и глинистые охры. Основными компонентами глинистой охры являются оксиды железа, а также различные глинистые минералы. Последние были легко доступны в древности и могли использоваться в качестве пигмента практически без предварительной подготовки. Для приготовления охры на основе различных железных руд (гематит, гётит, сидерит и др.) их необходимо было предварительно истолочь в порошок и добавить связующие органические вещества. Так или иначе, основными красящими компонентами всех типов охр являются оксиды железа, а их наличие или отсутствие в росписях Восточного Казахстана пока ещё не было засвидетельствовано инструментально.

подавляющее большинство изображений в гроте Акбауыр нанесены краской бордового оттенка, однако также выделяются отдельные линии и точки, изображённые более светлым, условно – оранжевым пигментом. Видимость этих различий невооружённым глазом минимальна и очень сильно зависит от индивидуальных особенностей зрения наблюдателя.

Обработка фотографий методом декорреляционного растяжения (DStretch) позволила усилить цветовые вариации, слабо заметные при обычном наблюдении (рис. 3). Следует подчеркнуть, что ложные цвета, формируемые алгоритмом DStretch, не отражают реального спектрального состава пигментов [Harman 2015]. Тем не менее усиление контрастов выявило устойчивые различия между группами линий, условно обозначенных как «бордовые» и «оранжевые», а также возможные случаи перекрытия одних изображений другими. Эти наблюдения позволили сформулировать рабочую гипотезу о применении в гроте не одного, а как минимум двух пигментов, отличающихся по цветовым характеристикам.

Целью настоящего исследования является определение элементного состава красок грота Акбауыр и предварительная оценка их минеральной природы с учётом особенностей подстилающей породы. Также стояла задача сравнения элементного состава пигментов различной цветовой гаммы. Полученные данные о составе красок могут рассматриваться как дополнительный источник информации о возможных этапах формирования комплекса росписей.

Изучение состава минеральных красителей и источников их происхождения позволяет не только уточнять технологические особенности древней живописи, но и обсуждать вопросы сырьевого обеспечения, локальных традиций и культурных связей. В условиях высокой уязвимости наскальных изображений приоритетное значение приобретают неdestructивные методы анализа *in situ*.

2 Материалы и методы

В последние десятилетия в мировой практике изучения наскального искусства широкое распространение получил портативный рентгенофлуоресцентный анализ (pXRF), позволяющий определять элементный состав пигментов непосредственно на памятнике без отбора проб. Метод успешно применяется при исследовании наскальной живописи в Европе, Австралии, Америке и Африке [Beck et al. 2012; Gay et al. 2016; Huntley et al. 2018]. Вместе с тем подчёркивается, что результаты pXRF отражают суммарный сигнал от красочного слоя, субстрата и вторичных



Рис. 3. Грот Акбауыр. Фрагменты композиции с бордовыми и оранжевыми пигментами:
1, 3 – оригинальные фотографии; 2, 4 – обработка плагином DStretch в режиме LDS
(параметр растяжения 20)

3-сур. Ақбауыр үңгірі. «Қою қызыл» және «қызғылт сары» пигменттері бар композиция фрагменттері:
1, 3 – түпнұсқа фотосуреттер; 2, 4 – DStretch плагиіні арқылы LDS режимінде өңдеу (созу параметрі 20)

Fig. 3. Akbaur Grotto. Fragments of the composition with «dark red» and «orange» pigments:
1, 3 – original photographs; 2, 4 – processed with the DStretch plugin in LDS mode (stretch parameter 20)

поверхностных образований, что требует осторожной интерпретации данных [Gay et al. 2016; Huntley 2012]. Портативный РФА рассматривается прежде всего как предварительный этап исследования, позволяющий выявить основные элементные характеристики пигментов и оценить состояние их сохранности.

В Казахстане подобные исследования минеральных красителей ранее не проводились. Настоящая работа представляет собой первый опыт применения метода pXRF для анализа изображений Акбауыра и носит пилотный характер.



Нами использовался портативный спектрометр S1 TITAN (Bruker, USA). Анализы выполнялись в режиме GeoExploration, продолжительность каждого измерения составляла 90 с. Всего сделано 14 анализов, среди которых девять образцов бордового пигмента, три образца – оранжевого, два образца – поверхности гранита за пределами росписей, выполненных для оценки влияния подстилающей породы (рис. 2). Приведённые значения отражают относительные показатели в рамках режима GeoExploration и не соответствуют валовому геохимическому составу породы. Фоновые измерения были необходимы для оценки вклада подстилающей породы в зарегистрированный сигнал.

Следует также отметить, что программное обеспечение спектрометра автоматически выводит часть элементов в форме оксидов (MgO, Al₂O₃, SiO₂, K₂O), тогда как ряд элементов представлен в виде элементных концентраций (Fe, Ca, P, S). В настоящей работе использованы значения в том виде, в каком они формируются прибором.

3 Результаты и обсуждение

Рентгенофлуоресцентный анализ показал, что пигменты характеризуются повышенным содержанием железа, которое и является их главным красящим компонентом (табл. 1). Вероятно, основу красок составляли оксидные или гидроксидные соединения железа, традиционно относимые к охрам. Вместе с тем метод pXRF позволяет определить лишь элементный состав и не даёт возможности установить минеральную фазу, поэтому конкретная форма железосодержащего минерала в рамках настоящего исследования определена быть не может.

*Таблица 1 – Грот Акбауыр. Элементный состав пигментов и гранита по данным pXRF (полуколичественные значения, вес. %, режим GeoExploration)
1-кесте – Ақбауыр үңгірі. pXRF деректері бойынша пигменттер мен граниттің элементтік құрамы (жартылай сандық мәндер, салмақтық %, GeoExploration режимі)
Table 1 – Akbaur Grotto. Elemental composition of the pigments and granite based on pXRF data (semi-quantitative values, wt. %, GeoExploration mode)*

Номер	Цвет пигмента	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P	S	K ₂ O	Ca	Fe
2155	бордовый	0,22	4,57	14,97	0,5	9,07	0,84	9,11	3,77
2156	бордовый	0,94	3,56	15,13	0,35	3,47	0,6	8,02	2,91
2157	бордовый	0,32	4,86	12,07	0,52	10,78	0,61	9,77	5,95
2158	бордовый	0,75	2,9	12,27	0,38	3,67	0,41	5,84	3,53
2159	оранжевый	1,17	1,8	4,82	0,28	1,87	0,3	5,67	1,85
2160	оранжевый	0,77	3,08	7,53	0,75	5,14	0,69	7,11	1,12
2161	бордовый	0,58	3,76	10,98	0,3	7,39	0,58	11,5	2,67
2162	бордовый	0,75	2,75	8,82	0,31	2,69	0,58	7,38	2,86
2163	оранжевый	0,53	3,42	9,64	0,33	7,62	0,62	7,02	0,82
2164	бордовый	0,84	4,26	12,97	0,84	6,33	0,81	8,66	1,79
2165	бордовый	0,57	3,3	11,36	0,48	11,13	0,5	8,31	2,7
2166	бордовый	1	3,08	12,52	0,49	12,17	0,27	10,72	8,07
2168	субстрат	0	2,36	7,28	0,24	14,56	0,29	12,51	0,59
2169	субстрат	0,36	1,16	3,39	0,22	13,21	0,45	8,62	0,59



Сравнение пигментных зон с фоновыми измерениями показывает, что ряд элементов (прежде всего Fe) демонстрирует устойчивое повышение концентраций в пределах красочного слоя. Напротив, элементы, характеризующиеся сопоставимыми или более высокими значениями в фоновом сигнале (например, Ca и S), вероятно, в значительной степени связаны с влиянием подстилающей породы.

Для оценки различий двух пигментов использовались относительные соотношения содержания железа к кремнезёму (SiO_2) и оксиду алюминия (Al_2O_3). Установлено, что по соотношению железа к оксидам алюминия и кремния значения для бордового и оранжевого пигментов формируют различные группы (рис. 4). Бордовый пигмент характеризуется более высокими значениями железа и одновременно более высокими концентрациями SiO_2 и Al_2O_3 . Несмотря на ограниченный объём выборки, различия между группами носят систематический характер.

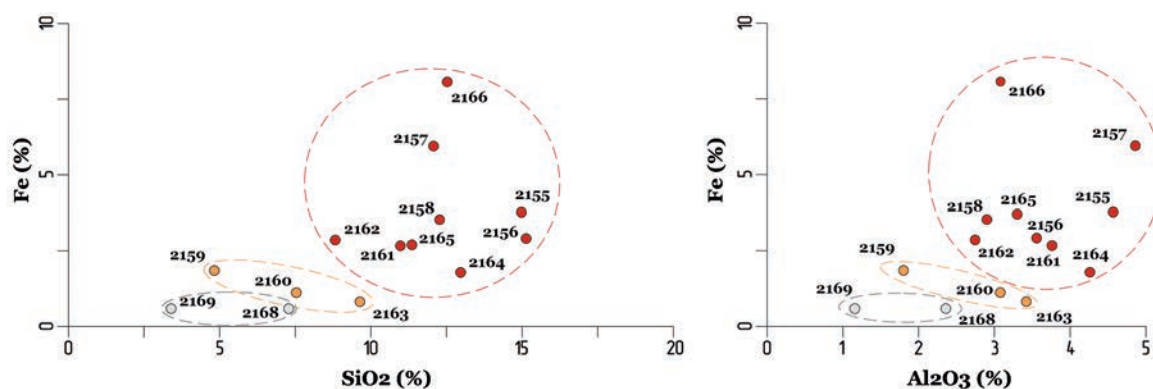


Рис. 4. Диаграммы рассеяния Fe– SiO_2 (слева) и Fe– Al_2O_3 (справа) по данным pXRF. Красные точки – бордовый пигмент, оранжевые точки – оранжевый пигмент, серые точки – гранитная поверхность

4-сур. pXRF деректері бойынша Fe– SiO_2 (сол жақта) және Fe– Al_2O_3 (оң жақта) шашырау диаграммалары. Қызыл нүктелер – қою қызыл пигмент, қызғылт сары нүктелер – қызғылт сары пигмент, сұр нүктелер – гранит беті

Fig. 4. Fe– SiO_2 (left) and Fe– Al_2O_3 (right) scatter plots based on pXRF data. Red points indicate the dark red pigment, orange points indicate the orange pigment, and grey points represent the granite surface

В результате выявлена корреляция между визуально фиксируемой цветовой дифференциацией пигментов и различиями в их элементном составе, выраженными в соотношениях Fe/ SiO_2 и Fe/ Al_2O_3 . Это позволяет рассматривать наблюдаемые цветовые вариации не как исключительно оптический эффект, а как отражение различий в составе минерального сырья.

Следует отметить, что цвет железосодержащих пигментов определяется не только концентрацией железа, но и минералогической формой соединений, размером частиц, степенью дегидратации, а также технологией подготовки сырья (например, возможным прокаливанием). В рамках настоящего изучения установлены различия в элементном составе красок, однако вопрос о минералогических факторах, влияющих на оттенок, требует дополнительных фазовых определений.

В Восточном Казахстане известны проявления железа, включая зоны окисления рудных проявлений, коры выветривания и железистые осадочные образования, которые могли служить источником охристого материала [Ulykrapova et al. 2024]. Однако их связь с конкретным



источником сырья для Акбауыра в рамках данной статьи не устанавливалась. Дальнейшее изучение региональных железистых проявлений и их сравнительный геохимический анализ может стать перспективным направлением исследований.

Повышенные содержания SiO_2 и Al_2O_3 в бордовом пигменте по сравнению с оранжевым могут указывать на различную степень примеси глинистых компонентов или на использование сырья из различных геологических контекстов. При этом различия могут быть обусловлены как эксплуатацией разных природных источников, так и вариациями в подготовке и обработке одного и того же сырья.

4 Заключение

Проведённое исследование позволило впервые получить инструментальные данные об элементном составе красок грота Акбауыр с использованием портативного рентгенофлуоресцентного анализа. Установлено, что основным красящим компонентом является железо, вероятно, представленное оксидными или гидроксидными соединениями. Выявлены устойчивые различия между условно бордовым и оранжевым пигментами по соотношениям Fe/SiO_2 и $\text{Fe}/\text{Al}_2\text{O}_3$, что свидетельствует о различии их элементного состава. Полученные данные подтверждают, что наблюдаемая цветовая дифференциация отражает особенности исходного минерального сырья либо способов его подготовки.

В правой части композиции зафиксированы перекрытия изображений, выполненных различными по составу красками, что может свидетельствовать о многоэтапности формирования комплекса. Однако для окончательных выводов необходимы дополнительные анализы.

Настоящее исследование носит пилотный характер и демонстрирует потенциал недеструктивного портативного рентгенофлуоресцентного анализа для изучения наскального искусства. Вместе с тем pXRF фиксирует суммарный элементный сигнал и не позволяет определить минеральные фазы или наличие возможных органических связующих. В перспективе уточнение минеральной природы пигментов и особенностей их приготовления возможно при комплексном применении фазовых и спектроскопических методов, таких как рамановская спектроскопия, портативная рентгенодифракция (pXRD) и инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье (FTIR). Их использование позволит более детально охарактеризовать железосодержащие компоненты пигментов и уточнить технологические аспекты создания росписей.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Зайцева О.В., Вавулин М.В., Водясов Е.В. Увидеть невидимое: цифровая реконструкция и выявление новых рисунков грота Акбауыр // Сибирские исторические исследования. 2024. № 4. С. 100–112.
- 2 Самашев З.С. Петроглифы Казахстана. Алматы: Өнер, 2006. 199 с.
- 3 Самашев З. Изобразительная деятельность древнего населения Казахского Алтая. Семей: Шәкәрім университеті, 2025. 476 с.
- 4 Beck L., Lebon M., Reiche I., Menu M., Valladas H., Paillet P. Analytical study of Paleolithic black pigments in Lascaux Cave (Dordogne, France) // JAS. 2012. Vol. 39 (7). Pp. 2468–2476.
- 5 Gay M., Plassard F., Lebon M., Reiche I., Menu M., Paillet P. In situ pXRF analyses of Palaeolithic cave paintings: methodological issues and perspectives // JAS: Reports. 2016. Vol. 10. Pp. 894–905.
- 6 Gliozzo E. Pigments – mercury-based red (cinnabar-vermilion) and white (calomel) and their degradation products // Archaeological and Anthropological Sciences. 2021. Vol. 13. Art. 210.
- 7 Harman J. Using DStretch for rock art recording // International Newsletter on Rock Art. 2015. № 72. Pp. 24–30.
- 8 Huntley J. Cave paintings and portable XRF: methodological considerations for in situ analysis // JAS. 2012. Vol. 39 (7). Pp. 2313–2321.
- 9 Huntley J., Brand H.E.A., Watchman A., Codding B.F. Portable XRF analysis of rock art pigments: implications for chronology and technology // Archaeometry. 2018. Vol. 60 (4). Pp. 779–795.



- 10 Rozwadowski A., Lymer K. Rock art in Central Asia: history, recent developments and new directions // *Rock Art Studies: News of the World IV* / P. Bahn, N. Franklin, M. Strecker (eds.). Oxford: Oxbow Books, 2012. Pp. 149–163.
- 11 Ulykpanova M.M., Auezova Z.T., Ramazanova N.E., Mussabaeva M.N., Zhanguzhina A.A. Application of remote-sensing data in geochemical studies of soils of the Yertis River basin within East Kazakhstan // *Quaestiones Geographicae*. 2024. Vol. 43 (1). Pp. 157–164.

REFERENCES

- 1 Zaitceva, O. V., Vavulin, M. V., Vodyasov, E. V. 2024. In *Sibirskie istoricheskie issledovaniya (Siberian Historical Research)* 4, 100–112 (in Russian).
- 2 Samashev, Z. S. 2006. *Petroglyphy Kazakhstana (Petroglyphs of Kazakhstan)*. Almaty: “Oner” Publ. (in Russian).
- 3 Samashev, Z. 2025. *Izobrazitelnaya deyatelnost drevnego naseleniya Kazakhskogo Altaya (Artistic activities of the ancient population of the Kazakh Altai)*. Semey: Shakarim University (in Russian).
- 4 Beck, L., Lebon, M., Reiche, I., Menu, M., Valladas, H., Paillet, P. 2012. In *JAS* 39 (7), 2468–2476.
- 5 Gay, M., Plassard, F., Lebon, M., Reiche, I., Menu, M., Paillet, P. 2016. In *JAS: Reports* 10, 894–905.
- 6 Gliozzo, E. 2021. In *Archaeological and Anthropological Sciences* 13, 210.
- 7 Harman, J. 2015. In *International Newsletter on Rock Art* 72, 24–30.
- 8 Huntley, J. 2012. In *JAS* 39 (7), 2313–2321.
- 9 Huntley, J., Brand, H. E. A., Watchman, A., Coddling, B. F. 2018. In *Archaeometry* 60 (4), 779–795.
- 10 Rozwadowski, A., Lymer, K. 2012. In: Bahn, P., Franklin, N., Strecker, M. (eds.). *Rock Art Studies: News of the World IV*. Oxford: Oxbow Books, 149–163.
- 11 Ulykpanova, M. M., Auezova, Z. T., Ramazanova, N. E., Mussabaeva, M. N., Zhanguzhina, A. A. 2024. In *Quaestiones Geographicae* 43 (1), 157–164.

CRediT authorship contribution statement

Z. Samashev: conceptualization, manuscript editing.

O. Zaitceva: manuscript writing, organization of field research, provision of resources.

A. Sadibekov: pXRF analysis, methodology.

E. Vodyasov: formal analysis, methodology, manuscript writing and editing.

Авторлық үлес

З. Самашев: тұжырымдау, қолжазбаны редакциялау.

О.В. Зайцева: қолжазбаны жазу, далалық зерттеулерді ұйымдастыру, ресурстарды көрсету

А.Б. Садібеков: pXRF талдау жүргізу, әдіснамасы.

Е.В. Водясов: ресми талдау, әдіснамасы, қолжазбаны жазу және редакциялау.

Авторский вклад

З. Самашев: концептуализация, редактирование рукописи.

О.В. Зайцева: написание рукописи, организация полевых исследований, предоставление ресурсов.

А.Б. Садібеков: проведение pXRF анализов, методология.

Е.В. Водясов: формальный анализ, методология, написание и редактирование рукописи.

Мүдделер қақтығысы туралы ақпаратты ашу. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді / Раскрытие информации о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / Disclosure of conflict of interest information. The authors claim no conflict of interest.

Мақала туралы ақпарат / Информация о статье / Information about the article.

Редакцияға түсті / Поступила в редакцию / Entered the editorial office: 02.03.2026.

Рецензенттер мақұлдаған / Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 16.03.2026.

Жариялауға қабылданды / Принята к публикации / Accepted for publication: 16.03.2026.