



Племенной мир

Problemy istorii, filologii, kul'tury
3 (2017), 200–209
© The Author(s) 2017

Проблемы истории, филологии, культуры
3 (2017), 200–209
© Автор(ы) 2017

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СПЛОШНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ СТЕН КАПОВОЙ ПЕЩЕРЫ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

А.С. Пахунов

*Институт археологии РАН, Москва,
science@pakhunov.com*

Аннотация. В статье представлен основанный на использовании фотограмметрической обработки изображений подход к документированию наскального искусства Каповой пещеры. С целью полной фиксации стен пещеры, даже если на них не было рисунков, съемка проводилась фрагментами. Использование современной фотокамеры с высоким разрешением и высокопроизводительного компьютера позволило получить текстуры с детализацией, превышающей имевшуюся для полученных ранее фотографий отдельных изображений. Сплошная фиксация позволила выявить новый геометрический мотив на северной стене зала Знаков – практически невидимый глазом рисунок был обнаружен после применения усиления цветового контраста к текстуре одной из моделей.

Высокое разрешение текстур и съемка крупными фрагментами позволили выявить новое изображение в «щели» зала Хаоса, представляющей собой узкий скальный разлом, рисунки в котором располагаются на потолке, что представляет существенные трудности для проведения документирования. Использование фотограмметрии дало возможность впервые зафиксировать рисунки на потолке разлома большими группами, в результате чего была установлена связь двух участков одного изображения с геометрическим мотивом в виде пересекающихся под прямым углом линий, ранее в зале Хаоса было известно два изображения с подобным мотивом.

Цифровая обработка изображений также позволила выявить особенности распределения окрашенных областей на стенах. После усиления цветового контраста было выделено

Пахунов Александр Сергеевич – младший научный сотрудник Института археологии РАН.
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты №16-01-00418 (а), 17-11-02603 е(р).

два типа окрашенных областей – светло-красного и фиолетового цвета. Ввиду особенностей их распределения и формы было высказано предположение, что светло-красные области являются естественным ожелезнением, тогда как фиолетовый цвет соответствует преднамеренно окрашенным участкам, что нашло подтверждение при съемке фрагментов стен с рисунками.

Ключевые слова: наскальное искусство, документирование, фотограмметрия, Капова пещера, верхний палеолит

Капова пещера (Шульган-Таш) представляет собой трехуровневую систему залов и галерей протяженностью более 3 км. Рисунки палеолитического времени отмечены в ней на двух уровнях: в трех залах среднего и одном зале верхнего уровня. Распределение рисунков в залах неравномерно, что во многом связано с рельефом поверхности стен. Так наибольшая плотность изображений наблюдается на плоских вертикальных участках, на которых расположены многофигурные композиции в зале Хаоса и зале Рисунков. Помимо фигуративных изображений животных и знаков в пещере отмечено большое количество (существенно варьирующее по разным оценкам) окрашенных областей, интерпретация которых затруднительна – были ли они размытыми фигуративными изображениями, преднамеренно или непреднамеренно окрашенными участками стен или пятнами природного ожелезнения. Существенную проблему в исследовании наскального искусства как в пещерах, так и под открытым небом представляет выделение объективных критериев, позволяющие разделить преднамеренное и естественное окрашивание.

Изучение изобразительного ансамбля Каповой пещеры проводится уже более 50 лет, что позволяет проследить трансформацию методов документации, связанную с развитием техники съемки и обработки изображений¹. Значительный рост разрешения цифровой фототехники и скорости фотограмметрической обработки в настоящее время позволяет по-новому подойти к документации наскального искусства и перейти от съемки индивидуальных изображений к фиксации как плоскостей с отдельно расположенными рисунками, так и панно целиком.

В последние годы работы по изучению и консервации Каповой пещеры активизировались в связи с подготовкой материалов для включения её в список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО, что нашло отражение в сборниках международных семинаров 2015² и 2016³ гг. Это делает особенно актуальной ре-документацию изображений в Каповой пещере на современном техническом уровне.

Целью данной работы было наиболее полное выявление свидетельств художественной деятельности в Каповой пещере. Для этого было необходимо разработать методологию и отработать методику фотосъемки, включая подбор оптимального комплекта оборудования и проведение тестовых съемок; осуществить фиксацию; провести обработку материалов.

¹ Например, Бадер 1971, 1974; Щелинский 1990; Solodeynikov 2005; Ляхницкий 2013.

² Древние святилища 2016.

³ Проблемы сохранения 2016.

Для реализации поставленной цели было необходимо провести фиксацию всех поверхностей в залах с изображениями. Для сплошной съемки стен возможно использование трех методов: панорамной съемки, в результате которой получают сферические панорамы с охватом пространства до 360°, мозаичной фотосъемки – результатом которой является набор фотографий, объединенных в единое изображение с высоким разрешением, а также фотограмметрии, позволяющей получить частично перекрывающиеся текстурированные 3d модели участков стен, площадь и разрешение которых значительно превосходят возможности съемки одним кадром.

Панорамная фотосъемка – метод создания изображений, охватывающих 360° и используемых для просмотра «от первого лица», когда у пользователя имеется возможность изменять точку обзора произвольным образом. Графический файл для такой панорамы собирается из отдельных фотографий, снятых с перекрытием, и спроецированных на сферу. В результате, при плоскостном отображении пропорции различных участков панорамы деформируются. Одним из преимуществ панорамной съемки является возможность её автоматизации, что позволяет осуществлять фиксацию быстро и получать снимки сверхвысокого разрешения. Однако ввиду необходимости проводить съемку с одной точки, при работе с наклонными поверхностями стен использование её не целесообразно.

Мозаичная фотосъемка – фотосъемка со значительным перекрытием кадров, которые затем объединяются в единое изображение. Данный метод характеризуется возможностью быстрой обработки материалов, программное обеспечение (ПО) для создания 2d панорам не требовательно к вычислительным возможностям компьютера. Недостатками метода является трудоёмкий процесс съемки ввиду необходимости соблюдать ортогональное положение камеры и отсутствие возможности фиксации рельефа поверхности.

Фотограмметрическая обработка фотографий предполагает выполнение трехмерной реконструкции поверхности. Результатом полного цикла обработки является модель, содержащая полигональную сетку – «каркас» и текстуру – фотореалистичное растровое изображение, накладываемое на поверхность модели. К фотограмметрической текстуре возможно применять различные методы цифровой обработки. В отличие от ПО, используемого для обработки результатов мозаичной фотосъемки и построения сферических панорам, ПО для фотограмметрической обработки более требовательно к ресурсам компьютера и на построение модели, в зависимости от необходимого качества, требуется от нескольких минут до десятков часов. При сопоставимых трудозатратах на фотосъемку, полученные в результате проведения фотосъемки с последующей фотограмметрической обработкой позволяю решать больший спектр задач, поэтому данный метод был выбран для документирования в Каповой пещере.

Одним из методов цифровой обработки изображений, применяемым для выявления слабочитаемых деталей является усиление цветового контраста. Его применение позволяет зафиксировать не видимые глазом различия в тоне окрашенных областей. В результате обработки становится возможно выявление новых изображений, уточнение деталей ранее известных, что особенно актуально для рисунков с плохим состоянием сохранности, также может быть проведена классификация объектов по цвету.

Полевой этап. Фотосъемка проводилась в конце марта 2017 года. Одной из задач было провести полевой этап работы до начала весеннего паводка, после которого и в течение всего летнего сезона стены пещеры сильно увлажняются, что приводит к появлению многочисленных бликов от источников освещения, скрывающих фрагменты изображений. Съемка осуществлялась с участием двух ассистентов, основной задачей которых было обеспечение равномерного бестеневого освещения фотографируемых участков стен.

Съемка проводилась на зеркальный фотоаппарат с полнокадровой матрицей площадью 24x36 мм (24 Мп) и объектив 35 мм. Для освещения использовались две не нагревающиеся светодиодные панели, работавшие от аккумуляторов, что позволило автономно работать в течение долгого времени и снизить тепловую нагрузку на микроклимат пещеры. Ввиду большой площади стен съемка проводилась взаимноперекрывающимися участками от 15м², по которым было получено от 70 до 120 кадров. Данный метод съемки был обусловлен временем, необходимым на первичную фотограмметрическую обработку – ограничение количества кадров позволяло получать промежуточные результаты за 2-3 часа машинного времени и использовать их для оценки качества и в дальнейшей работе в пещере. Всего было документировано 45 фрагментов в четырех залах.

Этапы фотограмметрической обработки. Фотограмметрическая обработка осуществлялась в два этапа. На первом, непосредственно после съемки, осуществлялось формирование разреженного облака точек, модели и текстуры. Ввиду того, что основной целью фотосъемки с последующей фотограмметрической обработкой являлось получение текстуры, исключение этапов формирования плотного облака точек и высокополигональной модели позволило существенно сократить время первичной машинной обработки, которое составляло порядка 20-25 мин. Быстрая обработка также была необходима для контроля качества формируемых моделей – таким образом было возможно выявлять участки стен, плотность кадров на которых была недостаточна. Использование стандартизированных параметров фиксации позволяло выполнять дополнительную съемку участков с низкой плотностью облаков точек и объединять полученные наборы снимков в одном проекте.

Второй этап фотограмметрической обработки осуществлялся на высокопроизводительном стационарном компьютере. Формирование одной высокополигональной текстурированной модели требовало порядка 20 часов машинного времени.

Результаты. *Обнаружение новых изображений.* Одной из задач работы было проведение сплошной фотофиксации стен пещеры в залах с рисунками. В результате первичного анализа полученных материалов было обнаружено два изображения, которые раньше исследователями не отмечались. Так, в левой части северной стены зала Знаков на высоте 30 см от уровня пола в непосредственной близости от известного изображения с геометрическим мотивом на небольшом выступе было выявлено новое аналогичное изображение (рис. 1). Визуально оно не идентифицируется и было обнаружено только в результате цифровой обработки сперва на общей модели участка стены, а затем и на отдельных фотографиях.

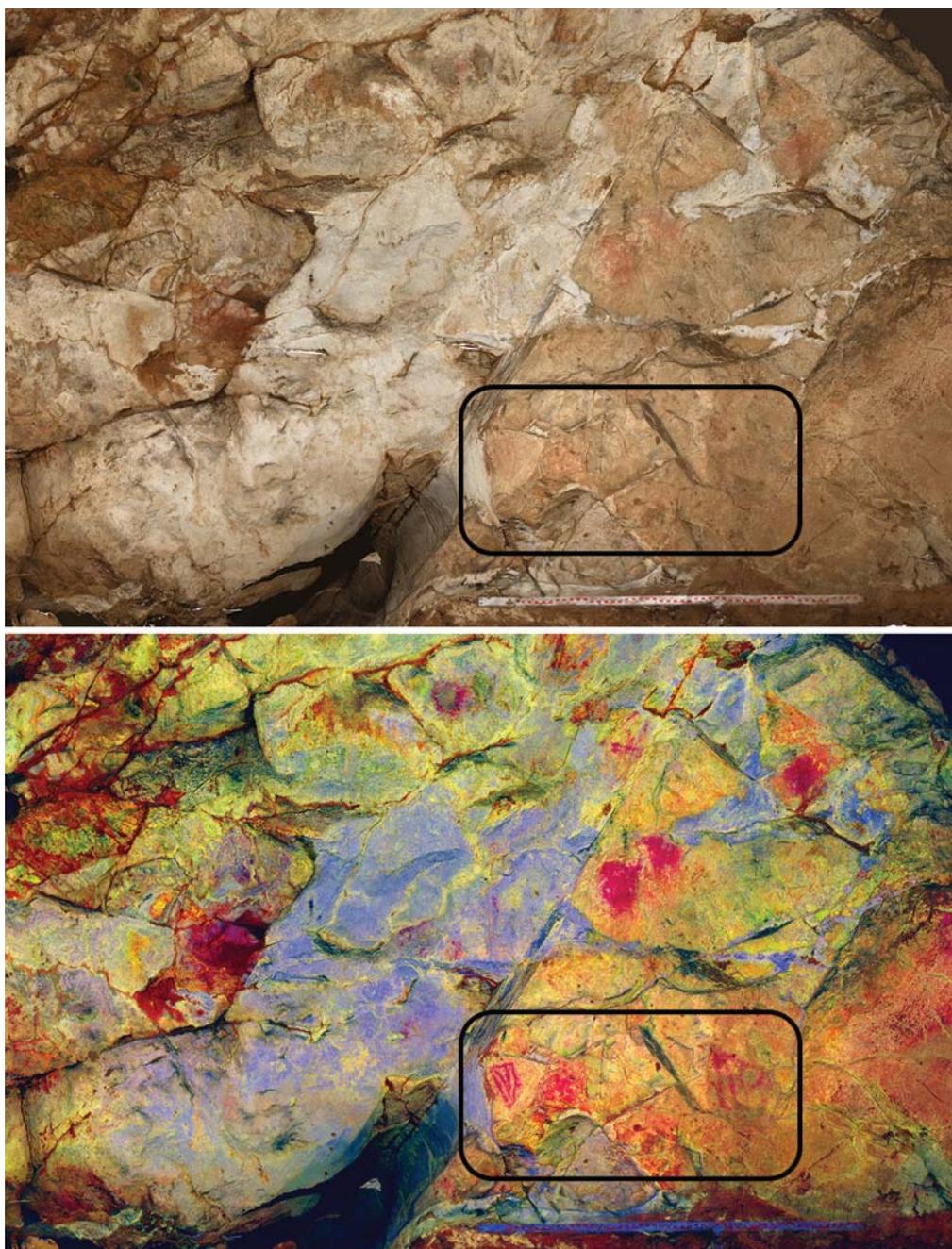


Рис. 1. Текстурированная 3d модель фрагмента северной стены зала Знаков, Капова пещера. Черным выделена область с двумя геометрическими рисунками – известным ранее и выявленным в результате проведения новой фиксации. 1а – модель с фотореалистичной текстурой, 1б – модель с текстурой после усиления цветового контраста



Рис. 2. Текстурированная 3d модель фрагмента потолка в «щели» зала Хаоса, Капова пещера. Черным выделена область выявленного изображения с геометрическим мотивом. 1а – модель с фотореалистичной текстурой, 1б – модель с текстурой после усиления цветового контраста

«Щель» в зале Хаоса представляет собой широкий разлом в скале, высота потолка которого в самой высокой точке составляет 2 м и постепенно уменьшается до 20 см. Рисунки располагаются на всей площади потолка данного разлома. Ввиду небольшого расстояния до пола и значительной площади, занимаемой изображениями, их невозможно зафиксировать на одном снимке, поэтому ранее проводилась фрагментарная фиксация отдельных групп изображений, также О.Н. Бадером был вручную выполнен план⁴. Фиксация значительных по площади фрагментов потолка позволила обнаружить одно новое изображение геометрических очертаний в виде пересекающихся под прямым углом линий (рис. 2).

Классификация областей по цвету. При усилении цветового контраста исходный цвет красок изменяется в зависимости от разных факторов – оттенка краски, степени усиления, и, прежде всего, цвета фона. Возможность сопоставления ре-

⁴ Бадер 1962.

зультатов цифровой обработки набора текстур из разных залов было обусловлено тем, что средний цвет фона на них варьировал незначительно. Различия в оттенках были зафиксированы сперва на тестовых областях с известными рисунками и без изображений, и было отмечено, что наиболее часто встречаются области двух оттенков красного. Их распределение было проанализировано на плоскостных изображениях, а также на топографических моделях поверхностей.

Яркие светло-красные участки имеют неровные границы, зачастую их распределение фрагментарное, располагаться они могут на любой высоте, в том числе порядка 3-4 м на естественных выступах рельефа (рис. 3). Отдельные линии и фигуративные изображения светло-красного оттенка не зафиксированы.

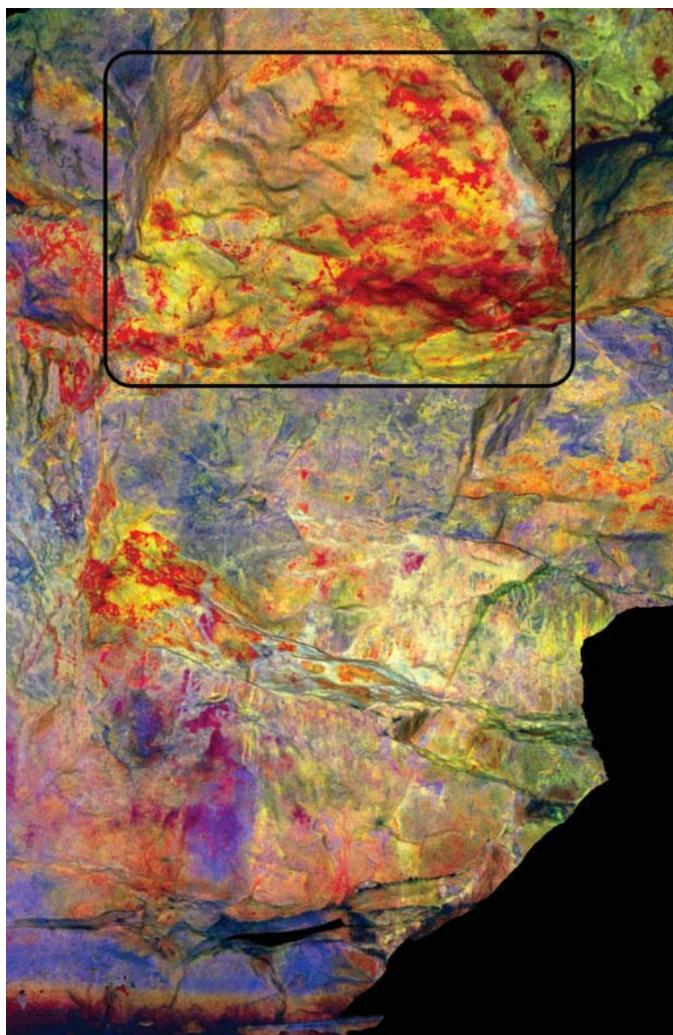


Рис. 3. 3d модель фрагмента северной стены зала Знаков с текстурой после усиления цветового контраста, Капова пещера. Области природного ожелезнения располагаются на высоте более 3-х м на скальном выступе

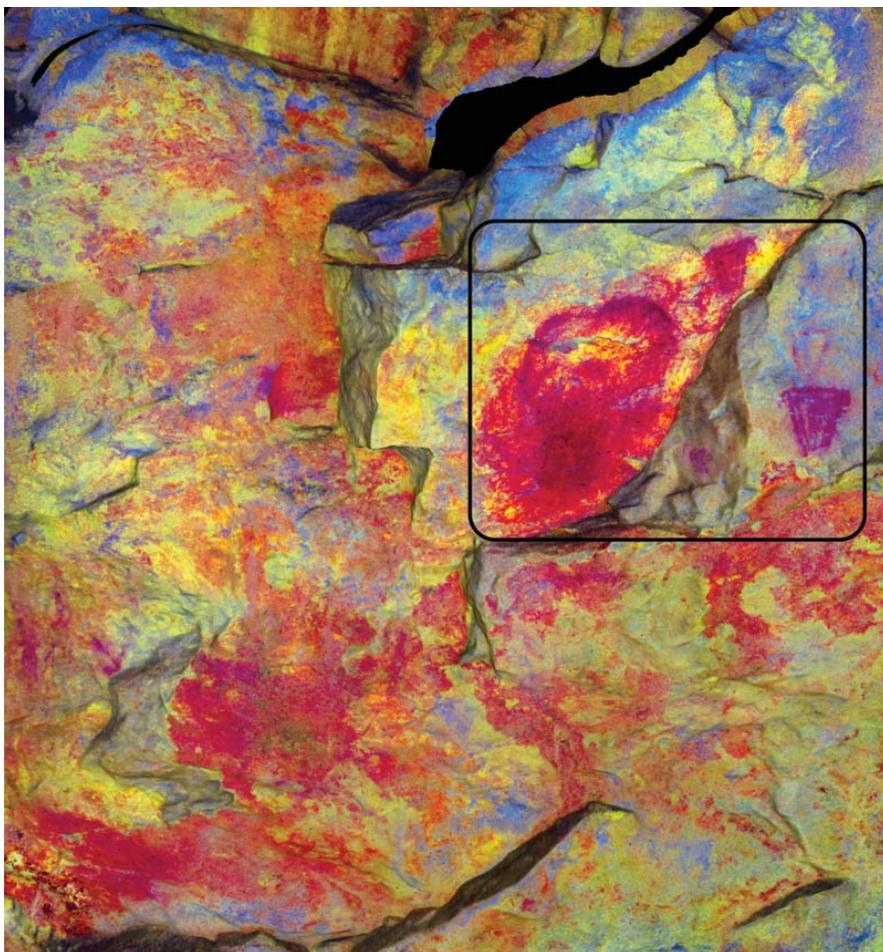


Рис. 4. 3d модель фрагмента западной стены зала Знаков с текстурой после усиления цветового контраста, Капова пещера. Несмотря на относительно высокое положение рисунков относительно уровня пола, участки с изображениями доступны с крупных камней из завала, расположенного непосредственно у стены

Области фиолетового цвета – интерпретированные как выполненные краской изображения – расположены на уровне человеческого роста и ниже и были доступны либо с уровня пола, либо с близлежащих камней (рис. 4), за исключением двух рисунков в зале Хаоса. Также на высоте до 2 м были зафиксированы абстрактные области фиолетового цвета, предположительно, следы изображений, на северных стенах залов Купольного и Знаков. Отличие этих следов от изображений состоит в том, что их форма не позволяет обозначить их как идентифицированные, при совпадении оттенка с изображениями, заведомо выполненными краской.

Наибольшее количество подобных следов было обнаружено на северной стене зала Знаков. Данная стена одна из наиболее вертикальных, ровных и протяженных поверхностей в пещере. Это до закрытия пещеры делало её удобной для по-

сетительских надписей, что неблагоприятно сказалось на состоянии сохранности изображений и следов краски.

Использование методики сплошной фотосъемки с последующей фотограмметрической обработкой показало свою эффективность для фиксации следов художественной деятельности в Каповой пещере. В результате анализа массива данных было выявлено два новых изображения геометрических очертаний на северной стене зала Знаков и на потолке скального разлома в зале Хаоса. Первичный анализ распределения окрашенных областей показал, что светло-красные участки в основном располагаются на большой высоте, на уровне пола, а также на изгибах поверхностей стены, их границы неровные. Можно предположительно идентифицировать их как участки естественной окрашенности. Области фиолетового цвета располагаются на высоте до 2 м, зачастую в них прослеживаются фрагменты линий, их цвет соответствует цвету рисунков. Рабочая гипотеза предполагает в них окраску антропогенного происхождения. Предложенная классификация позволила дифференцированно подойти к отбору образцов для последующих лабораторных анализов, целью которых является разработка критериев, позволяющих различать преднамеренно окрашенные области от участков природных ожелезнений.

ЛИТЕРАТУРА

- Бадер, О.Н. 1962: *Отчет о работах Уральской палеолитической экспедиции в 1962 г. Альбом иллюстраций*. Архив ИА РАН. Р-1. № 2515А.
- Бадер, О.Н. 1971: *Отчет о работах Уральской палеолитической экспедиции в 1971 г. Альбом иллюстраций*. Архив ИА РАН. Р-1. № 4689А.
- Бадер, О.Н. 1974: *Отчет о работах Уральской палеолитической экспедиции в 1974 г. Альбом иллюстраций*. Архив ИА РАН. Р-1. № 5633А.
- Щелинский, В.Е. 1990: Настенная живопись Каповой пещеры на Южном Урале (датировка, размещение, культурная принадлежность). В сб. М.А. Дэвлет (ред.), *Проблемы изучения наскальных изображений в СССР*. М., 47–55.
- Solodeynikov, A.K. 2005: Research on the Recordings of rock paintings in the Kapova cave (Ural). *International Newsletter on Rock Art* 43, 10–14.
- Ляхницкий, Ю.С., Минников, О.А., Юшко, А.А. 2013: *Рисунки и знаки пещеры Шульган-таш (Каповой)*. Уфа.
- Гайнуллин, Д.А., Булякова, Г.В., Нафиков, Ш.В. (ред.) 2016: *Древние святилища: археология, ритуал, мифология. Материалы Международного научного симпозиума*. Уфа.
- Хисамитдинова, Ф.Г., Котов, В.Г., Нафиков, Ш.В. (ред.) 2016: *Проблемы сохранения, консервации палеолитической живописи пещеры Шульган-Таш и развитие туристической инфраструктуры достопримечательного места «Земля Урал-батыра». Материалы Международного научного симпозиума*. Уфа.

REFERENCES

- Bader, O.N. 1962. *Otchet o rabotakh Uralskoy paleoliticheskoy ekspeditsii v 1962 g. Albom illyustratsiy* [Report on the Work of the Ural Paleolithic Expedition in 1974. Album of Illustrations]. Archives IA RAS. R-1. 2515a.
- Bader, O.N. 1971. *Otchet o rabotakh Uralskoy paleoliticheskoy ekspeditsii v 1971 g. Albom illyustratsiy* [Report on the Work of the Ural Paleolithic Expedition in 1974. Album of Illustrations]. Archives IA RAS. R-1. 4689a.

- Bader, O.N. 1974. *Otchet o rabotakh Uralskoy paleoliticheskoy ekspeditsii v 1974 g. Albom illyustratsiy* [Report on the Work of the Ural Paleolithic Expedition in 1974. Album of Illustrations]. Archives IA RAS. R-1. 5633A.
- Gaynullin, D.A., Bulyakova, G.V., Nafikov, Sh.V. (red.) 2016: *Drevnie svyatilishcha: arkhеologiya, ritual, mifologiya. Materialy mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma* [Ancient Sanctuaries: Archaeology, Ritual, Mythology. Materials of International Scientific Symposium]. Ufa.
- Hisamitdinova, F.G., Kotov, V.G., Nafikov, Sh.V. (red.) 2016: *Problemy sokhraneniya, konservatsii paleoliticheskoy zhivopisi peshchery Shulgan-tash i razvitie turistichekoy infrastruktury dostoprimechatelnogo mesta "Zemlya Ural-batyra". Materialy mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma* [The Problems of Conservation, Preservation of Palaeolithic Paintings From the cave Shulgan-tash and the Development of Tourism Infrastructure at the Sight «The Land of Ural-batyr». Materials of International Scientific Symposium]. Ufa.
- Lyakhnitskiy, Yu.S., Minnikov, O.A., Yushko, A.A. 2013: *Risunki i znaki peshchery Shulgantash (Kapovoy)* [Figures and Signs of the Cave Shulgantash (Kapova)]. Ufa.
- Shchelinskiy, V.E. 1990: *Nastennaya zhivopis Kapovoy peshchery na Yuzhnom Urale (datirovka, razmeshchenie, kulturnaya prinadlezhnost)*. In: M.A. Devlet (red.), *Problemy izucheniya naskalnykh izobrazheniy v SSSR* [The Problems of Studying Rock Carvings in the USSR], M., 47–55.

THE FIRST RESULTS OF TOTAL PHOTOGRAMMETRIC DOCUMENTATION OF THE WALLS OF KAPOVA CAVE

Alexander S. Pakhunov

*Institute of Archaeology, Russian Academy of Science, Russia,
science@pakhunov.com*

Abstract. An approach to documenting of paintings at Kapova Cave based on the use of photogrammetry was applied. Fragments by fragment have been recorded to capture the whole surface of the walls, even if they lack drawings. The use of a high-resolution camera and a high-performance computer allowed to obtain large size photogrammetric textures with details exceeding than at the photographs of paintings acquired earlier. A total documentation made it possible to reveal a new geometric motif on the northern wall of the Chamber of Signs. An almost invisible by the naked eyes sign was found after the colour enhancement.

The high resolution and large size of the textures made it possible to reveal a new image in the stone slip at the Chamber of Chaos with the paintings on the ceiling, photography of which is difficult. The use of photogrammetry allowed to captured the paintings on the ceiling in large groups. As a result, one motif was revealed. The painting is a geometric motif with some missing parts, two images with a same motif were previously known in the Chamber of Chaos.

Digital image processing also allowed to reveal the features of the distribution of coloured areas on the walls. After colour enhancement two major types of areas were identified: light red and violet. Due to the features of their distribution and shape, it has been suggested that the light red is some natural ferruginous areas, while the violet colour corresponds to deliberately painted areas. That was confirmed after the accurate imaging of paintings.

Key words: Rock art, documentation, photogrammetry, Kapova Cave, Upper Paleolithic