

АРХЕОЛОГО-АНТРОПОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная статья
УДК 902
doi: 10.17223/2312461X/46/4

Увидеть невидимое: цифровая реконструкция и выявление новых рисунков грота Акбауыр

Ольга Викторовна Зайцева¹
Михаил Викторович Вавулин²
Евгений Вячеславович Водясов³

^{1, 2, 3} Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан
¹ snori76@mail.ru

Аннотация. Представлена цифровая реконструкция писаницы грота Акбауыр (Восточный Казахстан, эпоха ранней бронзы). При трехмерном документировании рисунков были совмещены технология фотограмметрии и использование различных методов визуализации плохо различимых изображений, выполненных минеральными красками. Текстура модели внутренней части грота была обработана методами пигментных карт и декорреляционного растяжения, что позволило выявить в гроте Акбауыр новые рисунки, практически невидимые человеческим глазом. Итоговая интерактивная трехмерная модель грота Акбауыр размещена в свободном доступе на платформе Sketchfab.

Ключевые слова: Восточный Казахстан, эпоха ранней бронзы, наскальные изображения, минеральные краски, цифровая реконструкция

Благодарности: статья подготовлена в рамках грантового финансирования Комитета наук МНВО РК 2024–2026 гг., ИРН проекта AP23484177.

Для цитирования: 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. doi: 10.17223/2312461X/46/4

Original article
doi: 10.17223/2312461X/46/4

Seeing the Invisible: Digital Reconstruction and Identification of New Drawings of the Akbauyr Grotto

Olga V. Zaitceva¹, Mikhail V. Vavulin², Evgeny V. Vodyasov³

^{1, 2, 3} D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan
¹ snori76@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the digital reconstruction of the ancient drawings in Akbauyr grotto (East Kazakhstan, Early Bronze Age). The three-dimensional documentation of the drawings was combined with photogrammetry technology and the use of various methods of visualization of poorly visible images. The texture of the model of the grotto interior was processed using pigment map and decorrelation stretching methods, which made it possible to reveal new drawings in the Akbauyr grotto that are practically invisible to the human eye. The final interactive three-dimensional model of the Akbauyr grotto is freely available on the Sketchfab platform.

Keywords: East Kazakhstan, Early Bronze Age, rock art, mineral paints, digital reconstruction

Acknowledgements: This article was prepared under grant funding from the MNVO RK Science Committee 2024-2026, Project IRN AP23484177.

For citation: Zaitceva, O.V., Vavulin, M.V. & Vodyasov, E.V. (2024) Seeing the Invisible: Digital Reconstruction and Identification of New Drawings of the Akbauyr Grotto. *Sibirskie Istoricheskie Issledovaniia – Siberian Historical Research*. 4. pp. 100–112 (In Russian). doi: 10.17223/2312461X/46/4

Введение

В абсолютном большинстве случаев известные на востоке Казахстана петроглифы выполнены выбивкой, шлифовкой или гравировкой. Значительно реже встречается использование краски для нанесения рисунков на скалы. Всего здесь известно порядка десяти местонахождений различных изображений, выполненных красной минеральной краской (Спаский 1818: 81, табл. IV; 1857: 159–160, табл. VII; Адрианов 1916: 76; Драверт 1930; Самашев 1990, 1992; Мерц 2002, 2010; Самашев и др. 2010; Рогожинский 2011; Илиуф 2012; Самашев 2023). По современному административному делению они находятся в Павлодарской, Абайской и Восточно-Казахстанской областях. Часть писаниц с росписями, известных с XIX в., вероятно, была затоплена при строительстве каскада ГЭС на Иртыше.

Вопрос датировки этих красочных изображений остаётся открытым, при этом подавляющее большинство исследователей относят их к концу III – началу II тыс. до н. э. (Самашев 1990: 123; Самашев 2006: 31; Рогожинский 2011: 240; Новоженов 2012: 167). Не исключено, что их комплексное исследование и документирование современными методами позволят сузить датировку или, напротив, выделить среди них несколько стилей и хронологических пластов.

Редкость древних красочных изображений по сравнению с петроглифами может отчасти объясняться их большей уязвимостью по отношению к различным внешним факторам. Сохранность рисунков напрямую зависит от воздействия воды, ветра и солнца. Иногда консервации краски способствует образующаяся на скале корочка кальцитовых отложений, но она же и затрудняет её обнаружение. Кроме того, сохранность

росписей также может зависеть от свойств самой краски и характера скальной поверхности с рисунками. Все известные нам восточноказахстанские росписи нанесены на светлые «белые» граниты и находятся в хорошо защищенных гротах или скальных нишах. Ответить сегодня на вопрос, наносились ли росписи в том числе и на открытые скальные поверхности, не представляется возможным, поскольку в таком случае их уничтожение в ходе природных процессов практически неизбежно.

Писаница в гроте Акбауыр – самая известная в Восточном Казахстане и к тому же единственная, которой повезло быть музеефицированной. Грот с рисунками расположен в 35 км от г. Усть-Каменогорск у юго-западного склона горы Коржынбай (рис 1). Первые подробные научные описания памятника сделаны З.С. Самашевым (1990, 1992).

Грот Акбауыр имеет достаточно сложную геометрическую форму. Общий размер полости грота составляет 10,5 x 5,3 x 2,2 м по максимальным измерениям, однако площадь, где относительно свободно может поместиться человек, значительно меньше – 4,4 x 4,4 x 2,2 м. На потолке грота имеется отверстие овальной формы, через которое проникает дневной свет, позволяющий видеть красочные изображения без дополнительного освещения.

Рисунки, выполненные темно-красной охрой, расположены на противоположной от входа стене грота и частично на своде потолка. Композиция включает около 80 различных фигур и знаков. Среди однозначно узнаваемых образов выделяются антропоморфные фигуры, конусовидные жилища, изображения повозки и горного козла.



Рис. 1. Местонахождение грота Акбауыр

Часть рисунков сегодня практически неразличима, поэтому было решено применить комплекс цифровых методов, способных визуализировать рисунки плохой сохранности.

Нашей основной целью было найти оптимальное решение для цифровой реконструкции рисунков грота Акбауыр – «проявить» плохо различимые рисунки и «наложить» их на трехмерную модель грота и прилегающей территории.

Методы

Применение цифровых методов документирования и исследования древних наскальных изображений, выполненных минеральными красками, переживает сегодня настоящий бум. Революционный прорыв в области выявления и фиксации красочных изображений обеспечили два метода, основанные на разделении информации на яркостной и цветовой сигналы: метод пигментных карт и метод декорреляционного растяжения. Они позволяют визуализировать плохо или даже вовсе не видимые человеческим глазом изображения (Harman 2005, 2015; Миклашевич, Солодейников 2013; Gunn, Douas, Whear 2014; Благун, Зоткина 2018; Симухин и др. 2018; Keep, Gunn, Goodes 2024).

Для трехмерной оцифровки грота Акбауыр и окружающего его ландшафта применялась технология фотограмметрии (Kasser, Egels 2002; Luhmann et al. 2011; Gillies 2015). Использовались две фотокамеры:

- камера дрона DJI Mavic Air 2 (матрица 12 Мп (4000 × 3000), 1/2" (6,4 × 4,8 мм), фокусное расстояние объектива 4,5 мм) для съемки окружающей территории и внешней части скалы;

- камера Nikon D800 (матрица 36 Мп (7360 × 4912), 13/8" (36 × 24 мм), фокусное расстояние объектива 24 мм) для съемки внешней и внутренней части грота с близкого расстояния.

Фиксация изображений в контексте их расположения требовала проведения разномасштабной оцифровки с различной детализацией. Для этого было снято шесть серий фотографий. Три серии были получены с дрона DJI Mavic Air 2:

- съемка с дрона окружающей территории площадью 87 500 м² с высоты 200 м при разрешении GSD (ground sample distance) до 7,1 см/пикс (He, Li, Zhang, 2012);

- съемка с дрона прилегающей к гроту территории площадью 7 200 м² с высоты 80 м при разрешении до 2,8 см/пикс;

- съемка с дрона внешней части скалы и входа в грот с близкого расстояния (15–20 м), площадь 200 м², при разрешении до 5 мм.

Ещё три серии фотографий были получены с земли с помощью камеры Nikon D800:

- съемка внешней части грота, примерно повторяющая съемку с дрона, для соединения фиксаций, произведенных с воздуха и земли;
- съемка внутренней части грота по сценарию, рекомендованному для съемок интерьеров (Agisoft LLC 2024: 11) для создания правильной геометрии внутреннего помещения;
- крупномасштабная съемка стен и потолка грота для фиксации рисунков с высоким разрешением, с расстояния около 1 м при разрешении около 0,2 мм.

При этом в самом высоком разрешении фотографировалась вся площадь стен и потолка грота, так как там могли присутствовать плохо сохранившиеся рисунки.

Для соединения съемок внешней и внутренней частей грота, масштабирования и выравнивания модели в системе координат использовались позиционные маркеры, координаты которых были измерены с помощью тахеометра.

Фотограмметрическая обработка проводилась в программном обеспечении Agisoft Metashape. Всего было создано четыре блока обработки, выходными данными которых являлись текстурированные 3D-модели соответствующего масштаба: окружающая территория; прилегающая территория; вход в грот и внешняя скала; стены и потолок грота. Из каждой модели были вырезаны соответствующие области различных уровней детализации (рис. 2).

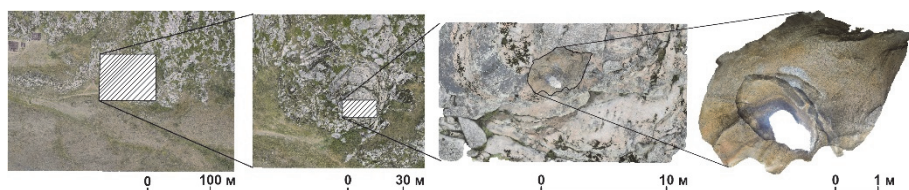


Рис. 2. 3D-модели различных уровней детализации. Слева направо: окружающая территория, прилегающая территория, вход в грот и его внешняя часть, стены и потолок грота

Текстура модели внутренней части грота была дополнительно обработана для улучшения отображения древних рисунков. В обработке использовались методы пигментных карт (Миклашевич, Солодейников 2013; Солодейников 2020) и декорреляционного растяжения изображений (Alley 1996; Harman 2005).

В первом случае обработка велась в программном обеспечении GIMP (v. 2.10). Изображение было переведено в цветовую модель HSV и проведена декомпозиция на каналы тона (hue) (рис. 3, 2), насыщенности (saturation) и яркости (value). Каналы насыщенности и яркости были максимизированы (залиты белым цветом) и проведена рекомпозиция изображения (рис. 3, 3). Во втором случае использовался плагин DStretch для

программы ImageJ. Наилучшие результаты показали варианты обработки CRGB (рис. 3, 4), LDS (рис. 3, 5), YRE (рис. 3, 6).

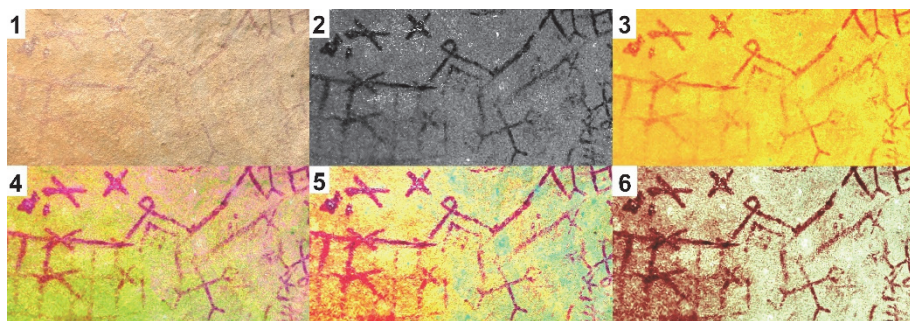


Рис. 3. Грот Акбауыр. Фрагмент композиции. Разные типы отображения:
1 – оригинальная фотография; 2 – растянутый канал тона (hue) цветовой модели HSV;
3 – рекомпозиция изображения в цветовой модели HSV при максимизированных значениях насыщенности (saturation) и яркости (value); 4 – DStretch (CRGB);
5 – DStretch (LDS); 6 – DStretch (YRE)

Отдельной задачей являлся выбор хостинга для размещения в открытом доступе итоговой модели грота Акбауыр с возможностью просматривания разных вариантов «улучшенных» текстур с рисунками. Оптимальным вариантом для решения этой задачи, на наш взгляд, является платформа Sketchfab (<https://sketchfab.com/>), специально предназначенная для публикации интерактивных 3D-моделей с возможностью их просмотра в режиме реального времени.

Для размещения на хостинге Sketchfab количество полигонов каждой из четырех полученных моделей было уменьшено до 0,5–1 млн. Кроме того, были созданы четыре модели внутренней части грота с измененными текстурами. Для демонстрации на платформе Sketchfab различных вариантов обработки текстуры (из-за особенностей платформы) нужно было загрузить отдельную копию модели внутренней части грота на каждую соответствующую обработанную текстуру. Все восемь моделей были загружены на Sketchfab с функцией анимированного отображения для поочередного показа моделей внутренней части грота с различной обработкой текстуры.

Результаты

Результаты обработки цифровых фотографий методами пигментных карт и декорреляционного растяжения превзошли все наши ожидания. Нам удалось не только уточнить контуры плохо различимых знаков и фигур, но и открыть невидимые человеческим глазом рисунки.

Для двухмерного представления писаницы можно использовать ортофото, обработанное с помощью плагина Dstretch, и выполненные на его основе прорисовки (рис. 4).

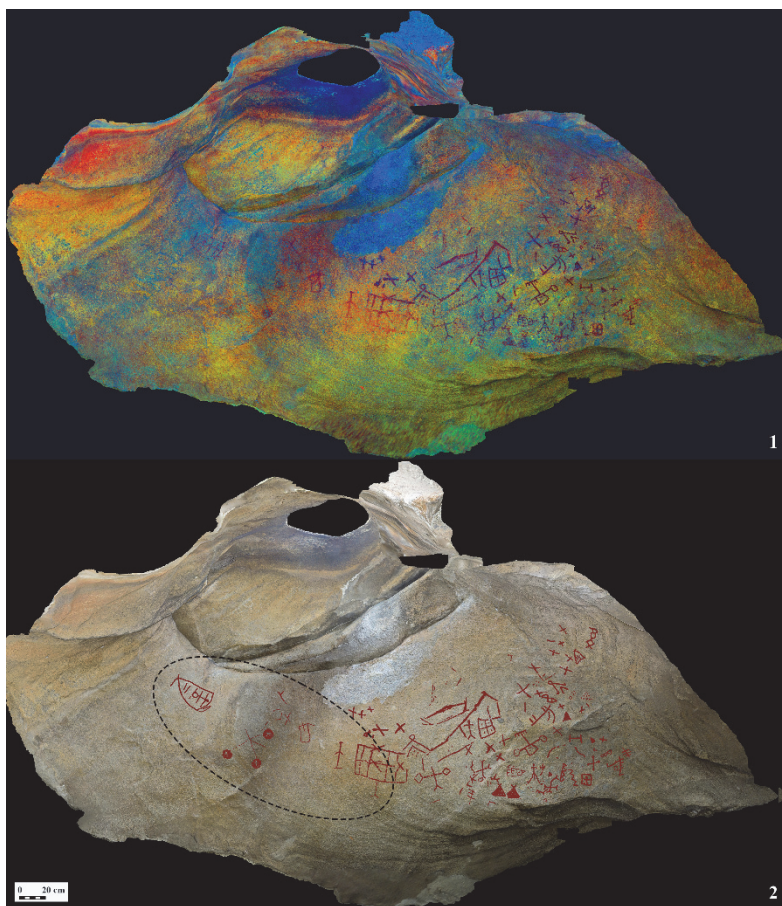


Рис. 4. Грот Акбауыр: 1 – ортофото поверхности с рисунками (DStretch, LDS); 2 – ортофото с прорисовкой (пунктиром указана область с изображениями, выявленными впервые)

Однако в случае очень сложной геометрической формы грота такое двухмерное представление неизбежно приводит к искажениям. Тем не менее отображение с помощью ортофото рисунков, выполненных не в гротах, а на ровных плоскостях, вполне уместно и значительно менее трудозатратно, чем построение трехмерной модели с наложением текстур.

Главным итогом наших работ является интерактивная трехмерная модель грота Акбауыр и прилегающего ландшафта, размещенная на

платформе Sketchfab и доступная по ссылке: <https://sketchfab.com/3d-models/akbaur-b06700d326054bf3b333ad41257f20ae>

Пользователь во всех подробностях может «осмотреть» грот с рисунками снаружи и изнутри. Управляя полосой анимации, можно поочередно переключать разные варианты текстур: исходная, рекомпозиция HSV, CRGB, LDS, YRE; есть возможность поставить анимацию на паузу и во всех деталях рассмотреть каждый вариант текстуры с рисунками.

Новые рисунки грота Акбауыр

Ни на одной из имеющихся прорисовок, выполненных ранее археологами и краеведами, не были нанесены «невидимые фигуры», обнаруженные нами в верхней левой области композиции (см. рис. 4, 2).

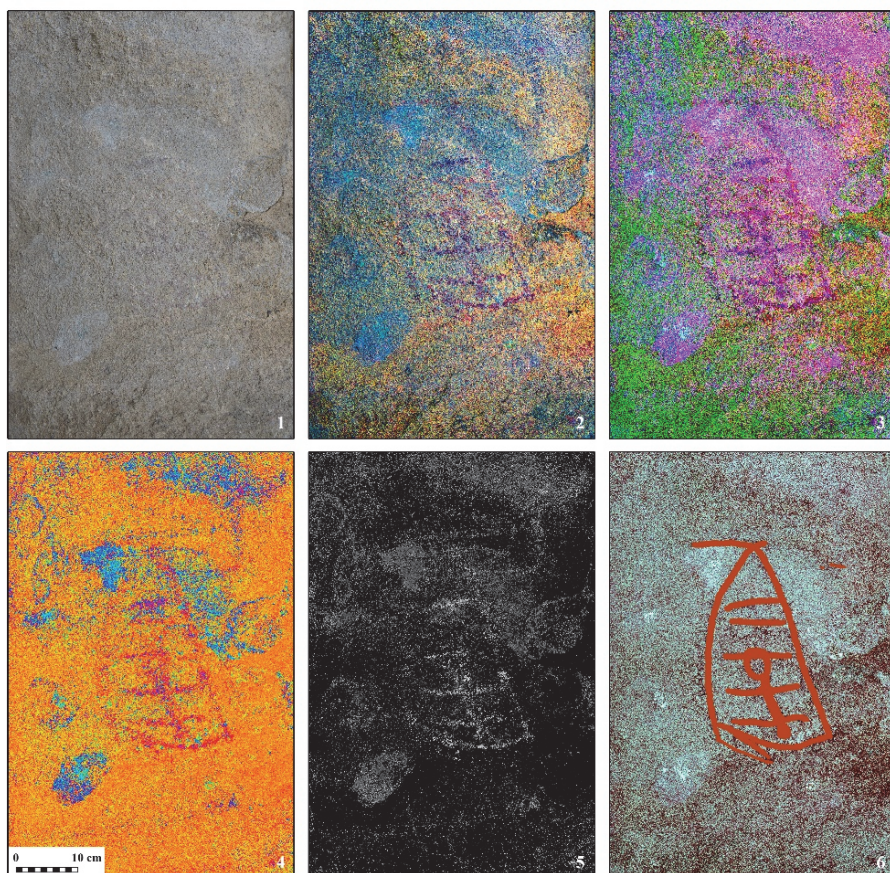


Рис. 5. Грот Акбауыр. Новое изображение: 1 – оригинальная фотография; 2 – DStretch (LDS); 3 – DStretch (CRGB); 4 – рекомпозиция изображения в цветовой модели HSV при максимизированных значениях насыщенности (saturation) и яркости (value); 5 – растянутый канал тона (hue) цветовой модели HSV; 6 – прорисовка изображения

Их открытие произошло исключительно благодаря использованию современных цифровых методов обработки изображений.

В левом верхнем углу выявлено жилище конусовидной формы с антропоморфным персонажем (?) внутри (см. рис. 5).

Также впервые была выявлена антропоморфная «решетчатая фигура», которая важна для культурно-хронологической атрибуции писаницы Акбауыр. Подобные «решетчатые фигуры» являются своеобразной визитной карточкой восточноказахстанских росписей – они зафиксированы на утраченных писаницах Бухтармы и Смолянки, в большом количестве представлены в гротах Кокентау и Бюртастаган (рис. 6).

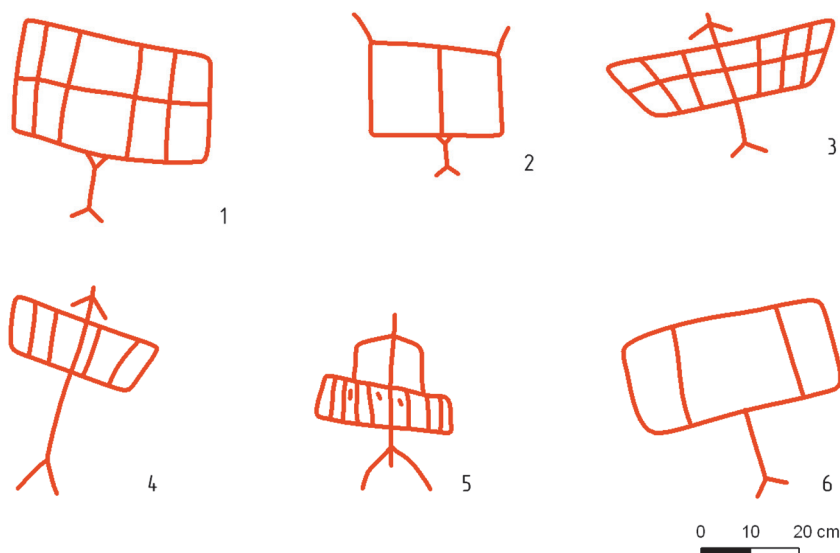


Рис. 6. «Решетчатые фигуры» Восточного Казахстана:

1 – Акбауыр; 2–5 – Кокентау; 6 – Бюртастаган

Аналоги «решетчатым фигурам» встречаются в петроглифах энеолита и ранней бронзы Южной Сибири и Монголии. Наиболее близки восточноказахстанские «решетчатые фигуры» к выделяемой В.А. Киселем первой группе изображений, относимых автором к чемурчекской и каракольской культурам (Кисель 2022).

Можно бесконечно спорить о значении отдельных фигур и знаков писаниц Восточного Казахстана. Резкое преобладание в этих рисунках предельно схематизированных изображений людей и символических знаков впервые было отмечено А.А. Формозовым (Формозов 1950: 176). Касательно грота Акбауыр, скорее всего, здесь мы видим изображение жизни поселка: разнотипные жилища и люди, повозка, животное и схематично переданные детали окружающего горного пейзажа.

Заключение

Реконструкция оригинального вида произведений искусства в цифровой среде в настоящее время становится преобладающим подходом в изучении и сохранении живописного наследия.

В случае древних писаниц реставрация выцветшего оригинала путём нанесения нового слоя краски является сегодня совершенно недопустимым приёмом. Однако «проявить» утраченные краски можно в виртуальной среде на создаваемых цифровых двойниках древних писаниц.

При трехмерном документировании рисунков грота Акбауыр нами были совмещены технологии фотограмметрии и использование различных методов визуализации плохо различимых изображений, выполненных минеральными красками.

Наиболее простым в использовании и дающим самые быстрые результаты в автоматизированном режиме оказался плагин DStretch. При обработке фотографий наскальных изображений он позволяет выявить новые рисунки или их детали, которые в силу своей сохранности не были замечены при визуальном обследовании скальных плоскостей.

Наши исследования рисунков грота Акбауыр наглядно показали, что компьютерная графическая обработка фотоматериала с цветокоррекцией открывает широкие возможности для получения новых данных даже на ранее хорошо изученных и неоднократно задокументированных памятниках древнего наскального искусства.

Список источников

- Адрианов А.В.* К археологии Западного Алтая (из поездки в Семипалатинскую область в 1911 г.) // Известия Императорской археологической комиссии. 1916. Вып. 62.
- Благун Ю.Ю., Зоткина Л.В.* Методика выявления «спорных» крашенных наскальных изображений (по материалам памятников Минусинской котловины) // *Universum Humanitarium*. 2018. Вып. 1 (5). С. 184–193.
- Драверт П.* Грот с писаницей на озере Джасыбай в окрестностях Баян-Аула // Известия Западно-Сибирского отдела Русского географического общества. 1930. Вып. VII. С. 231–234.
- Илиуф Х.Ш.* Древности Кокентау // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию музея «Роль музеев на современном этапе и перспективы развития». Павлодар, 2012. С. 29–35.
- Кисель В.А.* «Параболоиды», «решетчатые фигуры» и «шесты с полотнищами» (петроглифические образы и этнографические параллели) // *Camera praehistorica*. 2022. № 2 (9). С. 26–44.
- Мерц В.К.* Наскальные рисунки охрой в гроте Драверта // Свод памятников истории и культуры Республики Казахстан. Павлодарская область. Алматы: Аруна, 2010. С. 283–284.
- Мерц В.К.* Наскальные рисунки Павлодарского Прииртышья // *Олкетану–Краеведение*. 2002. № 1. С. 29–44.
- Миклашев Е.А., Солодейников А.К.* Новые возможности документирования наскальных изображений, выполненных краской (на примере Кавказской писаницы в

- 152 Минусинской котловине) // Научное обозрение Саяно-Алтая. Абакан: ХакНИИЯЛИ, 2013. № 1 (5). С. 176–191.
- Новожинов В.А. Чудо коммуникации и древнейший колесный транспорт Евразии. М.: Таус, 2012.
- Рогожинский А.Е. Памятники наскального искусства Казахстана // Наскальное искусство в Центральной Азии. Тематическое исследование. 2011. С. 207–246.
- Самашев З. Петроглифы Казахстана. Алматы, 2006.
- Самашев З., Сапашев О., Оралбай Е., Толегенов Е., Исин А., Сайлаубай Е. Памятники монументального искусства Восточного Казахстана (древность и средневековье). Алматы: Археология, 2010.
- Самашев З.С. Грот Акбаур с писаницами в Восточном Казахстане // Проблемы изучения наскальных изображений в СССР. М.: ИА АН СССР, 1990. С. 123–129.
- Самашев З.С. Наскальные изображения Верхнего Прииртышья. Алма-Ата, 1992.
- Самашев З.С. Писаницы горы Кокентау в Восточном Казахстане // Учёные записки музея-заповедника «Томская Писаница». 2023. Вып. 17. С. 140–158.
- Симухин А.И., Марнуев П.Е., Намсараев Д.В., Лбова Л.В. Сыржа – новый объект наскального искусства Забайкалья (опыт бесконтактного документирования) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Геоархеология. Этнология. Антропология. 2018. Т. 25. С. 62–85.
- Солодейников А.К. Методы работы с плохо различимыми цветными изображениями // Universum Humanitarium. 2020. № 1. С. 214–231.
- Спаский Г.И. Древности Сибири: о древних Сибирских начертаниях и надписях // Сибирский вестник. СПб., 1818. Ч. 1. С. 67–85.
- Спаский Г.И. О достопримечательнейших памятниках сибирских древностей и о сходстве некоторых из них с великорусскими // Записки Императорского Русского Географического Общества. 1857. Кн. XII.
- Формозов А.А. Наскальные изображения Урала и Казахстана эпохи бронзы и их семантика // Советская этнография. 1950. № 3. С. 170–176.
- Agisoft LLC. Agisoft Metashape User Manual // Agisoft Metashape. 2024.
- Alley R.E. Algorithm Theoretical Basis Document for Decorrelation Stretch. Pasadena, 1996.
- Gillies D. Close Range Photogrammetry // Photogrammetric Record. 2015. Vol. 30, No. 151. P. 318–322.
- Gunn R.G., Douas L.C., Whear R.L. 'Interpreting' polychrome paintings using DStretch // Rock Art Research. 2014. Vol. 31, No. 1. P. 1–4.
- Harman J. Using decorrelation stretch to enhance rock art images. URL: <http://www.dstretch.com/AlgorithmDescription> (Paper originally presented at American Rock Art Research Association Annual Meeting 2005).
- Harman J. Using Dstretch for rock art recording // International Newsletter on Rock Art. 2015. No. 72. P. 24–30.
- He J., Li Y., Zhang K. Research of UAV Flight Planning Parameters // Positioning. 2012. Vol. 3. P. 43–45.
- Kasser M., Egels Y. Digital Photogrammetry. London; New York: Taylor & Francis, 2002.
- Keep T.J., Gunn R.G., Goodes J. Stretching the Surrogate: An Initial Test Combining Dstretch Image Enhancement with Photogrammetry Modelling at Bunjil's Shelter and Gulgurn Many, Australia // Rock Art Research. 2024. Vol. 41, No. 1. P. 74–87.
- Luhmann T., Robson S., Kyle S., Harley I. Close Range Photogrammetry. Principles, techniques and applications. Scotland, UK: Whittles Publishing, 2011.

References

- Adrianov A.V. (1916) K arkheologii Zapadnogo Altaia (iz poezdki v Semipalatinskuiu oblast' v 1911 g.) [On the archeology of Western Altai (from a trip to the Semipalatinsk region in 1911)], *Izvestiia Imperatorskoi arkheologicheskoi komissii*, Vol. 62.

- Blagun Iu.Iu., Zotkina L.V. (2018) Metodika vyivleniia «spornykh» krashenykh naskal'nykh izobrazhenii (po materialam pamiatnikov Minusinskoï kotloviny) [Methodology for identifying "controversial" painted rock paintings (based on materials from the Minusinsk Basin monuments)], *Universum Humanitarium*, Vol. 1 (5), pp. 184–193.
- Dravert P. (1930) Grot s pisanitsei na ozere Dzhasybai, v okrestnostiakh Baian-Aula [Grotto with petroglyphs on Lake Dzhasybay, in the vicinity of Baian-Aul], *Izvestiia Zapadno-Sibirskogo otdela russkogo geograficheskogo obshchestva*, Vol. VII, pp. 231–234.
- Iliuf Kh.Sh. (2012) Drevnosti Kokentau [Antiquities of Kokentau]. In: *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 70-letiiu muzeia «Rol' muzeev na sovremennom etape i perspektivy razvitiia»* [Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the museum "The role of museums at the present stage and development prospects"]. Pavlodar, pp. 29–35.
- Kisel V.A. (2022) «Paraboloidy», «reshchatye figury» i «shesty s polotnishchami» (petroglificheskie obrazy i etnograficheskie paralleli) ["Paraboloids", "Lattice Figures" And "Poles with Canvases" (Petroglyphic Images and Ethnographic Parallels)], *Camera praehistorica*, no. 2 (9), pp. 26–44.
- Merts V.K. (2010) Naskal'nye risunki okhroi v grote Draverta [Rock paintings with ochre in the Dravert Grotto]. In: *Svod pamiatnikov istorii i kul'tury Respubliki Kazakhstan. Pavlodarskaia oblast'* [Collection of historical and cultural monuments of the Republic of Kazakhstan. Pavlodar region]. Almaty: Aruna, pp. 283–284.
- Merts V.K. (2002) Naskal'nye risunki Pavlodarskogo Priirtysh'ia [Rock paintings of the Pavlodar Irtysh region], *Olketanu–Kraevedenie*, no. 1, pp. 29–44.
- Miklashevich E.A., Solodeinikov A.K. (2013) Novye vozmozhnosti dokumentirovaniia naskal'nykh izobrazhenii, vypolnennykh kraskoi (na primere Kavkazskoi pisanitsy v 152 Minusinskoï kotlovine) [New Possibilities for Documenting Painted Rock Art Images (By the Example of Kavkazskaya Rock Art Site in The Minusinsk Basin)], *Nauchnoe obozrenie Saiano-Altai*, no. 1 (5), pp. 176–191.
- Novozhenov V.A. (2012) Chudo kommunikatsii i drevneishii kolesnyi transport Evrazii [The miracle of communication and the oldest wheeled transport in Eurasia]. Moscow: Taus.
- Rogozhinskii A.E. (2011) Pamiatniki naskal'nogo iskusstva Kazakhstana [Monuments of rock art of Kazakhstan]. In: *Naskal'noe iskusstvo v Tsentral'noi Azii. Tematicheskoe issledovanie* [Rock Art in Central Asia. A Case Study]. pp. 207–246.
- Samashev Z. (2006) *Petroglify Kazakhstana* [Petroglyphs of Kazakhstan]. Almaty.
- Samashev Z., Sapashev O., Oralbai E., Tolegenov E., Isin A., Sailaubai E. (2010) *Pamiatniki monumental'nogo iskusstva Vostochnogo Kazakhstana (drevnost' i srednevekov'e)* [Monuments of monumental art of East Kazakhstan (antiquity and the Middle Ages)]. Almaty: TOO «Arkheologiya».
- Samashev Z.S. (1990) Grot Akbaur s pisanitsami v Vostochnom Kazakhstane [East Kazakhstan Akbaur Grotto with Drawings]. In: *Problemy izucheniia naskal'nykh izobrazhenii v SSSR* [Issues of studying rock art in the USSR]. Moscow: IA AN SSSR, pp. 123–129.
- Samashev Z.S. (1992) *Naskal'nye izobrazheniia Verkhnego Priirtysh'ia* [Rock art of the Upper Irtysh region]. Alma-Ata.
- Samashev Z.S. (2023) Pisanitsy gory Kokentau v Vostochnom Kazakhstane [The Rock Art of Mount Kokentau in East Kazakhstan], *Uchenye zapiski muzeia-zapovednika «Tomskaiia Pisanitsa»*, Vol. 17, pp. 140–158.
- Simukhin A.I., Marnuev P.E., Namsaraev D.V., Lbova L.V. (2018) Syrzha – novyi ob'ekt naskal'nogo iskusstva Zabaikal'ia (opyt beskontaktnogo dokumentirovaniia) [Syrzha – New Object of Transbaikalia Rock Art (Experience of Contactless Documentation)], *Izvestiia Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriia «Geoarkheologiya. Etnologiya. Antropologiya»*, Vol. 25, pp. 62–85.
- Solodeinikov A.K. (2020) Metody raboty s plokhimi razlichnymi tsvetnymi izobrazheniiami [Methods Of Revealing Of Painted Rock Art Images], *Universum Humanitarium*, no. 1, pp. 214–231.

- Spasskii G.I. (1818) *Drevnosti Sibiri: o drevnikh Sibirskikh nachertaniiakh i nadpisiakh* [Antiquities of Siberia: on the ancient Siberian inscriptions and writings], *Sibirskii vestnik*. St. Petersburg, Part I, pp. 67–85.
- Spasskii G.I. (1857) O dostoprimechatel'neishikh pamiatnikakh sibirskikh drevnostei i o skhodstve nekotorykh iz nikh s velikorusskimi [On the most remarkable monuments of Siberian antiquities and on the similarity of some of them with Great Russian ones]. *Zapiski Imperatorskogo Russkogo Geograficheskogo Obshchestva*. Book XII.
- Formozov A.A. (1950) Naskal'nye izobrazheniia Urala i Kazakhstana epokhi bronzy i ikh semantika [Rock paintings of the Urals and Kazakhstan of the Bronze Age and their semantics], *Sovetskaia etnografiia*, no. 3, pp. 170–176.
- Agisoft LLC (2024) *Agisoft Metashape User Manual*. Agisoft Metashape.
- Alley R.E. (1996) Algorithm Theoretical Basis Document for Decorrelation Stretch. Pasadena.
- Gillies D. (2015) Close Range Photogrammetry. *Photogrammetric Record*, Vol. 30, no. 151, pp. 318–322.
- Gunn R.G., Douas L.C., Whear R.L. (2014) 'Interpreting' polychrome paintings using DStretch. *Rock Art Research*, Vol. 31, no. 1, pp. 1–4.
- Harman J. (2005) *Using decorrelation stretch to enhance rock art images*. URL: <http://www.dstretch.com/AlgorithmDescription>. Paper originally presented at American Rock Art Research Association Annual Meeting 2005.
- Harman J. (2015) Using Dstretch for rock art recording. *International Newsletter on Rock Art*, no. 72, pp. 24–30.
- He J., Li Y., Zhang K. (2012) Research of UAV Flight Planning Parameters. *Positioning*, Vol. 3, pp. 43–45.
- Kasser M., Egels Y. (2002) *Digital Photogrammetry*. London and New York: Taylor & Francis.
- Keep T.J., Gunn R.G., Goodes J. (2024) Stretching the Surrogate: An Initial Test Combining Dstretch Image Enhancement with Photogrammetry Modelling at Bunjil's Shelter and Gulgurn Many, Australia. *Rock Art Research*, Vol. 41, no. 1, pp. 74–87.
- Luhmann T., Robson S., Kyle S., Harley I. (2011) *Close Range Photogrammetry. Principles, techniques and applications*. Scotland, UK: Whittles Publishing.

Сведения об авторах:

ЗАЙЦЕВА Ольга Викторовна – кандидат исторических наук, руководитель музея Алтын Алтай, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (Усть-Каменогорск, Казахстан). E-mail: snori76@mail.ru

ВАВУЛИН Михаил Викторович – научный сотрудник музея Алтын Алтай, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (Усть-Каменогорск, Казахстан).

ВОДЯСОВ Евгений Вячеславович – кандидат исторических наук, старший научный сотрудник музея Алтын Алтай, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (Усть-Каменогорск, Казахстан).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Olga V. Zaitceva, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan). E-mail: snori76@mail.ru

Mikhail V. Vavulin, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan).

Evgeny V. Vodyasov, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan).

The authors declare no conflict of interests.

*Статья поступила в редакцию 15 ноября 2024 г.;
принята к публикации 17 декабря 2024 г.*

*The article was submitted 15.11.2024;
accepted for publication 17.12.2024.*