

Д.В. Черемисин^{1, 2}, В.В. Казаков^{2, 3}, В.С. Ковалев²,
К.Б. Жумадилов²

¹Институт археологии и этнографии СО РАН

²Новосибирский государственный университет

³Новосибирский государственный университет экономики и управления

E-mail: topsya@bk.ru

Трехмерное сканирование наскальных рисунков Алтая в технике гравировки

Среди петроглифов Алтая выделяется большой пласт изображений, выполненных в технике гравировки. В долине р. Чаган они распространены начиная с эпохи бронзы и раннего железного века, характерны для раннего Средневековья и нового времени. Особую ценность представляют высокохудожественные древнетюркские гравюры, в деталях изображающие реалии эпохи. Особенности сканирования гравюр обусловлены малой глубиной и шириной линий, в результате чего традиционные способы копирования, а также методы 3D-моделирования, такие как фотogramметрия и фотостеклинг, малоэффективны для получения цельной композиции. В 2017 г. для документирования древних гравюр был применен сканер на основе структурированного подсвета. Было проведено визуальное сравнение результатов 3D-сканирования и фотографирования в высоком разрешении петроглифов, выполненных в различных техниках.

Ключевые слова: 3D-сканирование, 3D-моделирование, петроглифы, структурированный подсвет, гравировки.

D.V. Cheremisin^{1, 2}, V.V. Kazakov^{2, 3}, V.S. Kovalev²,
K.B. Zhumadilov²

¹Institute of Archeology and Ethnography SB RAS

²Novosibirsk State University

³Novosibirsk State University of Economics and Management

E-mail: topsya@bk.ru

3-Dimensional Scanning of Engraved Rock Representations in the Altai

A large number of rock representations made in the engraving technique stand out among various petroglyphs of the Altai. In the valley of the Chagan River, they started to appear since the Bronze Age and the Early Iron Age; they are also typical of the Early Middle Ages and the Modern period. Highly artistic engravings of the ancient Turks, which represent the realia of the time, are of particular value. In 2017, a structured-light scanner was used to document the ancient engravings. Traditional methods of copying, such as 3D-modeling methods, photogrammetry, and photo stacking are ineffective for obtaining the whole compositions of the engravings due to the small depth and width of lines. A visual comparison was made between the results of the three-dimensional scanning and high-resolution photographs of the representations of rock art executed in different techniques.

Keywords: 3D-scanning, 3D-modeling, petroglyphs, structured-light scanning, engravings.

На протяжении последних лет неуклонно растет интерес к применению трехмерного моделирования в археологических исследованиях. В первую очередь 3D-технологии используются для создания объемных цифровых моделей. Так, во Франции были созданы копии уникальных пещер с рисунками (Ляско,

Шове) в формате электронных 3D-моделей, по которым выстроены копии пещер в натуральную величину. Сами пещеры законсервированы для сохранения оригинальных рисунков, а их двойники дали возможность демонстрации шедевров наскального искусства широкому кругу посетителей.

В последние годы отмечается значительный прогресс в объеме оцифрованных музейных фондов. Среди российских виртуальных коллекций в 3D отметим Тульский государственный музей оружия (<http://www.museum-arms.ru/>), виртуальный музей Ингушетии (<http://www.museumri.ru/>), археологическое общество Псковской обл. (<http://arheologpskov.ru/>), Гнёздовский археологический комплекс (<http://gnezdovo.com/>), музеи Пермского университета (<http://dh.psu.ru/>), виртуальный музей «Артефакт» Томского государственного университета (<http://www.artefact.tsu.ru/virtualmuseum>). В совместном проекте ИАЭТ СО РАН и НГУ «3D-галерея НГУ» (<http://3d.nsu.ru>) трехмерные модели предметов археологических коллекций не только публикуются в Интернете, но и используются в электронных и очных учебных курсах [Казаков, Ковалев, Жумадилов, 2016].

Для исследования петроглифов также применяются 3D-технологии. Существует определенная сложность трехмерного моделирования наскальных рисунков, связанная с выраженным плоским характером объектов, что мешает получить достаточно качественное разрешение по глубине рисунка при его большой площади. В трасологии, где не требуется сканирования всей композиции, а достаточно 3D-модели небольшого фрагмента в сверхвысоком разрешении, данная задача успешно выполняется методом фотограмметрии или фотостекинга [Plisson, Zotkina, 2015]. В общих задачах изучения петроглифов актуально выполнение трехмерного моделирования наскального рисунка целиком.

До бурного развития цифровой фотографии основным способом копирования петроглифов являлась прорисовка фигур на прозрачные материалы стойкими маркерами или получение разного рода эстампажей. Однако при таком способе велика вероятность произвольного внесения автором ошибки или искажения. Фотофиксация петроглифов также весьма непростая задача, так как изображения на скалах, как правило, хорошо различимы лишь при определенном освещении. Рельеф – а петроглифы Алтая по большей части выполнены в технике углубленного контррельефа – становится визуально заметным только при выраженном боковом подсвете плоскости. При этом для рассмотрения всех деталей рисунка может понадобиться боковой подсвет плоскости поочередно с разных сторон.

При работе с качественной трехмерной моделью с высоким разрешением исследователь получает возможность изучать рельеф рисунка удаленно без потери информации или внесения субъективности. Для увеличения четкости рисунка на цифровой модели могут использоваться различные программ-

ные методики, в т.ч. управление боковым подсветом в виртуальной сцене.

Ранее, в 2015–2016 гг. авторами статьи было опробовано трехмерное сканирование скальных плоскостей с выбитыми рисунками – композиция с изображением колесницы бронзового века, петроглифы в стиле «оленных камней» и др. Для 3D-сканирования использовалась технология структурированного подсвета. Были показаны преимущества этого метода для данной задачи перед фотограмметрией, а также описаны техники постобработки полученных моделей для выделения рисунка [Черемисин и др., 2015].

Таким образом, методика применения сканеров для документирования петроглифов Юго-Восточного Алтая была апробирована, но объектами служили рельефные, достаточно глубоко выбитые на скальных плоскостях фигуры. В 2017 г. методика 3D-сканирования структурированным подсветом была апробирована на более тонких объектах наскального искусства – гравировках. Как правило, они гораздо менее рельефны, врезаны в скалу не глубоко, а прочерченные поверхностными штрихами или процарапанные линии, которыми также выполнялись изображения на скалах, и вовсе нерельефны. При этом встречаются столь тонкие абрисы, что их невозможно скопировать на транспарентные материалы контактным способом, т.к. линия, которую оставляет маркер, шире наскального оригинала. Трудности, связанные с документацией гравировок, хорошо известны специалистам (см.: [Черемисин, 2011, Миклашевич, 2012; и др.]).

Наскальные изображения, выполненные в технике гравировки и прочерчивания, представляют собой большой пласт среди разновременных петроглифов Юго-Восточного Алтая. В долине р. Чаган они встречены среди петроглифов бронзового века, скифской эпохи, раннего Средневековья, нового и новейшего времени [Окладникова, 1988; Черемисин, 2003, 2011; и др.]. Зафиксированы гравированные эскизы, по которым впоследствии выполнялась выбивка, сочетание техники пикетажа и гравировки. Особую ценность представляют гравированные изображения колесниц бронзового времени и высокохудожественные древнетюркские гравюры, в деталях представляющие реалии эпохи. Для нанесения таких гравюр, насколько можно судить по детализированным фигурам древнетюркских воинов, использовались различные инструменты, оставлявшие разные по ширине и глубине линии. Раскрытие, проявление пласта гравированных петроглифов позволяет представить многообразие, техническое совершенство и богатство наскального искусства [Миклашевич, 2012, Панкова, 2012; и др.].

В качестве одного из объектов сканирования выбрана батальная сцена с противостоящими древнетюркскими воинами, которую невозможно скопировать на прозрачные материалы ввиду небольших размеров и тончайших резных линий (фрагмент сцены представлен на рис. 1). Для трехмерного сканирования использовался сканер на основе технологии структурированного подсвета RangeVision. Сканирование проводилось со следующими параметрами: размер зоны сканирования: $66 \times 50 \times 50$ мм, точность 3D-точки

(среднеквадратическое отклонение): 0,03 мм, 3D-разрешение: 0,02 мм, рабочее расстояние: 0,27 м; разрешение камер: 5 МП; разрешение проектора: 1280×800 р; минимальное время создания одного снимка: 30 сек.

Для нивелирования отрицательного влияния окружающей среды на процесс сканирования использовалась палатка без дна, внутри которой размещался специалист со сканирующим оборудованием над горизонтальной скальной поверхностью с рисунками. Это позволило защитить оборудова-

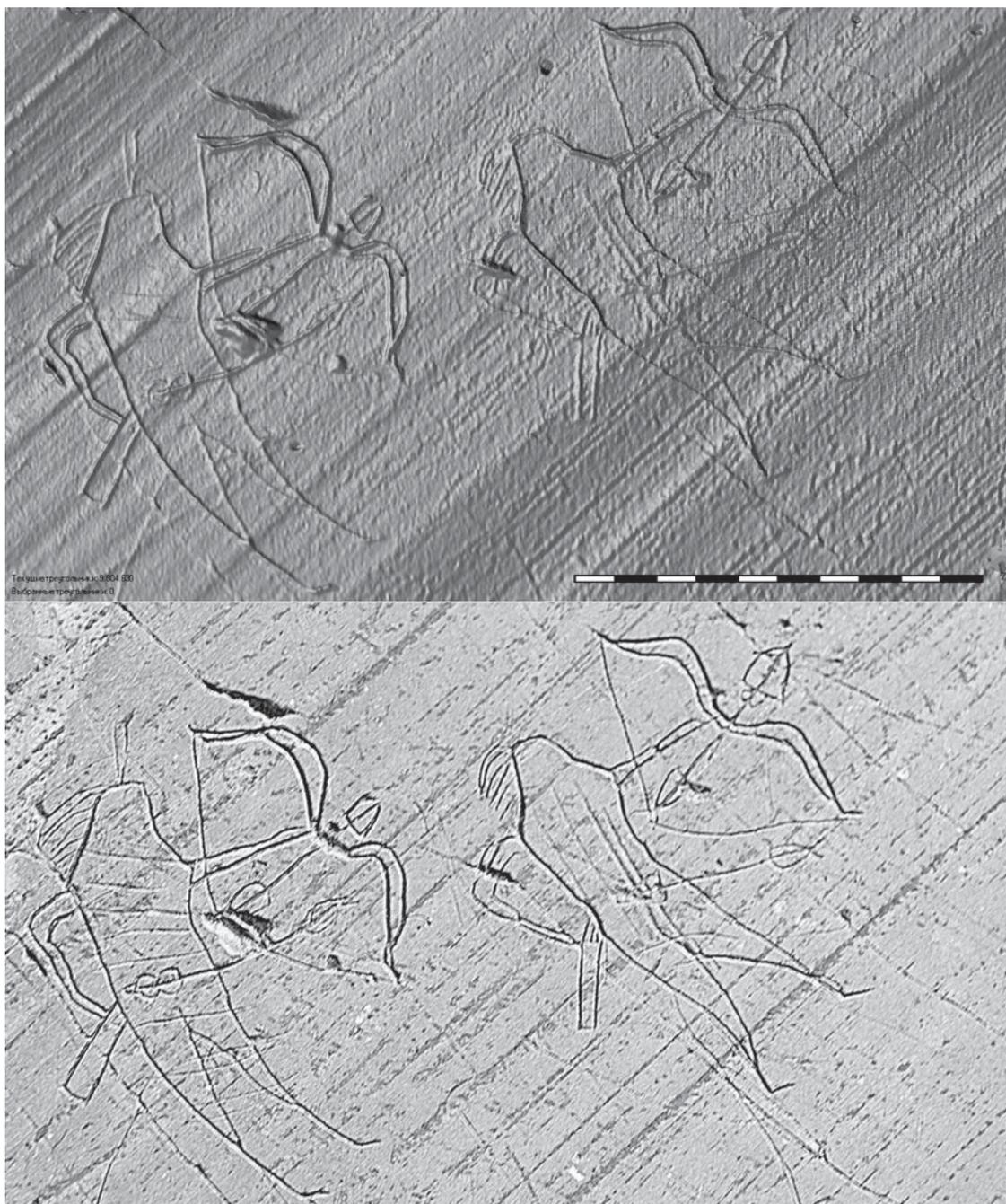


Рис. 1. Фрагмент трехмерной модели древнетюркских гравировок (вверху) и фрагмент фотографии того же участка (внизу).

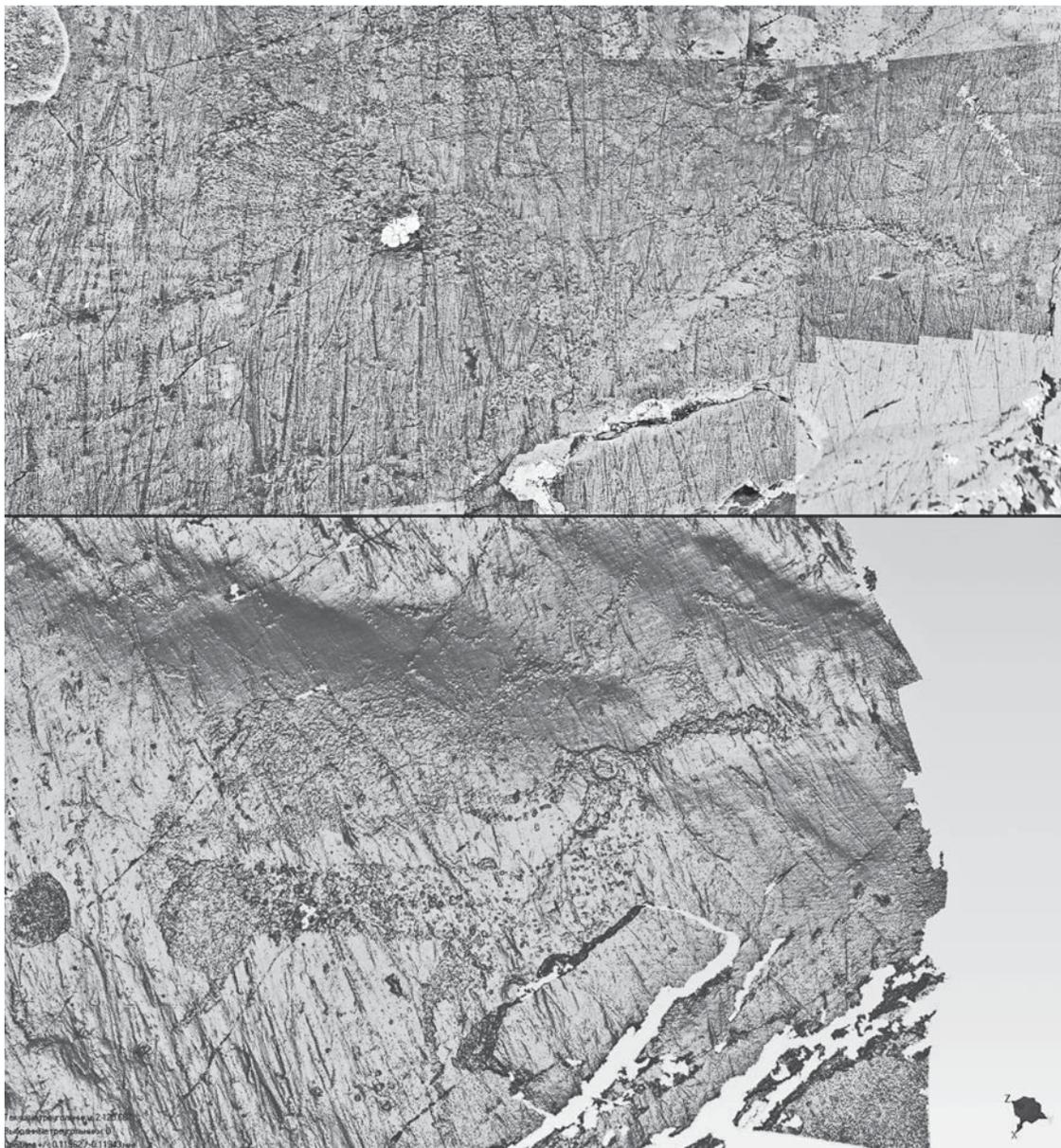


Рис. 2. Фотопанорама выбитой фигуры оленя (вверху) и трехмерная модель того же объекта (внизу).

ние от возможных атмосферных осадков, а также обеспечить защиту от искажений, вносимых порывами ветра (вибрации сканера) и насекомыми, привлекаемыми ярким источником света.

Для полученной модели древнетюркских гравировок с применением инструментов пакета для 3D-моделирования (GeoMagic Studio, инструмент «линейка») были измерены параметры глубины резных линий, которые в разных местах составили лишь 0,02–0,09 мм.

В 2017 г. также продолжались работы по сканированию выбитых рисунков, например, крупной фигуры оленя в стиле оленных камней (рис. 2), нанесенной на горизонтальную поверхность скального выхода.

Сравним полученные 3D-модели с фотографиями по степени различимости рисунка. В случае древнетюркских гравировок – преимущество за фотоснимком по двум основным причинам. Во-первых, данный наскальный рисунок хорошо выделяется цветом на фоне поверхности, что встречается далеко не всегда. Во-вторых, фиксация тонких гравировок находится на пределе разрешающей способности данного сканера.

С выбитой фигурой оленя ситуация противоположная – рисунок на 3D-модели в целом более различим, нежели на фотографии, несмотря на то, что достигается более высокое разрешение фотографии за счет использования панорамной склейки. Видно, что на фотографиях рисунок сли-

вается с фоном, в то время как на 3D-модели можно выделить фигуру рядом техник, таких как боковой подсвет, маска глубины и др.

Таким образом, в 2017 г. применение сканирующего устройства на основе структурированного подсвета было апробировано на гравированных петроглифах. На полученной модели программным методом была измерена глубина резных линий. Было проведено сравнение трехмерных моделей петроглифов в различных техниках с их высококачественными фотоснимками. В результате сравнения было показано, что информативность трехмерных моделей выше, что особенно заметно на рисунках, выполненных в технике контррельефа. Перспективы использования сканера в большей степени связаны с фиксацией и изучением выбитых наскальных изображений, а также тех, в которых техники гравировки и пикетажа сочетаются.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-50-00036).

Список литературы

Казаков В.В., Ковалев В.С., Жумадилов К.Б. Трехмерное сканирование музейных экспонатов по технологии структурированного подсвета // *Universum Humanitarium*. – 2016. – № 2 (3). – С. 58–64.

Миклашевич Е.А. Техника гравировки в наскальном искусстве скифского времени // *Изобразительные и технологические традиции в искусстве Северной и Центральной Азии*. – М.; Кемерово: Кузбассвуиздат, 2012. – С. 157–202.

Окладникова Е.А. Граффити Кара-Оюка, Восточный Алтай // *Материальная и духовная культура народов Сибири*. – Л.: Наука, 1988. – С. 140–158. – (сб. МАЭ, т. XLII).

Панкова С.В. Ошкольская писаница в Хакасии // *Изобразительные и технологические традиции в искусстве Северной и Центральной Азии*. – М.; Кемерово: Кузбассвуиздат, 2012. – С. 76–96.

Черемисин Д.В. Наскальная композиция с изображением колесницы и «танцоров» из Чаганки (Кара-Оюка), Алтай // *Археология, этнография, антропология Евразии*. – 2003. – № 4. – С. 57–63.

Черемисин Д.В. О копировании граффити горного Алтая // *Наскальное искусство в современном обществе:*

мат-лы междунар. науч. конф. 22–26 августа 2011 г. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2011. – Т. 2. – С. 175–178.

Черемисин Д.В., Казаков В.В., Ковалев В.С., Жарикова М.В. Опыт трехмерного сканирования наскальных рисунков с помощью технологии структурированного подсвета // *Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий*. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2015. – Т. XXI. – С. 446–450.

Plisson H., Zotkina L.V. From 2D to 3D at macro and microscopic scale in rock art studies // *Digital Application in Archaeology and Cultural Heritage*. – 2015. – Vol. 2, iss. 2/3. – P. 102–119.

References

Cheremisin D.V. Naskal'naya kompozitsiya s izobrazheniem kolesnitsy i "tantsorov" iz Chaganki (Kara-Oyuka), Altai. *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*, 2003, No. 4, pp. 57–63 (in Russ.).

Cheremisin D.V. O kopirovani graffit gornogo Altaya. In *Naskal'noe iskusstvo v sovremennom obshchestve: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii 22–26 avgusta 2011 g.* Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2011, vol. 2, pp. 175–178 (in Russ.).

Cheremisin D.V., Kazakov V.V., Kovalev V.S., Zhari-kova M.V. Opyt trekhmernogo skanirovaniya naskal'nykh risunkov s pomoshch'yu tekhnologii strukturirovannogo podsveta. In *Problems of Archeology, ethnography, Anthropology of Siberia and Neighboring Territories*. Novosibirsk: IAET SB RAS Publ., 2015, vol. XXI, pp. 446–450 (in Russ.).

Kazakov V.V., Kovalev V.S., Zhumadilov K.B. Trekhmernoe skanirovanie muzeinykh eksponatov po tekhnologii strukturirovannogo podsveta. *Universum Humanitarium*, 2016, No. 2 (3), pp. 58–64 (in Russ.).

Miklashevich E.A. Tekhnika gravirovki v naskal'nom iskusstve skifskogo vremeni. In *Izobrazitel'nye i tekhnologicheskie traditsii v iskusstve Severnoi i Tsentralnoi Azii*. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2012, pp. 157–202 (in Russ.).

Okladnikova E.A. Graffiti Kara-Oyuka, East Altai. In *Material'naya i dukhovnaya kul'tura narodov Siberia*. Leningrad: Nauka, 1988, pp. 140–158 (Sbornik Muzeya Antropologii i Etnografii, vol. XLII) (in Russ.).

Pankova S.V. Oshkol'skaya pisanitsa v Khakasii. In *Izobrazitel'nye i tekhnologicheskie traditsii v iskusstve Northern and Central Asia*. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2012, pp. 76–96 (in Russ.).

Plisson H., Zotkina L.V. From 2D to 3D at macro and microscopic scale in rock art studies. In *Digital Application in Archaeology and Cultural Heritage*, 2015, vol. 2, iss. 2/3, pp. 102–119.