УДК 902/904 930.27 https://doi.org/10.24852/2587-6112.2025.6.284.306

СПЕЦИФИКА И ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПАМЯТНИКОВ РУНИЧЕСКОЙ ЭПИГРАФИКИ ЕВРАЗИЙСКИХ СТЕПЕЙ[1]

©2025 г. Ю.М. Свойский, А.В. Савельев, М.Д. Дынин, Е.В. Романенко

Одной из важнейших задач при изучении эпиграфических памятников является точное воспроизведение надписи и ее носителя для исследования и последующей публикации. Эта проблема универсальна для эпиграфики как научной дисциплины в целом, но она особенно актуальна для тех групп памятников, изученность которых на сегодняшний день остается фрагментарна и для которых еще не была решена задача составления относительно полного корпуса. Одну из таких групп составляют памятники рунических письменностей евразийских степей. За долгую историю их изучения использовались различные способы копирования надписей для изучения и воспроизведения в публикациях. На начальном этапе создание копий выполнялось зарисовкой, затем в практику были внедрены иные методы документирования – создание эстампажей, графитовых протирок и микалентных копий, фотографирование, первоначально аналоговое, а затем и цифровое. На настоящем этапе развития данной дисциплины встал вопрос о возможности применения к материалу тюркской рунической эпиграфики современных средств и методов документирования. Этот набор задач подразумевает как создание точных цифровых образов рунических надписей, так и разработку новых подходов к визуализации этих образов в печатных и электронных публикациях. В настоящей статье рассматриваются различные аспекты формирования системы документирования и публикации эпиграфики применительно к специфике памятников рунических письменностей евразийских степей.

Ключевые слова: археология, орхонские памятники, енисейские памятники, рунические памятники, документация памятников, трехмерное моделирование, древнетюркский язык.

SPECIFICS AND TECHNICAL ASPECTS OF APPLYING 3D MODELING IN THE STUDY OF RUNIFORM INSCRIPTIONS OF THE EURASIAN STEPPES[2]

Yu.M. Svoyskiy, A.V. Savelyev, M.D. Dynin, E.V. Romanenko

One of the most important tasks of studying epigraphic materials is the exact reproduction of an inscription and its carrier for research and subsequent publication. This problem is universal for epigraphy as a scientific discipline in general, and especially relevant for inscriptions whose study has remained fragmentary and for which the problem of compiling a relatively complete corpus has not yet been solved. One of these groups is the runiform inscriptions of the Eurasian Steppes. Over the long history of their study, various methods of copying inscriptions for research and reproduction in publications have been used. At the initial stage, copies were made by sketching; later, other documenting methods were introduced: the creation of estampages, graphite rubbings and mica copies, photography – initially conservative, and later digital. At the present development stage of this discipline, the question has arisen about the possibility of applying modern means and methods of documenting to the material of Turkic runiform epigraphy. This set of tasks involves both the creation of precise digital images of runiform inscriptions and the development of new approaches to the visualization of these images in printed and electronic publications. This paper considers various aspects of

[1] Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-01042 «Разработка информационной системы для создания цифрового корпуса древнетюркских рунических надписей» (организация финансирования – Институт языкознания Российской академии наук). URL: https://rscf.ru/project/24-28-01042/.

[2] The study was funded by the Russian Science Foundation grant No. 24-28-01042 “The development of an information system for building a digital corpus of Old Turkic runic inscriptions” (funded by the Institute of Linguistics of the Russian Academy of Sciences). URL: https://rscf.ru/project/24-28-01042/.

the formation of a system for documenting and publishing epigraphy in relation to the specifics of runiform inscriptions of the Eurasian Steppes.

Keywords: archaeology, Orkhon Turkic inscriptions, Yenisei Turkic inscriptions, runiform inscriptions, documenting, 3D modeling, Old Turkic language.

Одной из важнейших задач при изучении эпиграфических памятников является точное воспроизведение надписи и ее носителя в целях исследования и последующей публикации. Эта проблема универсальна для эпиграфики как научной дисциплины в целом, но она стоит особенно остро для тех групп памятников, изученность которых на сегодняшний день остается фрагментарной и для которых еще не была решена задача составления относительно полного корпуса. Одну из таких групп составляют памятники рунических письменностей евразийских степей – как хранящиеся в музейных коллекциях, так и находящиеся на месте первоначального обнаружения. Их ареал охватывает территории Центральной и Западной Монголии, Тувы, Хакасии, Алтая, юга Красноярского края, Прибайкалья и бассейна Верхней Лены, Синьцзяна, Кыргызстана, частично Казахстана и Узбекистана, а также отдельные районы Восточной и Центральной Европы.

С количественной точки зрения ядро памятников этого круга составляют надписи орхонским и енисейским письмом, распространенные на территории Монголии, а также в бассейне Верхнего и частично Среднего Енисея. Генетически и палеографически к ним тесно примыкают памятники таласской письменности в Кыргызстане и Казахстане. Помимо этого, в степной зоне Евразии или близ нее обнаруживаются памятники и других систем рунического письма (южноенисейской, ачикташской, исфаринской, донской и кубанской), которые могут быть связаны друг с другом общим происхождением[1]. Общее число известных (опубликованных или упомянутых в литературе) рунических памятников евразийских степей составляет, по нашим оценкам, не менее 500[2].

Дискуссионным является вопрос о степени близости между отдельными системами «степной» руники и о правомерности совместного их рассмотрения в эпиграфической работе. Как минимум с точки зрения языковой аффилиации они имеют различный статус. В то время как орхоно-енисейско-таласские надписи («азиатская» группа рунических письмен в терминологии И.Л. Кызласова) уже давно и надежно читаются как древнетюркские, памятники остальных рунических алфавитов («евроазиатская» группа по И.Л. Кызласову) либо вовсе не дешифрованы, либо же их языковая принадлежность не имеет консенсусной интерпретации. Скорее в силу исторических, а не лингвистических причин их нередко интерпретируют на тюркской почве, но филологически эти чтения, как правило, не обоснованы[3].

Тем не менее с точки зрения исследования и в особенности документирования эпиграфики представляется уместным рассматривать памятники различных систем «степной» руники как относительно единый комплекс. Во-первых, хотя палеографически «азиатские» и «евроазиатские» рунические письменности неоднородны, они характеризуются некоторыми общими особенностями (наличие букв с идентичными начертаниями; значительное число букв с округлыми и плавно изогнутыми элементами; типичное направление письма – справа налево). Во-вторых, нельзя исключать, что в конечном счете все эти системы письма восходят к общему источнику (Кызласов, 1994, с. 65–73, 236–238). В-третьих, хотя ныне и представляется неоправданным безоговорочное отнесение всех рунических надписей евразийских степей к числу древнетюркских памятников, традиционно они являются предметом интереса конкретной области востоковедения – исторической тюркологии, а значит, отражают некоторое единство исследовательской традиции (значимое, в частности, для библиографической работы по учету памятников). Наконец, важна географическая смежность и даже наложение ареалов «азиатских» и «евроазиатских» алфавитов. С одной стороны, это подразумевает взаимопроникновение элементов различных письменностей в силу контактов и (как частный случай) этноязыкового сдвига – ср. взаимодействие енисейского и южноенисейского письма в Южной Сибири, таласского и ачикташского в Семиречье (Кызласов, 1994, с. 48–49, 59, 100). С другой стороны, расположение памятников разных письменностей в одних и тех же регионах имеет серьезные последствия с точки зрения организации документирования эпиграфи-

ки. Представляется, что при полевой работе было бы нецелесообразным учитывать рунические памятники только конкретной группы, упуская возможность попутной документации памятников других групп.

Известные к настоящему времени рунические надписи наблюдаются в следующих четырех обстановках: (1) на монументальных стелах и плитах, специально изготовленных для нанесения надписи, (2) на переиспользованных стелах, курганных камнях, оленных камнях, изваяниях, (3) на скальных поверхностях, (4) на небольших предметах. Каждая из этих обстановок обладает собственным набором характеризующих черт.

Надписи на монументальных стелах специального изготовления практически всегда выполнены в технике гравировки специализированным камнерезным инструментом. При этом во многих случаях эта резьба доработана шлифовкой. Все поверхности стелы обработаны шлифовкой до нанесения надписи, текст обычно располагается на всех четырех сторонах стелы. Стелы изготовлены из стойких к выветриванию магматических и метаморфических горных пород (обычно гранитов, сиенитов, диоритов и им подобных), имеют крупные размеры в диапазоне от 1,5 до 3 м, в исключительных случаях – до 3,6 м. В поперечном сечении они близки к квадрату или прямоугольнику, иногда со сглаженными углами. Объекты этого типа немногочисленны. Разновидностью этого типа являются стелы, изготовленные по упрощенной технологии из осадочных горных пород (чаще всего песчаников с выраженной слоистостью). Такие стелы, как правило, имеют меньшие размеры (их высота редко превышает 2 м). В сечении они близки к параллелограмму. Поверхности стел не обработаны или подвергнуты грубой шлифовке. Надпись может быть выполнена специализированным камнерезным инструментом (очень редко с дополнительной шлифовкой), однако отмечаются и надписи, сделанные неглубокой выбивкой.

Надписи на переиспользованных стелах, курганных камнях, оленных камнях, изваяниях обычно выполнены в технике гравировки неспециализированным инструментом, в отдельных, достаточно редких случаях – в технике выбивки. Носителем надписи чаще всего является неперемещенный курганный камень, чаще угловой или выносной, причем надпись наносится на его узкой грани, обращенной на юго-восток. На оленных камнях и окуневских изваяниях надписи в большинстве случаев наблюдаются на одной, реже двух сторонах. Известно несколько случаев нанесения рунических надписей на плитах и изваяниях несомненно тюркского времени (надписи поминального комплекса Алтын Тамган тархана, изваяние Тесь, изваяние Чойр, причем в последнем случае надпись выполнена на криволинейной поверхности). Следов подготовки (дополнительной обработки) эпиграфического поля для нанесения надписи на таких памятниках обычно не наблюдается.

Надписи на естественных скальных поверхностях чаще выполнены в технике поверхностной гравировки подручным инструментом (ножом, кинжалом). Глубина нанесения надписи зависит от горной породы и характера гипергенной корки («патины», «пустынного загара») на ее поверхности, но абсолютное большинство рунических надписей на скалах процарапаны очень неглубоко. Достаточно часто на скальных поверхностях отмечаются и надписи, выполненные выбивкой, причем характер использованного инструмента (каменный или металлический) в большинстве случаев определить невозможно. Также известны наскальные надписи, нанесенные черной или красной тушью (Кызласов, 1994, с. 147–151). Частным случаем надписей на скальных поверхностях являются граффити на штукатурке, глиняной обмазке, камнях и кирпичах строительной кладки, фрагментах черепицы.

Надписи на небольших предметах чаще всего встречаются на бронзовых зеркалах, золотых, серебряных, бронзовых и керамических сосудах – чашах, кувшинах, бутылях и хумах. Отмечаются они также на металлических деталях поясных наборов и конской упряжи, перстнях, пряслицах, монетах, различных костяных (накладки вооружения), деревянных, каменных, глиняных, роговых, нефритовых предметах. Встречаются и столь экзотические случаи, как «надпись на музыкальном инструменте» (Баттулга, 2020, с. 324–325) и «надпись на черепе быка» (Kljaštornyj, Vásáry, 1987). Большинство надписей на предметах выполнены в технике неглубокой поверхностной гравировки подручным инструментом.

Ядро ареала распространения рунических письменностей евразийских степей располагается в Центральной Монголии, Туве, Хакасии и на Алтае, где сосредоточены наиболее значимые монументальные памятники орхонской и енисейской письменности и абсолютное большинство надписей на скалах. Именно в этих районах локализуются полностью интерпретируемые изводы «степной» руники. Часть наиболее значимых памятников перенесена в музеи, в первую очередь в музеи в Минусинске, Кызыле и Абакане. Отдельные надписи находятся в музеях в Улан-Баторе, Арвайхээре, Цэцэрлэге, Санкт-Петербурге, Бийске, Красноярске, Хельсинки и небольших краеведческих музеях, разбросанных по просторам Монголии и России.

Несмотря на то, что массив памятников рунических письменностей относительно невелик, состояние введенности его в научный оборот оставляет желать лучшего. Анализ массива публикаций[4] показывает, что большая часть известных к настоящему времени памятников рунической письменности опубликована без иллюстраций или с иллюстрациями (фотографиями и прорисовками) исключительно низкого качества. Между тем именно затруднения с интерпретацией состава знаков, как правило, становятся основной причиной существенных разногласий между исследователями в прочтении надписей. Такое положение вызвано, отчасти, вполне объективными причинами. Традиционно, со времен первых исследователей орхонских и енисейских письменных памятников, копирование надписей выполнялось зарисовкой, которая постепенно была дополнена фотографированием, созданием эстампажей, графитовых протирок и микалентных копий[5]. Все виды копирования существенно затруднялись спецификой этой группы памятников. Так, вследствие больших размеров монументальных стел и сложности их геометрии применение любых контактных методов оказывается крайне сложным как в музейной экспозиции, так и на памятнике, находящемся in situ в труднодоступном районе. Посетительские надписи, выполненные тонкими поверхностными гравировками, также плохо поддаются и документированию контактными методами, и фотосъемке. Как следствие, даже в публикациях первой четверти XXI века прочтения письменных памятников рунической эпиграфики, как правило, совершенно недостаточно иллюстрированы, что не позволяет сверить прочтение с оригинальной надписью.

Внедрение современных средств и методов документирования в практику изучения тюркской рунической эпиграфики началось относительно недавно, запоздав более чем на десятилетие по сравнению с античными надписями или скандинавскими рунами. Вполне очевидно, что оптимальным способом документирования практически любого эпиграфического памятника является трехмерное моделирование. Одним из первых опытов трехмерного документирования памятников эпиграфики Внутренней Азии времен Тюркского каганата были работы исследовательского коллектива Д. Мауэ, А. Вовина, Э. де ля Вессьера и М. Олмеза, в ходе которых в 2014 г. были отсняты надпись Хуйс-Толгой и Бугутская стела (Ölmez, 2018; Maue, 2019). К сожалению, информация о методологии документирования не была опубликована исследователями, а работы эти продолжения, по-видимому, не имели.

Первые работы по документированию собственно рунической эпиграфики современными техническими средствами ббыли начаты в 2017 г. исследовательским коллективом Томского государственного университета (О.В. Зайцевой, Е.В. Водясовым, М.В. Вавулиным) в кооперации со специалистами-тюркологами, уже долгие годы занимающимися руническими надписями Алтая, к.ф.н. Л.Н. Тыбыковой (ГАГУ) и д.ф.н. И.А. Невской (Институт филологии СО РАН, Франкфуртский университет). В 2017–2020 гг. исследователями было документировано несколько десятков рунических памятников Горного Алтая – надписей, высеченных на скальных поверхностях[6]. Для документирования был избран метод трехмерного моделирования фотограмметрическим способом с контролем размерности сканированием структурированным светом.

Трехмерное моделирование фотограмметрическим способом на настоящем этапе развития технологий документирования эпиграфики представляется оптимальным и эффективным методом, обеспечивающим хорошее воспроизведение надписи при относительно небольших затратах. Однако его практическое применение, на наш взгляд, сопровождалось рядом методологи-

ческих ошибок, не позволивших полноценно внедрить эту технологию в стандартную практику работы с эпиграфикой.

Первоначально для документирования использовалась камера с макрообъективом с фокусным расстоянием 105 мм, позднее макрообъектив был заменен комбинацией объектива с фокусным расстоянием 50 мм и макроколец. Применение длиннофокусного объектива (равно как и комбинации нормального объектива с макрокольцами) создавало две серьезных проблемы: (а) узкое рабочее поле усложняло обеспечение достаточного перекрытия между фотоснимками и (б) съемка с небольших расстояний неизбежно приводила к сокращению глубины резко изображаемого пространства, о чем упоминают сами исследователи. Для обеспечения достаточного перекрытия камера устанавливалась на рельсовую систему (слайдер), параллельную документируемой надписи и смещалась на постоянное расстояние. Такая схема съемки оказывалась довольно трудозатратной в практическом применении, так как поверхность скалы редко бывает ровна, а подходы к ней – удобны. Второе ограничение преодолевалось сильным диафрагмированием объектива (до f/20), но диафрагмирование приводило к недостаточной освещенности. В результате исследователи были вынуждены фотографировать на длинных выдержках, что даже при съемке со штатива приводило к снижению четкости фотографий из-за вибраций. Эта проблема дополнительно усугублялась использованием устаревшей камеры Nikon D700 и, вероятно, медленной и неточной фокусировкой макрообъектива. По-видимому, полученные серии фотоснимков плохо увязывались из-за недостаточного перекрытия и особенностей линейной схемы расположения камер.

Анализ наблюдаемых проблем заставил исследователей изменить подход к съемке, в частности отказаться от макрообъектива с фокусным расстоянием 105 мм в пользу нормального 50 мм объектива. Документирование выполнялось с трех разных расстояний – минимально допустимого с 42-мм макрокольцом, минимально допустимого без макрокольца и большего расстояния, результатом съемки с которого стали фотоснимки, «увязочные» по своей сути. Недостаток освещения компенсировался накамерной кольцевой вспышкой[7]. Такая, на наш взгляд избыточно усложненная, схема съемки оказалась исключительно трудоемкой: по расчету исследователей, документирование 1 м² скальной поверхности занимает более 15 часов (Vavulin, Nevskaya, Tybykova, 2019, p. 89).

При обработке в программном обеспечении Agisoft Metashape увязка выполнялась для всех фотографий, но построение плотного облака точек осуществлялось исключительно по фотоснимкам первой серии, сделанным с макрокольцами, что позволило избежать дефектов, связанных с разным масштабом фотоснимков «ближних» и «дальних» серий. Большой объем получаемых данных заставил исследователей строить облако точек для небольших фрагментов, размером 10×10 см, и формировать для этих фрагментов матрицы высот, которые в дальнейшем и использовались для исследования надписи.

Масштабирование осуществлялось посредством закрепления на поверхности камня 6-мм калибровочных марок (которые вследствие примененной схемы съемки и последовательности операций оставались на фотографической текстуре и самой модели) и сканирования поверхности сканерами со структурированным подсветом. Эта операция рассматривалась исследователями одновременно как масштабирование и как контроль качества. Однако, на наш взгляд, это решение сомнительно, так как фактически более точные и детальные данные проверяются методом, имеющим почти на два порядка более низкую точность (сканер Creaform GoScan 50 обеспечивает разрешение 0,5 мм, причем погрешности резко возрастают при ярком солнечном освещении).

Не менее сомнительным представляется и выбор сервиса Sketchfab как инструмента для веб-презентации моделей. Простота его использования имеет и обратную сторону – на сервисе невозможно ни развернуть сколько-нибудь детальную модель (а значит, и исследовать модель с отключенной текстурой), ни управлять светом для выявления плохо читаемой надписи (Vavulin, 2017, p. 258). Таким образом веб-модель остается лишь «демонстрацией возможностей цифровых технологий», но не становится инструментом внешней верификации предлагаемого исследователем прочтения[8].

Тем не менее работы исследовательского коллектива Томского университета, несмотря

на ряд неудачных методологических решений, являются важным этапом истории применения цифрового документирования в изучения рунической эпиграфики. Широкому внедрению этой методики в практику помешала прежде всего сложность и трудоемкость съемки и обработки, поэтому дальнейшего развития она не получила.

Как следствие, доступность качественных изображений рунических письменных памятников остается низкой, что затрудняет их дальнейшее изучение. Исследователи по-прежнему во многих случаях вынуждены обращаться к фотографиям, графитовым протиркам и эстампажам XX и даже XIX века. Радикально эта проблема может быть решена лишь сплошным документированием всего комплекса памятников рунической эпиграфики евразийских степей.

Первые экспериментальные съемки рунических надписей Монголии были предприняты нами в октябре 2017 г. с использованием опыта документирования старорусской эпиграфики в проекте «Свод русских надписей» (Авдеев, Свойский, 2019). Результаты оказались успешными, и в 2019 г. Лаборатория RSSDA начала систематическое документирование рунических памятников в рамках проекта И.В. Кормушина «Коррекционные исследования древнетюркских рунических памятников на территории Монголии». В дальнейшем программа документирования была расширена на территории Хакасии и Тувы, отдельные надписи документировались также на Алтае и в Карачаево-Черкесии[9]. Задачами этих работ стали как создание точных цифровых образов рунических надписей, так и разработка методов и подходов к визуализации этих цифровых образов в печатных и электронных публикациях на основе опыта с обширным массивом разнородных эпиграфических памятников[10].

Методология документирования тюркских рунических надписей принципиально не отличается от методологии документирования эпиграфических памятников вообще, хотя и имеет ряд специфических особенностей. В рамках настоящего проекта до сих пор документировались три типа памятников тюркской рунической эпиграфики: (1) надписи на монументальных стелах специального изготовления, выполненные в технике резьбы на плоских, предварительно хорошо обработанных поверхностях, (2) надписи на изваяниях, выполненные в технике гравировки, реже резьбы, на криволинейных поверхностях и (3) надписи на естественных скальных поверхностях, выполненные в технике граффито. Для каждого из этих случаев требуется свой подход к документированию, моделированию и визуализации. Так, для надписей на монументальных стелах и изваяниях воспроизведение геометрии «носителя» не менее важно, чем воспроизведение самой надписи. Для надписей, выполненных в технике граффито особенно важно обеспечить очень высокую детальность моделирования, так как она дает возможность более надежной идентификации плохо различимых символов. В нижеследующих секциях рассматриваются различные аспекты формирования системы документирования и публикации эпиграфики применительно к специфике памятников рунических письменностей евразийских степей.

Документирование

Основой сложившейся к настоящему времени системы документирования эпиграфических памятников является метод трехмерного моделирования[11]. Такое моделирование может быть осуществлено несколькими способами – лазерным сканированием, сканированием структурированным светом и фотограмметрической обработкой цифровых фотоснимков высокого разрешения. По нашему опыту предпочтительным является фотограмметрический способ, так как сканирование, по крайней мере на сегодняшнем уровне развития этой технологий, не может обеспечить получение моделей с корректным воспроизведением цвета поверхности и достаточной детализацией. Кроме того, применение сканирования в полевых условиях существующим оборудованием весьма трудоемко, а имеющееся для этого оборудование – достаточно дорогое и капризное. Фотограмметрический способ, при соблюдении процедур документирования, позволяет обеспечить гораздо более высокое качество моделирования (дискретность модели 0,05 мм[12] и лучше, хорошее качество текстуры). Практика показывает, что хорошие исходные данные могут быть получены достаточно простым набором достаточно широко распространенного оборудования. Единственным существенным ограничением фотограмметрического способа являются довольно высокие требования к квалификации операторов документирования.

В рамках настоящего проекта документирование первоначально выполнялось системной беззеркальной камерой Sony A7RII с полнокадровой CMOS-матрицей Exmor R (35,9×24,0 мм), позволяющей получить фотоснимки разрешением 7952×5304 пикселей (42,4 Мпикс), оснащенной широкоугольными объективами Sony FE 28 мм f/2 (SEL28F20) и Sony-Zeiss Sonnar T* FE 35 мм f/2.8 ZA (SEL35F28Z) с фокусным расстоянием 35 мм. По мере анализа результатов моделирования был постепенно осуществлен переход на нормальные объективы Sony FE 50 мм f/2.5 G (SEL50F25G) с фокусным расстоянием 50 мм. Выбор объектива для фотограмметрической съемки эпиграфических памятников является проблемой, не имеющей однозначного решения. Широкоугольные объективы обеспечивают более высокую производительность фотографирования (за счет меньшего числа фотоснимков, необходимых для полного покрытия поверхности объекта). Одновременно снижаются и требования к регулярности схемы съемки (так как при съемке с одного и того же расстояния фотоснимок, сделанный с широкоугольным объективом, покрывает большую площадь, чем фотоснимок, сделанный с нормальным объективом), а значит, съемка может быть выполнена оператором более низкой квалификации. Однако нормальный объектив позволяет получить более высокую детальность исходного фотоснимка, а следовательно, и более высокую детальность моделирования. При этом оптические качества объектива тоже имеют значение – эксперименты с нормальными объективами Sony FE 50mm f/1.8 (SEL50F18F), Sony FE 50 мм f/2.8 Macro (SEL50M28) и Sony FE 50 мм f/2,5 G (SEL50F25G) показали, что последний позволяет получить фотоснимки с существенно меньшими геометрическими и хроматическими аберрациями. Использование длиннофокусных объективов (тестировался Sony FE 90 мм f/2.8 Macro OSS (SEL90M28G)) показало, что для абсолютного большинства случаев они избыточны, но отлично показывают себя при съемке амфорных клейм и надписей на монетах и тессерах. Таким образом, в конечном итоге сложился вывод, что при документировании стел хорошей сохранности с руническими надписями, выполненными в технике трехгранно-выемчатой и желобковой резьбы, допустимо использование нормальных объективов с относительно коротким фокусным расстоянием, но при работе с гравировками и сильно поврежденными объектами хорошее качество исходных фотоматериалов для моделирования может быть получено только с нормальными объективами. Применение длиннофокусных объективов можно рекомендовать только для наиболее сложных случаев, когда моделирование выполняется с детальностью «до минерального зерна» – например, на умышленно поврежденных надписях и тонких граффити.

Постепенное повышение требований к четкости фотоснимков привело к переходу на фотоаппаратуру следующего поколения – в практику документирования рунической эпиграфики была внедрена камера Sony A7RIVA, а затем и Sony A7RV, отличающиеся большим разрешением матрицы (61,0 Мпикс против 42,4 Мпикс) и существенно лучшим качеством автоматической фокусировки. Неизбежным побочным эффектом технического прогресса здесь стало существенное снижение производительности моделирования, так как увеличение разрешения матрицы привело к увеличению и размера фотоснимка (59 Мб против 41 Мб), а значит – к замедлению обработки и повышению требований к вычислительному оборудованию.

Важным фактором обеспечения высокой четкости исходных фотоматериалов является подбор настроек фотографирования – времени экспозиции (выдержки), размера относительного отверстия (диафрагмы) и чувствительности матрицы (ISO). Эти параметры взаимосвязаны и изменение одного из них влечет за собой изменение другого. Короткая выдержка (не длиннее 1/200 с) обеспечивает отсутствие т. н. «смаза», особенно при съемке без использования штатива. Низкие значения чувствительности сенсора (ISO до 200 для матрицы камеры A7RII, до 400 для матриц камер A7RIVA и A7RV) позволяют получить изображение низкой зернистости. Закрытая диафрагма (размер относительного отверстия в пределах f/9 – f/11)[13] позволяет увеличить глубину резко отображаемого пространства. При съемке с такими настройками, однако, естественная освещенность объекта оказывается недостаточной. Тем более недостаточно искусственное освещение, обычное в музейных залах и особенно в помещениях фондов. Проблема недостаточной освещенности

решается применением накамерных кольцевых вспышек-осветителей большой мощности[14].

Кроме того, получение исходных фотоматериалов хорошего качества обеспечивается выполнением фотосъемки в сыром формате камеры, применением калибровочных мишеней для коррекции баланса белого цвета, использованием устойчивых к температурным деформациям стальных масштабных базисов с марками, автоматически распознаваемыми фотограмметрическим программным обеспечением.

Схема фотосъемки выбирается в зависимости от геометрии объекта. Монументальные стелы с надписями, выполненными в технике резьбы на плоских поверхностях, а также изваяния с надписями, выполненными в технике гравировки, реже резьбы на криволинейных поверхностях, фотографируются по «офсетной» схеме при которой поверхность расположения камер отстоит от поверхности объекта на 40–60 см и упрощенно повторяет форму объекта. Оптическая ось фотосистемы при этом направлена нормально к поверхности, перекрытие между двумя соседними фотоснимками составляет порядка 60–80%. Для улучшения качества увязки особое внимание уделяется съемке ребер камня и специальным «увязочным» сериям фотоснимков (как правило, это замкнутое кольцо в нижней и верхней частях камня с перекрытием между снимками не менее 80%). Поврежденные участки надписей, а также участки с гравировками снимаются с минимально возможного расстояния, незначительно превышающего минимальную дистанцию фокусировки объектива на режиме автоматической фокусировки (30 см для объектива Sony FE 40 мм f/2,5 G, 37 см для Sony FE 50 мм f/2,5 G). Если носитель (стела, камень и т. п.) может быть перемещен и перевернут, выполняется съемка по замкнутой «офсетной» схеме расположения камер, при которой объект последовательно фотографируется с одной стороны, а затем переворачивается и фотографируется с другой стороны. Это позволяет получить замкнутую модель.

Надписи на скальных поверхностях также фотографируются по разомкнутой «офсетной» схеме, причем документируется не только надпись, но вся поверхность, как правило ограниченная естественными трещинами скалы. При наличии особенно тонких и плохо различимых гравировок на таких участках может быть применен макрообъектив[15], однако практика показывает, что в абсолютном большинстве случаев применение макрообъектива избыточно.

Документирование надписей на предметах[16] может выполняться несколькими способами. Выбор способа определяется геометрией и размерами носителя и надписи. В общем случае идеальным представляется создание полноценной замкнутой модели предмета и надписи как его части. Эта задача может решаться – для достаточно крупных предметов (кирпич, черепица, сосуд и т. п.) – съемкой «с рук» по замкнутой «офсетной» схеме, при этом на надписи набираются дополнительные фотографии с минимально возможного расстояния.

Мелкие предметы (общим размером менее 20 см) могут быть документированы «ротационным» и «рельсово-ротационнным» способами. «Ротационный» способ предполагает, что предмет с надписью закрепляется на автоматизированной поворотной платформе, синхронизированной с установленным на штативе фотоаппаратом, и фотографируется в 2–4 положениях. Для каждого положения делается 3–5 серий фотографий под разными углами. Количество положений, число серий для каждого положения и число фотоснимков в серии определяются сложностью геометрии предмета. В некоторых случаях револьверная съемка может быть дополнена дополнительной серией фотоснимков с рук, сделанных для участка с надписью с несколько меньшего расстояния.

Особенно мелкие предметы (монеты, жетоны, детали поясных наборов и конской сбруи с надписями) в диапазоне размеров от 1 до 5 см документируются комбинированным «рельсово-ротационным» способом с использованием длиннофокусного макрообъектива. Съемка при этом выполняется в два этапа. Общая геометрия предмета получается ротационным способом, аналогичным вышеописанному. Поверхность с надписью документируется отдельно, при этом камера монтируется на роботизированных рельсовых направляющих (слайдере), установленных, в свою очередь, на элевационный штатив. Такая конструкция обеспечивает стабильность положения камеры, равномерное перекрытие между снимками и постоянное расстояние от фотосистемы

до документируемой поверхности. Фотосъемка ведется горизонтальными сериями по 5–8 кадров со смещением слайдера по вертикали после каждой серии. Число серий составляет от 4 до 8, смещение камеры между фотоснимками в серии – от 5 до 10 мм. В дальнейшем данные ротационной и рельсовой съемки увязываются в одном рабочем пространстве.

В исключительных случаях, как правило связанных со съемкой особенно хрупких предметов, деформированных металлических сосудов и предметов из музейных экспозиций, допускается макросъемка небольшой надписи «с рук» с применением относительно короткофокусных макрообъективов (с фокусным расстоянием 30–50 мм)[17] с автоматической фокусировкой. При этом задача получения полноценной замкнутой модели предмета не ставится и моделируется только участок с надписью.

Частным случаем документирования надписи является оцифровка снятого с нее эстампажа. Несмотря на некоторую «вторичность» этого способа, он незаменим при работе с утраченными и плохо сохранившимися письменными памятниками. Оцифровка оттиска (стороны, непосредственно прилегавшей к камню) выполняется аналогично документированию скальной поверхности с той лишь разницей, что по окончании моделирования выполняется операция обращения нормалей, позволяющая в дальнейшем работать с надписью в естественном (а не зеркальном) отображении[18].

Моделирование

Моделирование эпиграфического памятника состоит из фотограмметрического и постфотограмметрического этапов.

Задачей фотограмметрического этапа является формирование трехмерной полигональной мастер-модели, в дальнейшем являющейся основой для создания деривативных моделей. В общем случае процесс фотограмметрического моделирования состоит из (1) подготовки фотоснимков (цветокоррекция, высветление теней и подавление бликов, конвертация в формат JPG), (2) увязки фотоснимков, (3) подготовки результатов увязки к моделированию (выравнивание, задание области моделирования, задание масштаба 1:1), (4) формирования модели. Часть этих операций выполняется вручную, часть – автоматизированной машинной обработкой. Конечным результатом моделирования является трехмерная полигональная мастер-модель.

Трехмерная полигональная мастер-модель формируется в фотограмметрическом программном обеспечении в максимальном технически возможном качестве (детальности), для чего необходимы максимальные настройки на всех этапах технологического процесса. Относительно небольшие модели с числом полигонов в пределах 50 млн (в исключительных случаях до 80 млн) могут быть выгружены для эпиграфического исследования без дополнительных преобразований[19]. Однако модели значительных по размеру эпиграфических памятников высокой детальности (размер полигона 0,05 мм и меньше, площадь поверхности более 1,5 кв. м) на практике часто состоят из более чем 1 млрд полигонов. Такая модель в силу технических ограничений сегодняшнего компьютерного оборудования и программного обеспечения не может быть открыта для непосредственного исследования в программном обеспечении, предназначенном для анализа моделей. Для преодоления этих ограничений применяется процедура постфотограмметрической обработки.

Задачей постфотограмметрического этапа является создание различных дериватив моделирования, представляющих собой инструменты эпиграфического исследования надписи. В рамках настоящего проекта формируются следующие деривативы моделирования.

Общая трехмерная полигональная модель эпиграфического памятника, состоящая из 50–70 млн[20] полигонов с детальностью (размером полигона) в диапазоне 0,10–0,25 мм, сформированная на основе мастер-модели.

Частные трехмерные полигональные модели отдельных поверхностей с надписями, состоящие не более чем из 50–70 млн полигонов, с детальностью (размером полигона) в диапазоне 0,05–0,10 мм, сформированные на основе мастер-модели. Для стел, как правило, создаются частные модели всех граней с надписями. Для изваяний и скальных поверхностей с руническими граффити создается отдельная модель для участка с надписью минимально возможной площади. В отдельных, наиболее сложных случаях частные модели могут формироваться для отдельных частей поверхности с надписью.

Упрощенные трехмерные полигональные модели (веб-модели), сформированные на основе общей модели и всех частных моделей и оптимизированные для веб-трансляции. Детальность (общее число полигонов модели) определяется способом оптимизации и находится в пределах от 10 до 50 млн полигонов. Работа с такими моделями осуществляется в интернет-браузере в среде 3DHOP, в настоящее время наиболее удобной для работы с эпиграфикой[21].

Трехмерные полигональные MSII-модели, построенные на основе частных моделей преобразованием по методу интегрального инварианта (подробнее см. Mara, 2012) без снижения детальности в процессе преобразования. Такие модели, по сути, представляют собой «карты кривизны поверхности» и являются хорошим дополнительным инструментом для работы с плохо сохранившимися надписями. Специфической особенностью формирования MSII-модели является необходимость индивидуального подбора параметров для каждой надписи с учетом характера резьбы или гравировки и морфологии поверхности камня. Создание такой модели требует весьма продолжительных расчетов на высокопроизводительном компьютерном оборудовании.

Матрицы высот отдельных поверхностей с надписями, построенные преобразованием трехмерной полигональной модели в регулярную матрицу высот, отсчитанных от условной поверхности, субпараллельной грани стелы или поверхности с надписью, и отстоящей от нее на некоторое расстояние.

Трехмерные модели с текстурами декорреляционного растяжения (DCS-модели) строятся для надписей, выполненных охрой, тушью или иным красителем, а также для поверхностей, на которых помимо надписи, выполненной выбивкой или гравировкой, наблюдаются следы красочных росписей. В отдельных случаях этот метод применим также для выделения плохо видимых гравировок. Обработка фотоснимков методом декорреляционного растяжения (Harman, 2015), позволяющим алгоритмически преобразовать исходное изображение в псевдоцвета и тем усилить его контрастность, широко применяется в исследованиях наскальных росписей. Как правило, обработке подвергается единичное изображение, однако опыт применения метода на наскальных росписях Гачуурта (Дэвлет и др., 2018)[22] и Идрисовская II (Свойский и др., 2024) показал, что алгоритмы декорелляционного растяжения можно успешно применить и к текстурному файлу трехмерной полигональной модели (как общей, так и частной), а также к растровым рендерам, сформированным на основе этих моделей.

В эпиграфических исследованиях достаточно часто возникают ситуации, когда при общей нормальной читаемости надписи отдельные ее элементы повреждены вследствие воздействия естественных причин или целенаправленного воздействия человека. Частная модель всей поверхности с надписью в этих случаях оказывается недостаточной и возникает необходимость формирования отдельной полигональной модели, отображающей только надпись или даже часть этой надписи. Разрешение такой частной **трехмерной полигональной модели исходной детальности** соответствует разрешению первично сформированной мастер-модели. На ее основе также могут формироваться MSII-модели, матрицы высот и DCS-модели.

Исследование надписей

Первой задачей исследования надписи является надежная идентификация отдельных символов. Для хорошо сохранившихся эпиграфических памятников эта задача, как правило, не представляет затруднений и может быть выполнена при работе непосредственно с камнем или с фотоснимком высокого разрешения, сделанным с боковым светом. Однако для плохо сохранившихся надписей, надписей на поверхностях двойной кривизны, умышленно поврежденных надписей применение трехмерных моделей и их деривативов (при условии обеспечения высокой детальности моделирования и сохранения ее при последующих преобразованиях модели) позволяет существенно упростить прочтение и повысить надежность распознавания символов надписи. При этом наилучшие результаты дает комбинация различных методов визуализации.

Для работы с **трехмерной полигональной моделью** применяется визуализация геометрии поверхности камня методом **расчета освещенности** поверхности при изменении положения эмулированного источника света. Настройка яркости выполняется динамическим (вручную) или автоматизированным

(посредством алгоритмической процедуры) заданием угла и азимута падения относительно поверхности. Практика показывает, что наилучшие результаты получаются с векторами освещенности 54° и 72° (при 0° вектор освещенности направлен перпендикулярно поверхности). Динамическое изменение освещения достаточно трудоемко, но позволяет подобрать угол освещения для каждого конкретного случая. При этом обычно формируется девять изображений (одно со светом, направленным перпендикулярно поверхности, и восемь с углом падения вектора освещенности в диапазоне 45–80°, азимуты падения закладываются через ≅45°). Усовершенствованная автоматизированная процедура предполагает применение угла падения вектора освещенности 54° и/или 72°, азимуты падения закладываются через 15° (24 изображения) или 20° (18 изображений). Метод расчета освещенности применяется в комбинации с отключением фотографической текстуры модели, что в ряде случаев позволяет более ясно проявить символы надписи. Этот метод наиболее прост в освоении и может ограниченно применяться даже при работе с упрощенными трехмерными полигональными моделями в веб-интерфейсе 3DHOP[23]. При этом в отдельных случаях для улучшения читаемости надписи модель письменного памятника может быть повернута под некоторым углом.

Для работы с MSII-моделями, рассчитанными по методу интегрального инварианта, применяется набор математических алгоритмов, позволяющих различными способами визуализировать кривизну поверхности. Метод построения **карты кривизны** следует признать наиболее эффективным способом визуализации плохо сохранившихся надписей, в особенности – выполненных неглубокой резьбой и граффито. Однако его применение весьма трудоемко, так как существующий функционал алгоритма позволяет применить практически бесконечное число вариантов визуализации, каждый из которых может быть дополнительно настроен.

Для работы с **матрицами высот** применяются несколько способов визуализации поверхности математическими алгоритмами, динамически рассчитывающими **псевдоцвет** ячейки матрицы в зависимости от геометрии поверхности в этой ячейке и восьми непосредственно прилегающих к ней соседних ячейках. Псевдоцвет может определяться расстоянием до референсной поверхности, углом наклона, направлением наклона. Для усиления контрастности представления матрицы высот применяется, как и в случае с трехмерными моделями, «подсветка» надписи с динамическим заданием направления и угла освещения. Метод присвоения псевдоцвета весьма эффективен для плоских поверхностей и также достаточно прост в освоении, но для получения хороших результатов требуется тонкая настройка параметров алгоритмов, позволяющая добиться лучшей контрастности изображения.

Работа с **текстурой декорреляционного растяжения** выполняется исследователем либо по предварительно сформированной DCS-модели, либо по рендеру частной модели с текстурой, к которому применяются различные преобразования. Выбор наиболее эффективного алгоритма преобразования цвета определяется составом пигмента, которым сделана надпись.

Публикация

Документирование и исследование эпиграфических памятников предполагает в конечном итоге публикацию данных. Вследствие этого материалы документирования должны обеспечивать возможность публикации накопленных материалов как в электронном, так и в полиграфическом исполнении. Оба этих способа имеют свои возможности и ограничения.

Электронная публикация строится на базовом функционале информационной системы (фильтрация, сортировка, поиск), интерактивной картографии и интерактивной визуализации трехмерной модели. Несомненными преимуществами электронной публикации, помимо интерактивности, является отсутствие практических ограничений по объему текстовой, иллюстративной и картографической составляющих – средствами интернета можно публиковать любые объемы текста, карты любой детальности на неограниченные площади, достаточно детальные трехмерные модели и практически неограниченное количество фотоснимков, прорисовок и иных вспомогательных материалов. Электронная публикация может быть построена на нелинейном принципе – нужную выборку и последовательность вывода информа-

Рис. 1. Рендеры общего вида в изометрии, с фотографической текстурой и без текстуры. Общие трехмерные полигональные модели. Первая и вторая стелы Тоньюкука.
Fig. 1. Isometric general view renderings, with and without photographic texture. Overall three-dimensional polygonal models. The first and second steles of Tonyukuk.

ции пользователь информационной системы формирует сам, задавая критерии выборки инструментами интерфейса информационной системы. При формировании полноценного корпуса надписей электронная публикация в форме базы данных с удаленным доступом дает прекрасные возможности для коррекции и дополнения содержания.

Печатная публикация требует возвращения из трехмерного пространства в двухмерное. В ней невозможно реализовать динамическое управление выборкой, поэтому вся информация должна быть структурированной. Картография ограничена не детальностью, но масштабом, поэтому расположение объектов на сколько-нибудь обширной территории можно показать лишь приблизительно. Трехмерная модель не может быть помещена в печатную публикацию, и для ее визуализации нужны дополнительные иллюстративные средства. Кроме того, практические соображения (прежде всего ограничения по объему публикации и дороговизна хорошей полиграфии) не позволяют опубликовать большое количество изображений в высоком качестве. Печатная публикация стабильна и не может быть изменена после издания, и любые дополнения к ней требуют новой печатной публикации. Тем не менее печатные публикации необходимы не в меньшей степени, чем электронные – в первую очередь как удобный и привычный для большинства пользователей способ репрезентации надписи. Печатная публикация фиксирует резуль-

таты определенного этапа исследований и, при современном уровне развития технологий, менее зависима от воздействия внешних факторов. Как следствие, материалы документирования требуют специальной оптимизации как для электронных, так и для печатных публикаций.

Опыт работы с рунической эпиграфикой, а также с результатами документирования разнообразных эпиграфических памятников, в том числе старорусской эпиграфики XV–XVIII веков, древнерусских граффито, античной и византийской эпиграфики (Авдеев, Свойский, 2019; Виноградов, 2020, Дробышева, Свойский, 2021 и др.), амфорных клейм (Свойский и др., 2024), показал, что трехмерные модели и их деривативы (MSII-модели, DCS-модели, матрицы высот) могут успешно применяться не только при исследовании надписей, но и для их публикации и демонстрации во время докладов. При этом рендеры (растровые изображения), полученные из трехмерные моделей и их деривативов, успешно заменяют не только фотоснимки, но – по крайней мере в некоторых случаях – и прорисовки символов надписи. Основные преимущества этого способа формирования иллюстраций заключаются в том, что рендер модели, в отличие от фотоснимка, является размерным и не содержит обычных для фотографии геометрических искажений.

До настоящего времени авторы эпиграфических публикаций в иллюстративных возможностях были ограничены прорисовкой, фотографией и воспроизведением протирок, эстампажей и микалентых копий. Применение рендеров трехмерных полигональных моделей и их деривативов позволяет воспроизвести надпись существенно большим числом способов и устранить субъективность, присущую традиционным прорисовкам. Прорисовка при этом становится инструментом интерпретации, а не документирования. На наш взгляд, базовый набор иллюстративных рендеров для письменного памятника, документированного трехмерным моделированием, может включать следующие элементы.

Для объекта документирования в целом:

(1) рендеры общего вида в изометрии, с текстурой и без текстуры (рис. 1);

(2) рендеры восьми ракурсов вертикально ориентированного камня с углом между ракурсами 45°, дополненные тремя сечениями в нижней, средней и верхней частях камня. Формируются на основе общей трехмерной полигональной модели для стел и изваяний с надписями, не формируются для надписей на естественных скальных поверхностях (рис. 2).

Для каждой из поверхностей с надписями:

(1) рендеры с текстурой и без текстуры. Формируются на основе частной модели максимальной технически возможной детальности с подбором оптимального направления освещения (рис. 3);

(2) рендеры некоторого числа вариантов переменного направления освещения с текстурой и без текстуры (рис. 4);

(3) рендер карты кривизны. Формируется на основе MSII-модели (рис. 5);

(4) рендеры шести вариантов визуализации матрицы высот (рис. 6);

(5) рендеры DCS-модели. Формируются в одном или нескольких вариантах.

Кроме того, для наиболее спорных и трудночитаемых элементов надписи на основе частных моделей исходной детальности формируются вспомогательные иллюстративные материалы (аналогичные описанным выше), обосновывающие прочтение отдельных символов или слов.

Безусловно, в печатной публикации невозможно воспроизвести все изображения, подготовленные в процессе исследования. Однако разнообразие полученных рендеров позволяет подобрать набор, оптимально иллюстрирующий конкретную надпись (рис. 7).

Электронная публикация дает исследователю еще больше возможностей, так как число и формат иллюстраций в электронной публикации практически ничем не ограничены. Электронная публикация позволяет дополнить описанный выше набор иллюстраций упрощенными трехмерными моделями, оптимизированными для веб-интерфейса, в том числе веб-вариантами MSII- и DCS-моделей.

Выводы

Рассмотренная система документирования, исследования и публикации в настоящее время внедряется в практику исследования памятников рунической эпиграфики евразийских степей. К моменту публикации этой статьи документирован 141 рунический памятник, создано 190 мастер-моделей[24] и 206 частных моделей отдельных фрагментов, граней стел и поверхностей с надписями. Кроме того, выпол-

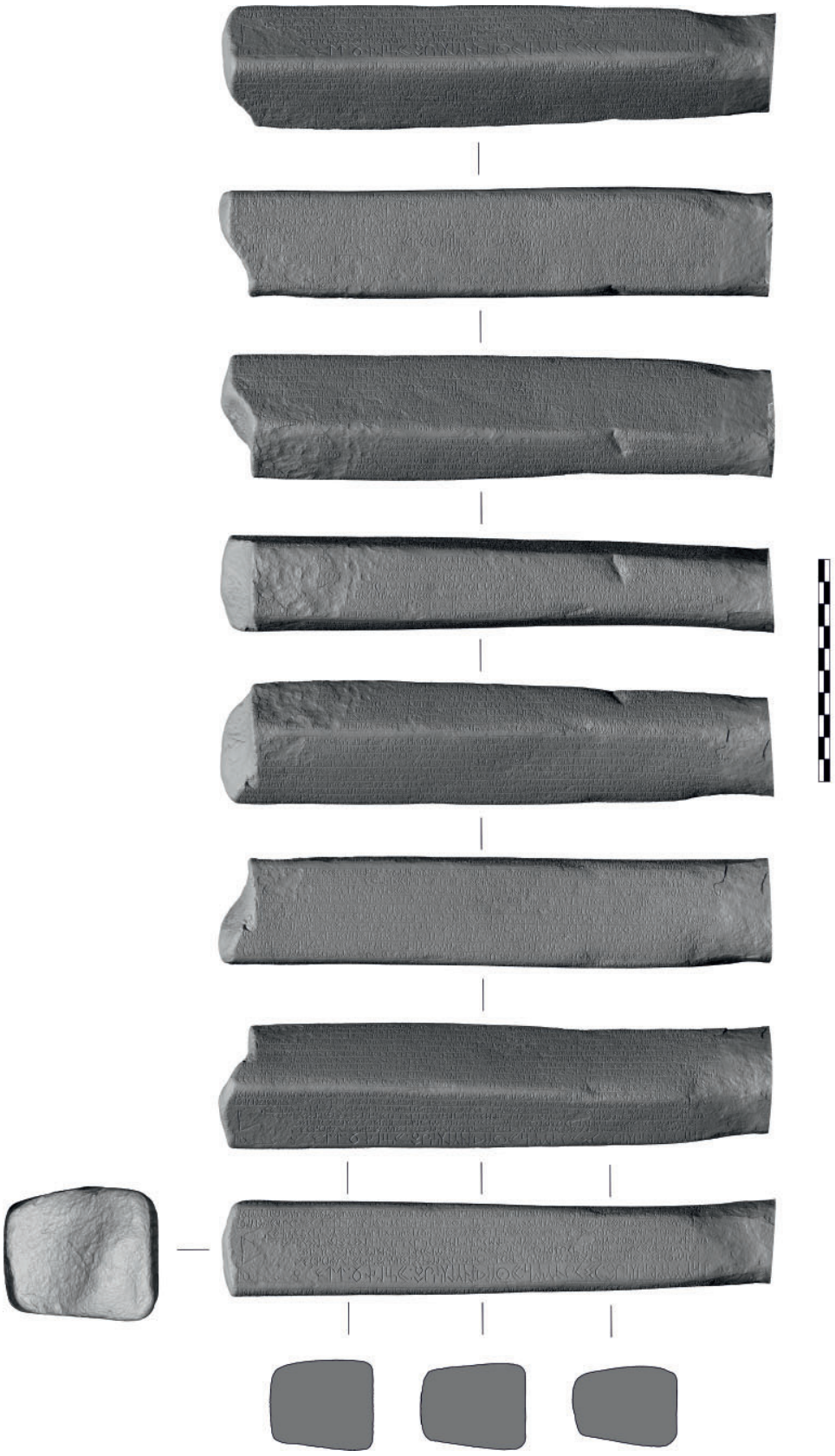

Рис. 2. Рендеры 8 ракурсов вертикально ориентированного камня с углом между ракурсами 45°, в варианте без текстуры. Первая стела Тоньюкука.
Fig. 2. Renderings of 8 views of a vertically oriented stone with a 45° angle between the views, a version without texture. The first Tonyukuk stele.

Рис. 3. Рендеры модели с текстурой и без текстуры. Общие трехмерные полигональные модели. 4 поверхности первой стелы Тоньюкука.
Fig. 3. Renderings of the model with and without texture. General three-dimensional polygonal models. 4 surfaces of the first Tonyukuk stele.

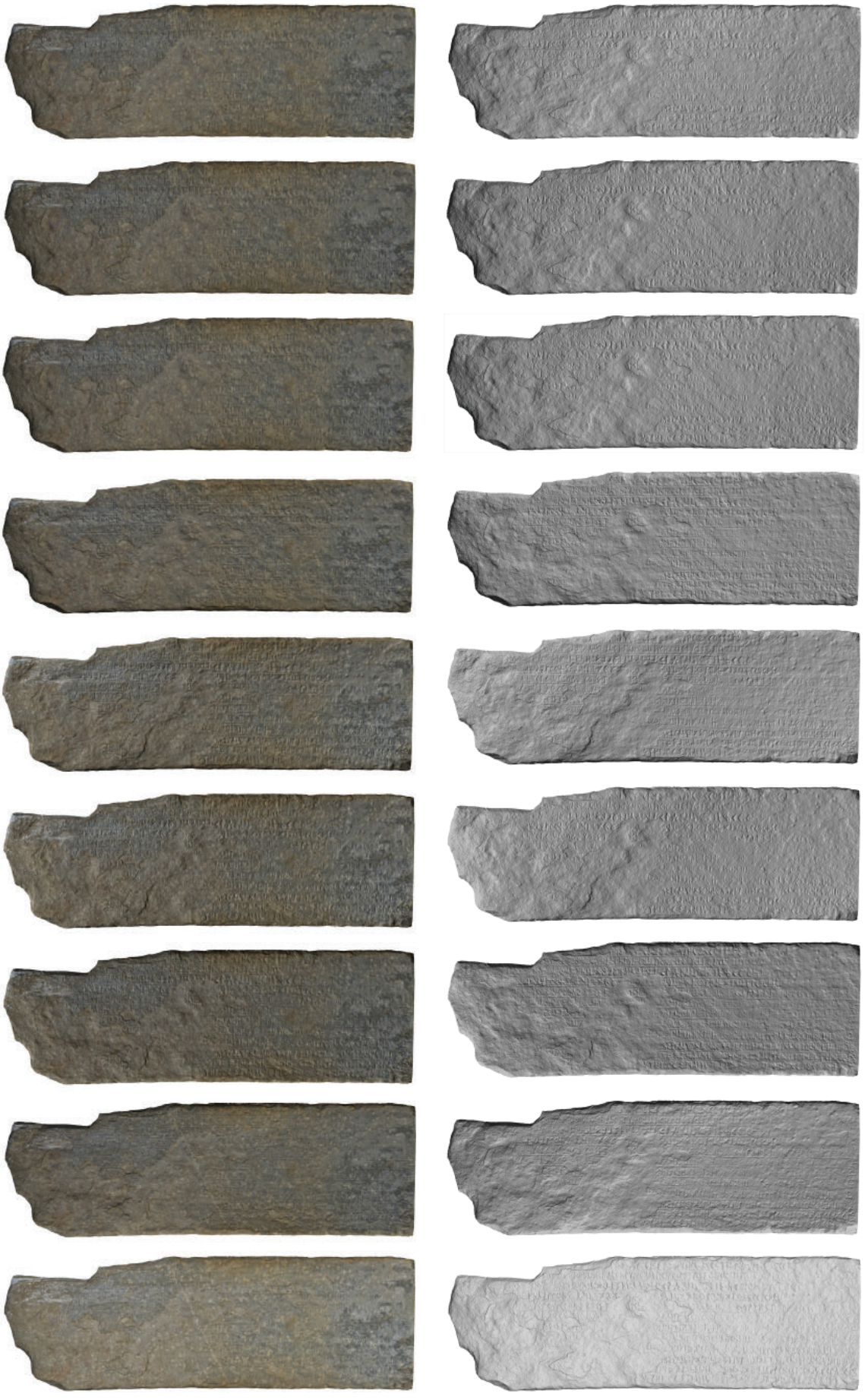

Рис. 4. Рендеры 9 вариантов переменного направления освещения с текстурой и без текстуры. Стела Кули-чура.
Fig. 4. Renderings of 9 versions of variable lighting direction with and without texture. The Kuli-chur stele.

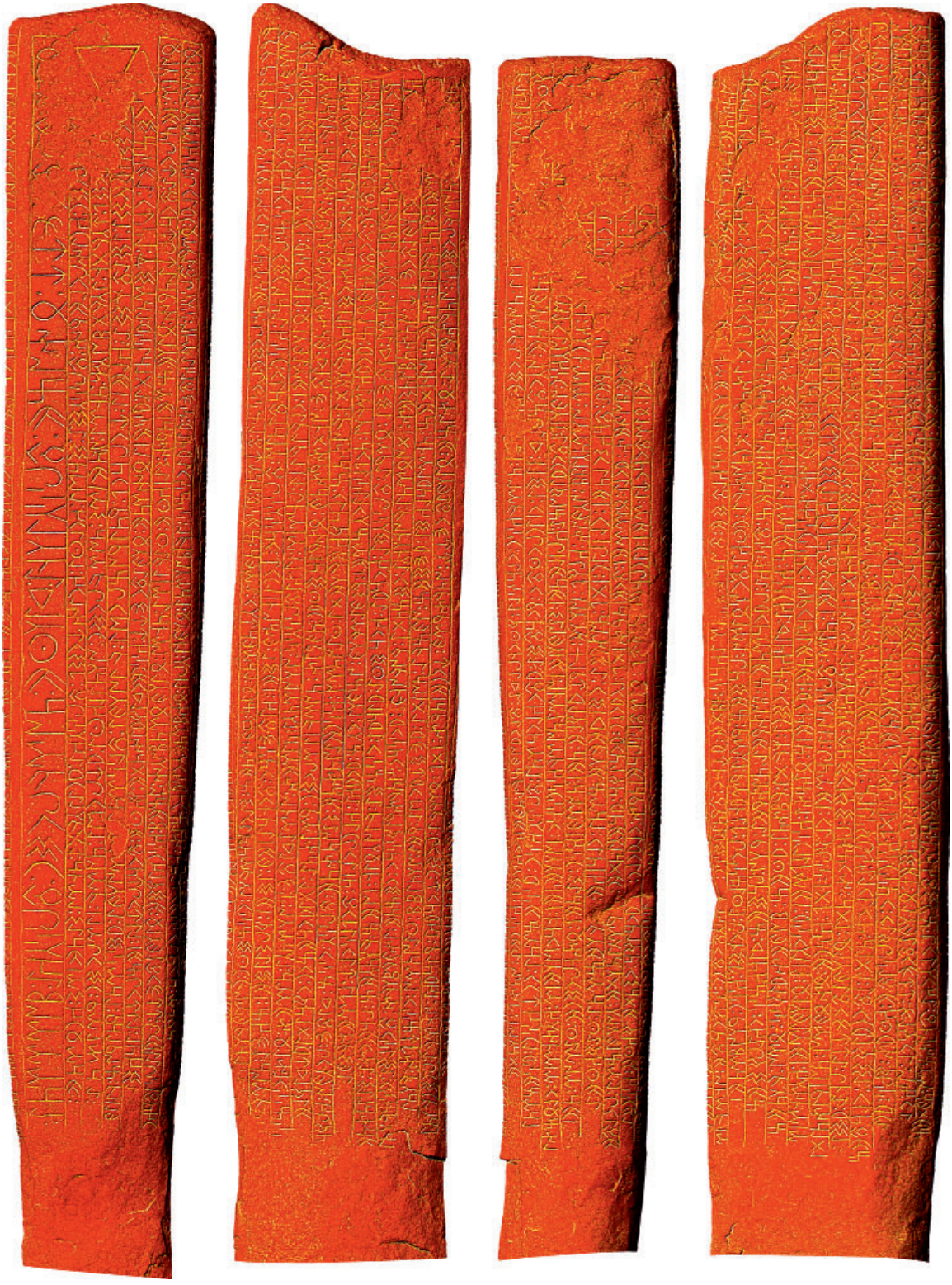

Рис. 5. Рендеры карты кривизны. 4 поверхности первой стелы Тоньюкука.
Fig. 5. Renderings of the curvature map. 4 surfaces of the first Tonyukuk stele.

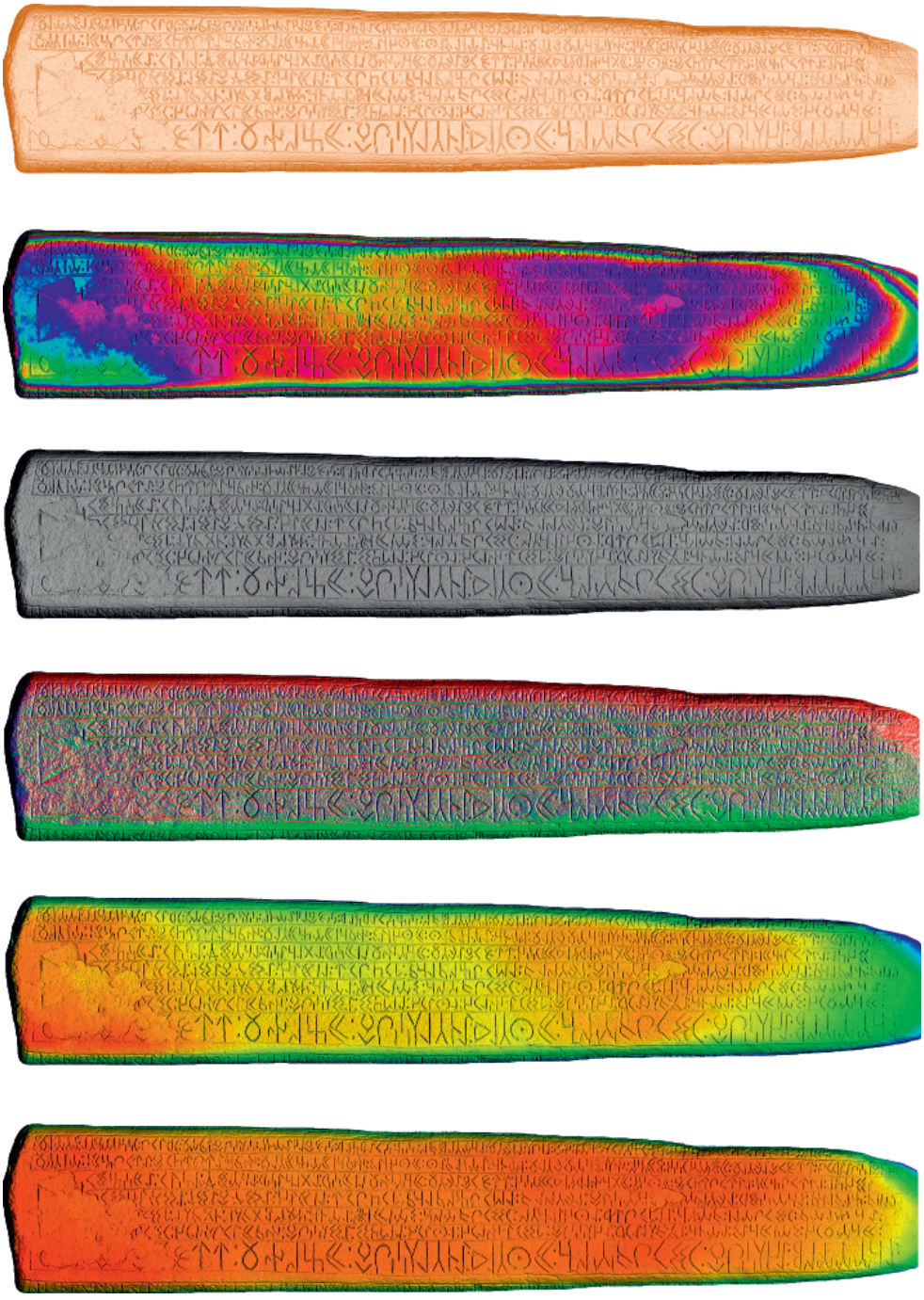

Рис. 6. Рендеры 6 вариантов визуализации матрицы высот. Первая стела Тоньюкука, поверхность со строками 1-7.
Fig. 6. Renderings of 6 visualization options of the height matrix. The first stele of Tonyukuk, a surface with text lines 1-7.

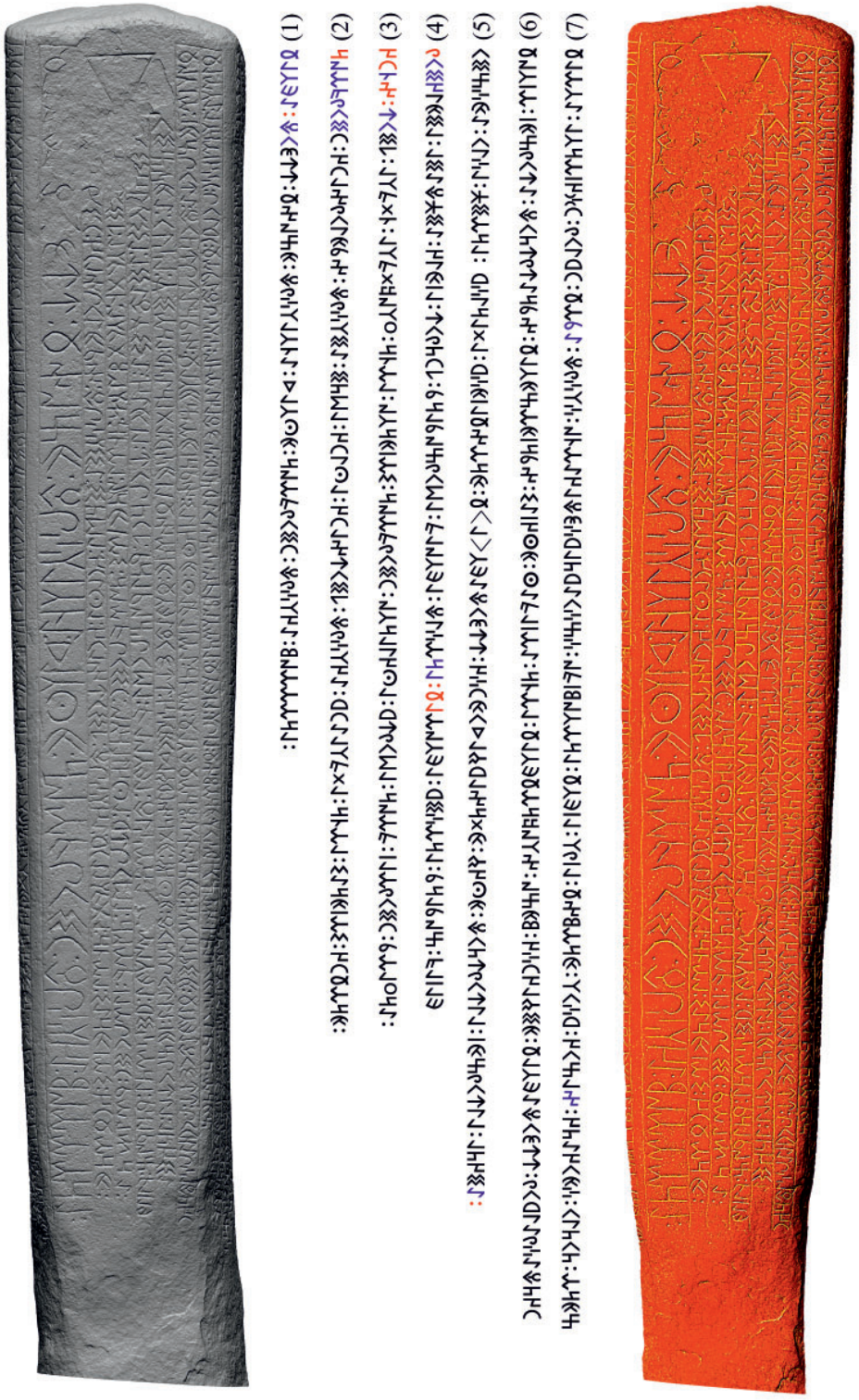

Рис. 7. Пример верстки страницы публикации, позволяющей читателю сопоставить предлагаемое автором прочтение с воспроизведением надписи различными способами.
Fig. 7. An example of the layout of a publication page, allowing the reader to compare the reading proposed by the author with the reproduction of the inscription in various ways.

нена реконструкция 12 рунических памятников методом сборки из фрагментов. Завершается формирование деривативов (общих и частных моделей, матриц высот), начато формирование MSII-моделей и иллюстрационных рендеров. Использование материалов документирования уже позволило уточнить чтения ряда памятников древнетюркской (орхоно-енисейской) руники. Эти чтения в настоящее время готовятся к публикации.

Примечания:

[1] См. детальный анализ данных алфавитов в (Кызласов, 1994, с. 13–78). Кроме того, там же предлагается термин «тисское письмо» для рунического алфавита венгерских (надьсентмиклошских и сарвашских) надписей. Не получили специального рассмотрения в этой основополагающей для современных рунологических исследований монографии руноподобные письмена Восточной Сибири (ленские и прибайкальские), которые и сейчас остаются практически неизученными.

[2] К настоящему времени нами достоверно учтены 474 памятников «степной» руники; некоторые из них, впрочем, могут быть в будущем переквалифицированы как тамги.

[3] См., например, работу (Савельев, 2022) в связи с критикой существующих чтений восточноевропейских (донских и кубанских) рунических памятников на булгаро-тюркской почве.

[4] К настоящему времени в рамках проекта изучен массив из более чем 400 публикаций рунической эпиграфики, преимущественно охватывающий памятники орхонского и енисейского письма.

[5] Подробнее о традиционных способах документирования эпиграфических памятников вообще см. (Авдеев, Свойский, 2019).

[6] См. (Невская, Вавулин, Тыбыкова, 2019, с. 251). Из публикаций не ясно, сколько надписей было документировано (от 21 до 40) и сколько моделей сформировано (не менее 17). Из этих данных к настоящему времени в той или иной форме опубликовано девять надписей – Бичикту-Бом-III, Иодро-I, Туэкта-V, Карбан-IV, Серлю-I, Серлю-II, Серлю-III, Серлю-IV и Садах-Улар.

[7] Была применена вспышка Raylab R-10 TTL с ведущим числом 10, вполне обеспечивающая подсветку при съемке с макрокольцом, но бесполезная на больших дистанциях.

[8] Пример бессмысленной веб-модели рунической надписи Садах-Улар см. по ссылке: https://sketchfab.com/3d-models/sadah-ular-eb6bcc9ce5934f69aeb9f7934e6c2b7b

[9] В полевых работах по документированию рунической эпиграфики, в 2017–2024 гг. принимали участие Ю.М. Свойский, Е.В. Романенко, М.Д. Дынин, А.А. Зиганшина, А.А. Чернухина, А.П. Гирич, Ю.А. Миронова, Д.М. Павлов, С.В. Пешков, А.А. Пичугина. Фотограмметрическая и постфотограмметрическая обработка выполнены Е.В. Романенко и М.Д. Дыниным при участии А.П. Гирич и А.А. Зиганшиной. Иллюстрации к настоящей статье подготовлены А.А. Пичугиной и Ю.А. Мироновой.

[10] Начиная с 2016 г. Лаборатория RSSDA под руководством Ю.М. Свойского и Е.В. Романенко выполнила документирование более 4500 эпиграфических памятников на территориях России, Беларуси, Украины, Монголии, Кыргызстана, Турции и Италии – древнегреческих надписей (в том числе граффити и амфорных клейм) Причерноморья и Малой Азии, византийских надписей, средневековых латинских надписей, древнерусских граффити, старорусских надписей, несторианских надписей на кайраках, арабских надгробных надписей Поволжья, отдельных согдийских, армянских, уйгурских, старомонгольских, кириллических молдавских надписей, хорезмийских надписей на оссуариях, самаритянских и еврейских надписей, в том числе на тессерах, а также надписей письмом брахми.

[11] Подробное обоснование применения трехмерного моделирования в эпиграфике и анализ его преимуществ и ограничений по сравнению с традиционными методами документирования см. в работе (Авдеев, Свойский, 2019).

[12] В отдельных специфических случаях (граффити, амфорные клейма) вполне возможно получение дискретности модели (размера единичного полигона) в 0,005 мм, однако для большинства случаев дискретность мастер-модели 0,05 мм можно считать вполне достаточной.

[13] Дальнейшее закрытие диафрагмы ограничивается дифракционными явлениями, расчеты (и их экспериментальное подтверждение на калибровочной мире) показывают, что для камеры Sony A7RII возможно рекомендовать диафрагму f/10 при использовании широкоугольного объектива (28 мм, 35 мм) и f/11 при использовании нормального объектива (40 мм, 50 мм). При этом при переходе на более совершенные камеры Sony A7RIV и Sony A7RV размер относительного отверстия должен быть увеличен до f/9 при использовании широкоугольного объектива (28 мм, 35 мм) и f/10 при использовании нормального объектива (40 мм, 50 мм).

[14] Применялась накамерная кольцевая вспышка Godox AR-400 с ведущим числом 36.

[15] Применялся объектив Sony FE 50 мм f/2.8 Macro, допускающий съемку без использования штатива с

расстояния 18 см.

[16] Документирование рунической эпиграфики на небольших предметах нами до настоящего времени не выполнялось, здесь оно описано по опыту документирования античного материала – амфорных клейм, фрагментов керамических сосудов, строительной керамики, свинцовых табличек и свинцовых грузил с надписями. Подробнее см., в частности, работу (Свойский и др., 2023).

[17] Применение длиннофокусных макрообъективов для выполнения этой задачи не может быть рекомендовано вследствие малой (менее 1 см) глубины резко отображаемого пространства при съемке с предельно малых дистанций.

[18] Подробнее о процедуре работы с эстампажем см. (Свойский, Романенко, Миклашевич, 2018).

[19] Существующую практику эпиграфического исследования моделей непосредственно в фотограмметрическом программном обеспечении следует признать порочной. Фотограмметрическое программное обеспечение по своей сути предназначено для расчетов, а не для исследования, как следствие, оно имеет весьма ограниченный набор инструментов визуализации. Поэтому выполнить чтение плохо сохранившейся надписи на поверхности сложной геометрии и тем более подготовить модель к полноценной публикации в фотограмметрическом программном обеспечении практически невозможно.

[20] Здесь и далее указаны предельные значения размера модели, с которой могут работать современные персональные компьютеры.

[21] Среда 3DHOP, в отличие от функционала сервиса Sketchfab, позволяет работать с моделями достаточно высокой детальности и выполнять ряд манипуляций с веб-моделью, применимых для прочтения надписи плохой сохранности (отключение текстуры, изменение освещения, измерение элементов графем).

[22] Эксперименты с преобразованием текстурных файлов и формированием DCS-модели были выполнены нами уже после публикации статьи о наскальных росписях Гачуурта и в статье не описаны. DCS-модель с пятью вариантами воспроизведения текстуры в настоящее время доступна по ссылке https://rssda.su/auxil/xz1036.html.

[23] См. пример упрощенной трехмерной полигональной модели тюркской рунической надписи в среде 3DHOP: https://rssda.su/auxil/ve0013.html.

[24] В случае документирования памятников, находящихся во фрагментированном состоянии, для каждого фрагмента формировалась отдельная мастер-модель, поэтому число мастер-моделей заведомо превышает число письменных памятников.

ЛИТЕРАТУРА

Авдеев А.Г., Свойский Ю.М. Методы документирования эпиграфических памятников Московской Руси в рамках Свода русских надписей (CIR) // Вопросы эпиграфики. Вып. 10 / под ред. А. Г. Авдеева. М.: Русский фонд содействия образованию и науке (Университет Дмитрия Пожарского), 2019. С. 229–260.

Баттулга Ц. Монголын руни бичгийн бага дурсгал. XII боть. Улаанбаатар, 2020.

Виноградов А.Ю. Находки памятников византийской эпиграфики в Причерноморье в 2020 г. Доклад на конференции «Эпиграфические итоги 2020 года». Видеоконференция, 18–19 декабря 2020 года. Доступно по: URL: https://youtu.be/7Oj8hTFVn54?t=141 (дата обращения: 03.07.2022).

Дробышева М.М., Свойский Ю.М. «Стойте со страхомъ…»: Древнерусские граффити с территории Можайского кремля // Древняя Русь. Вопросы медиевистики. 2021. № 2 (84). С. 124–141.

Дэвлет Е.Г., Уранчимэг Д., Баяртур Б., Свойский Ю.М., Романенко Е.В. Наскальные изображения Гачуурта (Монголия): новые наблюдения // Проблемы истории, филологии, культуры. 2018. № 2. С. 101–115.

Кызласов И.Л. Рунические письменности евразийских степей. М.: Восточная литература, 1994. 323 с.

Невская И.А., Вавулин М.В., Тыбыкова Л.Н. Трехмерная документация древнетюркских рунических надписей Алтая: опыт экспедиций 2017–2018 годов // Алтайское языкознание: проблемы и исследования. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 150-летию первой "Грамматики алтайского языка" / Отв. ред. А.Н. Майзина. Горно-Алтайск: Научно-исследовательский институт алтаистики им. С.С. Суразакова, 2019. С. 250–257.

Савельев А.В. О булгарском чтении восточноевропейской руники // Хазарский альманах. Т. 18 / ред. О.Б. Бубенок, В.Я. Петрухин. М.: Индрик, 2022. С. 171–193.

Свойский Ю.М., Романенко Е.В., Миклашевич Е.А. Опыт создания цифровых образов эстампажей енисейских петроглифов методом трехмерного моделирования // Camera praehistorica. 2018. № 1. С. 106–116.

Свойский Ю.М., Романенко Е.В., Леванова Е.С., Зиганшина А.А., Павлов Д.М., Кащей О.А., Бирюкова Е.Р. Наскальные рисунки местонахождения Идрисовская II. Методы цифрового картографирования и документирования // Уфимский археологический вестник. 2024. № 1. С. 92–110.

Свойский Ю.М., Ольховский С.В., Романенко Е.В., Зайцев А.В. О методике массового бесконтактного документирования амфорных клейм // КСИА. 2023. Вып. 270. С. 370–383.

Свойский Ю.М., Ольховский С.В., Романенко Е.В., Зайцев А.В., Гирич А.П., Глотова А.П. Амфорные клейма. Проблемы документирования, публикации, информатизации // ВДИ. 2024. № 2 (84). С. 465–483.

Harman Jon. Using DCSretch for rock art recording // International Newsletter on Rock Art. 2015. № 72. P. 24–30.

Kljaštornyj S.G., Vásáry I. A Runic Inscription on a Bull-skull from the Volga Region // Between the Danube and the Caucasus. Oriental Sources on the History of the Peoples of Central and South-Eastern Europe / Ed. by György Kara. Budapest, 1987. P. 171–179.

Mara H. Multi-Scale Integral Invariants for Robust Character Extraction from Irregular Polygon Mesh Data. PhD thesis. Ruprecht-Karls-Universitat Heidelberg, 2012.

Maue D. 2019. The Brāhmī Script on the Bugut Stele // Journal Asiatique 307 (1): 109–119.

Ölmez M. 2018. The Khüis Tolgoi Inscription: On the Discovery, Whereabouts, Condition of the Stones, and an On-the-spot Visit // Journal Asiatique 306 (2): 287–289.

Vavulin M.V. Documentation of Old Turkic runic inscriptions of the Altai mountains using photogrammetric technology // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives. 2017. Vol. XLII-2/W8. P. 257–261.

Vavulin M.V., Nevskaya I.A., Tybykova L.N. Digital macro-photogrammetry in documentation of Old Turkic runiform inscriptions in the Altai Mountains // Mediterranean Archaeology and Archaeometry. 2019. T. 19. № 2. P. 81–104.

Информация об авторах:

Свойский Юрий Михайлович, руководитель Лаборатории RSSDA, инженер, Институт классического Востока и античности НИУ «Высшая школа экономики» (г. Москва, Россия); rutil28@gmail.com

Савельев Александр Владиславович, старший научный сотрудник, Институт языкознания РАН; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (г. Москва, Россия); a.savelyev@iling-ran.ru

Дынин Михаил Даниилович, аспирант, НИУ «Высшая школа экономики», научный сотрудник, Лаборатория RSSDA (г. Москва, Россия); mdynin7@gmail.com

Романенко Екатерина Васильевна, научный сотрудник, Лаборатория RSSDA (г. Москва, Россия); ekaterina.romanenko@gmail.com

REFERENCES

Avdeev, A. G., Svoyskiy, Yu. M. 2019. In Avdeev, A.G. (ed*.). Voprosy epigrafiki (Issues of Epigraphy)* 10. Moscow: Dmitry Pozharsky University, 229–260 (in Russian).

Battulga, Ts. 2020. *Mongolyn runi bičgijn baga dursgal. XII bot' (The small monuments of Mongolian runic inscriptions. Volume 12)*. Ulaanbaatar.

Vinogradov, A. Yu. 2020. *Nahodki pamyatnikov vizantijskoj epigrafiki v Prichernomor'e v 2020 g. (Finds from Byzantine Epigraphic Monuments in the Black Sea Region in 2020).* Talk presented at the conference "Epigraphic Results of 2020". Videoconference, December 18–19, 2020. [Online resource]. URL: https://youtu.be/7Oj8hTFVn54?t=141 (accessed: 28.06.2025).

Drobysheva, M. M., Svoyskiy Yu. M. 2021. In *Drevnyaya Rus'. Voprosy medievistiki. (Ancient Russia. Issues of Medieval Studies)* 84 (2), 124−141 (in Russian).

Devlet, E. G., Uranchimeg, D., Bayartur, B., Svoyskiy, Yu. M., Romanenko, E. V. 2018. In *Problemy istorii, filologii, kul'tury (Journal of Historical, Philological and Cultural Studies)* (2), 101–115 (in Russian).

Kyzlasov, I. L. 1994. *Runicheskie pis'mennosti evrazijskih stepei (Runic Scripts of the Eurasian Steppes)*. Moscow: "Vostochnaya Literatura" Publ. (in Russian).

Nevskaya, I. A., Vavulin, M. V., Tybykova, L. N. 2019. In Maizina, A. N. (ed.).

Altaiskoe yazykoznanie: problemy i issledovaniya (Altai Linguistics: Problems and Research). Gorno-Altaisk: Scientific Research Institute of Altaistics named after S.S. Surazakov, 250–257 (in Russian).

Savelyev, A. V. 2022. In Bubenok, O. B., Petrukhin, V. Ya. (eds.). *Khazarskii al'manakh (Khazar Almanac)* 18. Moscow: "Indrik" Publ., 37–57 (in Russian).

Svoyskiy, Yu. M., Romanenko, E. V., Miklashevich, E. A. 2018. In *Camera praehistorica* (1), 106–116 (in Russian).

Svoyskiy, Yu. M., Romanenko, E. V., Levanova, E. S., Ziganshina, A. A., Pavlov, D. M., Kashchey, O. A., Birukova, E. R. 2024. In *Ufimskii arkheologicheskii vestnik (Ufa Archaeological Herald)* 1, 92–110 (in Russian).

Svoyskiy, Yu. M., Olkhovskiy, S. V., Romanenko, E. V., Zaytsev, A. V. 2023. In *Kratkie soobshcheniia Instituta arkheologii (Brief Communications of the Institute of Archaeology)* 270, 370–383 (in Russian).

Svoyskiy, Yu. M., Olkhovskiy, S. V., Romanenko, E. V., Zaytsev, A. V., Girich, A. P., Glotova, A. P. 2024. In *Vestnik drevnei istorii* (*Journal of Ancient History)* 84 (2), 465–483 (in Russian).

Harman Jon. 2015. In *International Newsletter on Rock Art* (72), 24–30.

Kljaštornyj, S. G., Vásáry, I. 1987. In György Kara (ed.). *Between the Danube and the Caucasus. Oriental Sources on the History of the Peoples of Central and South-Eastern Europe*. Budapest, 171–179.

Mara, H. 2012. *Multi-Scale Integral Invariants for Robust Character Extraction from Irregular Polygon Mesh Data*. PhD thesis. Ruprecht-Karls-Universitat Heidelberg.

Maue, D. 2019. In *Journal Asiatique* 307 (1), 109–119.

Ölmez, M. 2018. In *Journal Asiatique* 306 (2), 287–289.

Vavulin, M. V. 2017. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives*. Vol. XLII-2/W8, 257–261.

Vavulin, M. V., Nevskaya, I. A., Tybykova, L. N. 2019. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*. 19 (2), 81–104.

About the Authors:

Svoyskiy Yuri M. RSSDA Laboratory. Moscow, Russian Federation; HSE University. Pokrovsky boulevard, 11, Moscow, 109028, Russian Federation; rutil28@gmail.com

Savelyev Alexander V. Institute of Linguistics, Russian Academy of Sciences. Bolshoy Kislovsky lane, 1, build. 1, Moscow, 125009, Russian Federation HSE University. Pokrovsky boulevard, 11, Moscow, 109028, Russian Federation; a.savelyev@iling-ran.ru

Dynin Mikhail D. PhD Student, National Research University Higher School of Economics; Research Fellow, RSSDA Laboratory (Moscow, Russia); mdynin7@gmail.com

Romanenko Ekaterina V. RSSDA Laboratory. Moscow, Russian Federation; ekaterina.romanenko@gmail.com

Статья поступила в журнал 28.06.2025 г.
Статья принята к публикации 09.10.2025 г.
Авторы внесли равноценный вклад в работу