

Вопросы эпиграфики

Ответственный редактор кандидат исторических наук А. Г. Авдеев

Выпуск X



Москва
Университет Дмитрия Пожарского
2019

Методы документирования эпитафических памятников Московской Руси в рамках Свода русских надписей (СРН)¹

А. Г. Авдеев, Ю. М. Свойский

В статье рассматривается проблема радикального пересмотра подхода к документированию и исследованию памятников старорусской эпитафики. Предложена методика бесконтактного трёхмерного моделирования с последующей визуализацией рельефа поверхности математическими алгоритмами. Описываются способы сбора данных и формирования трёхмерных полигональных моделей фотограмметрическим способом, особенности пост-фотограмметрической обработки моделей, методы визуализации рельефа поверхности, способствующие повышению читаемости надписей, в том числе надписей плохой сохранности. Рассмотрен опыт применения методики при документировании и исследовании надписей на белокаменных и керамических плитах-вставках в пещерном некрополе Псково-Печерского монастыря.

Ключевые слова: *эпитафика, эпитафика Московской Руси, методика документирования эпитафических памятников, методика исследования эпитафических памятников, математические методы визуализации, фотограмметрия, Свод русских надписей.*

За два с половиной века исследователями старорусской эпитафики накоплен и введён в научный оборот обширный массив сведений о надписях эпохи Московской Руси. Этот материал, однако, рассеян по многочисленным изданиям, самое раннее из которых относится

¹ Статья написана в рамках проекта «Corpus Inscriptionum Rossicarum / Свод русских надписей» при поддержке Фонда Развития ПСТГУ, Университета Дмитрия Пожарского и Лаборатории RSSDA.

к 1757 г.², и весьма неоднороден по качеству публикаций. Это обусловлено, в первую очередь, самой логикой развития эпитафии как специальной исторической дисциплины. Если первоначально исследователей интересовало лишь содержание надписей, и тексты их публиковались гражданским шрифтом, то с течением времени было осознано значение старорусских надписей как источника, содержащего многомерную информацию, что неизбежно привело к воспроизведению надписей в публикациях в форме, максимально адекватно отображающей памятник. В практику вошли прорисовки и фотографии, однако в работе с уже опубликованными надписями исследователи, как правило, не возвращались к оригиналам, а republication эпитафических памятников предпринималась в редчайших случаях. Одновременно надписи продолжали утрачиваться. Таким образом, к настоящему времени сложились условия, в которых накопленный материал остаётся рассеянным, что приводит к парадоксальной ситуации — новые открытия в эпитафии могут быть сделаны в радиусе менее одного километра от стен Кремля без каких-либо археологических раскопок. Неравномерное качество публикаций уже введённых в научный оборот надписей также является серьёзной проблемой. Практика показывает, что существенная доля памятников старорусской эпитафии опубликована не в полном соответствии с оригиналами, с потерями важных элементов текста, не позволяющими полноценно использовать их в исследованиях по истории русского языка в эпоху Московской Руси.

Совокупность названных факторов существенно затрудняет дальнейшее развитие эпитафии в России. Продолжение поиска и публикации новых надписей не решает проблем старорусской эпитафии, так как лишь усугубляет существующий хаос. Решением представляется создание единого «Свода русских надписей», систематизирующего накопленные к настоящему времени сведения в унифицированной форме и соответствующего мировым научным стандартам. Необходимость создания такого Свода давно осозна-

² *Сумароков А. П.* Надписи, означающие лета преставления высочайших персон фамилии царской, в Московском Архангельском соборе опочивающих // Ежемесячные сочинения, к пользе и увеселению служащие. Ч. 2. Ноябрь. СПб., 1757. С. 387–405.

на в отечественной науке.³ Реализации этой задачи препятствует её крайняя трудоёмкость — фактически необходимо систематизировать сведения по меньшей мере о 10 тысячах эпитафических памятников, рассредоточенных по территории Российской Федерации и сопредельных стран, частично утраченных и частично ещё не опубликованных. Во многих государствах Западной и Центральной Европы разработаны национальные программы по изданию сводов надписей Средневековья и раннего Нового времени. В качестве примера можно назвать успешно осуществляемые проекты во Франции, Германии, Италии и Швейцарии. Особенно интересен ирландский проект *Ogham in 3D*⁴, в рамках которого эпитафический материал документируется и представляется средствами современных информационных технологий. В России национальная программа по исследованию русских эпитафических памятников отсутствует.

Предпринятый Центром эпитафических исследований при Университете Дмитрия Пожарского проект Свод русских надписей / *Corpus Inscriptionum Rossicarum*⁵ ориентирован на решение проблем

³ *Сахаров И. П.* Обзор русской археологии // ЗОРСА. Т. I. СПб., 1851. Отд. I. С. 79–80 (отд. паг.); *Гиришберг В. Б.* Материалы для свода надписей на каменных плитах Москвы и Подмосковья XIV–XVII вв. Ч. I. Надписи XIV–XVI вв. // НЭ. 1960. Т. I. С. 3–66; *Он же.* Материалы для свода надписей на каменных плитах Москвы и Подмосковья. Ч. II. Надписи первой половины XVII в. // НЭ. 1962. Т. III. С. 212–287; Русское средневековое надгробие. Материалы к своду / Сост. и отв. редактор Л. А. Беляев. Вып. 1. М., 2006; *Авдеев А. Г.* О подготовке свода древнерусских лапидарных надписей // РИ. 2011. № 1. С. 221–222.

⁴ *Ogham in 3D* // <https://ogham.celt.dias.ie>. Заглавие с экрана. Дата обращения: 18.07.2019. К сожалению, этот перспективный проект в настоящее время практически свёрнут из-за хронического отсутствия финансирования.

⁵ Электронная версия: Свод русских надписей / *Corpus Inscriptionum Rossicarum* // <http://cir.rssda.ru> Заглавие с экрана. Дата обращения 02.09.2019. Научно-технический совет Свода возглавляет А. Г. Авдеев (научный руководитель проекта) и Ю. М. Свойский (технический руководитель проекта). Проект поддержан Фондом развития Православного Свято-Тихоновского гуманитарного университета и «Лабораторией RSSDA». Авторы выражают благодарность коллективу «Лаборатории RSSDA», выполнившего под руководством Е. В. Романенко огромную работу по документированию и моделированию памятников старорусской эпитафики, А. А. Пичугиной, подготовившей к публикации иллюстрации, а также студентам ПСТГУ и ГАУГН и учащимся школы «Интеллектуал» и других московских школ, принявшим участие в подготовке надписей к документированию.

рассеянности сведений о надписях, отсутствия унификации описаний, отсутствия качественного документирования. Формирование Свода русских надписей предполагает решение трёх базовых задач, каждая из которых требует разработки соответствующей методики и стандарта:

- документирование памятников эпитафии;
- описание и исследование памятников эпитафии;
- публикация сведений о памятниках эпитафии.

К настоящему времени (август 2019 года) в рамках проекта полноценно документировано 1258 памятников на 140 объектах в Москве, Санкт-Петербурге, Брянской, Владимирской, Калужской, Костромской, Московской, Новгородской, Псковской, Смоленской, Тверской, Тульской и Ярославской областях. Сформировано 814 трёхмерных полигональных моделей, полностью подготовлены к исследованию 774 надписи, детально описано более 340 надписей, причём 77 из уже описанных эпитафических памятников впервые вводятся в научный оборот.

Настоящая работа рассматривает методику цифрового документирования и исследования эпитафических памятников Московской Руси, выработанную на протяжении первых трёх лет реализации проекта.

1. Документирование памятников эпитафии — от аналоговых методов к цифровым

Со времён Геродота наиболее надёжным способом сохранения надписи считалось переписывание её текста, иногда — с кратким описанием внешнего вида носителя. В целом, эта методика отмерла к концу XIX в., однако отдельные рецидивы её использования отмечаются и в наши дни. При использовании этого метода памятник эпитафии воспринимается исключительно как текст, теряя при этом остальные существенные качества⁶. В эпоху Возрождения в практике документирования появились аналоговые методы — спи-

⁶ Напр.: Lieb L., Wagner R. Dead Writing Matters? Materiality and Presence in Medieval German Narrations of Epitaphs // *Materialen Textkulturen*. Bd. 14: Writing Matters. Presenting and Perceiving Monumental Inscriptions in Antiquity and the Middle Ages / Ed. by I. Berti, K. Bolle, F. Opendenoff, F. Stroth. B.; Boston, 2017. P. 15–26.

сывание надписей и описание памятников было дополнено их зарисовкой. Важным стимулом распространения этого метода документирования стало книгопечатание, уже в XVI в. подтолкнувшее исследователей к идее Свода надписей, который мог объединить и сделать доступным для изучения максимальное количество вызывавших повышенный интерес памятников эпитафики античной эпохи. Однако зарисовка требует не только большого опыта и высокой квалификации, но и наличия у исследователя таланта художника; при этом она не слишком производительна и не позволяет качественно документировать сколько-нибудь значительное число памятников.

Органическим недостатком зарисовки является её субъективность. Качество полученного результата в огромной степени зависит от состояния памятника (освещённости, сохранности, читаемости надписи) и уровня подготовки исследователя. Одновременно сама сущность метода ничем не ограничивает вольный полёт фантазии художника (ил. 1). Поэтому списки или зарисовки одной и той же надписи, выполненные различными людьми, могут существенно отличаться друг от друга, зачастую — до полной неузнаваемости. При дальнейшей работе с надписью, документированной таким способом, неизбежно возникают сомнения в надёжности копии. Исследователю приходится вновь возвращаться к памятнику и уточнять или повторять зарисовку.

Субъективность аналогового метода заставила исследователей обратиться к контактным способам документирования эпитафических памятников. Наиболее широкое распространение получило эстампирование — создание оттиска надписи на влажной бумаге или картоне. В Китае этот способ известен с раннего Средневековья (ил. 2), а в Европе он был освоен в XIX в. Эстампаж в целом адекватно отображает надпись, но получение оттиска — процесс трудоёмкий и не всегда безопасный для памятника (ил. 3). Транспортировка же, хранение и исследование таких копий весьма затруднительны. В начале 1960-х гг. эти ограничения заставили исследователей обратиться к дальнейшему развитию контактных методов — созданию копий надписей на кальке и полиэтилене, графитовых протирок, микалентных копий и контактных отливок, получаемых с помощью различных натуральных и синтетических

материалов (гипса, пластика, смол, латекса, силикона и их аналогий)⁷. В течение долгого времени применение перечисленных технологий считалось эффективным, так как они позволяли создавать достаточно точные (хотя и не слишком удобные в использовании) «механические» копии надписей. При этом, однако, происходило загрязнение памятников, а полученные копии оказывались недолговечными и хрупкими.

Изобретение аналоговой фотографии существенно облегчило документирование надписей, но не отменило предшествующих ей методов. Так, в начале XX в. при издании свода античных надписей Северного Причерноморья, предпринятого акад. В. В. Латышевым, для отображения эпитафических памятников применялись четыре способа:

- 1) воспроизведение эстампажа надписи с транскрипцией (ил. 4),
- 2) воспроизведение прориси надписи с транскрипцией (ил. 5),
- 3) воспроизведение фотографии надписи с транскрипцией (ил. 6),
- 4) воспроизведение надписи специально отлитым типографским шрифтом, имитирующим её палеографические особенности, и её транскрипция (ил. 7).

В многочисленных сводах и публикациях отдельных эпитафических памятников, появившихся во второй половине XX — начале XXI в., фотография надписи и её транскрипция, реже — прорись, стали основным способом воспроизведения эпитафических памятников⁸.

Тем не менее, «фотофиксация», хотя бы и цифровая, имеет ряд ограничений. В первую очередь — это неизбежно возникающий в любой оптической системе комплекс аберраций — кривизна поля изображения, астигматизм, дисторсия, сферическая и коматическая

⁷ Наиболее полное описание этих методов см.: *Шер Я. А.* Петроглифы Средней и Центральной Азии. М., 1980. С. 67–78.

⁸ В 2000-е гг. в России и на Украине были предприняты первые опыты изучения эпитафических памятников с помощью компьютерной обработки их высококачественных цифровых фотографий, однако дальнейшее исследование полученных изображений свелось к «бумажным» методам их прорисовки по фото (см.: *Еманов А. Г.* Информационные методы в эпитафике (на материале генуэзского лапидария Крыма) // Хранитель. Исследователь. Учитель. К 85-летию В. М. Пнина. СПб., 2005. 123–134; *Подлевский С.* Графіті Чернігова у соціокультурному просторі X–XVII ст. Чернівці, 2018. С. 33–34).

абберрации, хроматические абберрации. Появление абберраций обусловлено природой света, носит фундаментальный характер и, следовательно, принципиально неустранимо даже в современных высококачественных фотографических системах, хотя отчасти абберрации могут быть компенсированы правильным подбором оптики и методики выполнения съёмки. В любом случае фотография, документирующая памятник, будет иметь существенные искажения, выражающиеся, прежде всего, в нелинейной разномасштабности, особенно заметной в краевых частях изображения. Следствием этого является практическая невозможность выполнения любых измерений размеров и углов на фотографии. «Фотографирование с масштабной линейкой» создаёт иллюзию решения задачи измерений, однако в реальности позволяет лишь грубо оценить размеры, но не выполнить сколько-нибудь точные измерения. В числе ограничений метода «фотофиксации», помимо воздействия абберраций, следует назвать также принципиальную невозможность точного отображения (и измерения) глубины резьбы надписи или изображения и невозможность корректного документирования надписи на криволинейной поверхности, например на колонне или барабане здания. Крайне затруднено и фотографическое документирование надписей большой протяжённости. Если поверхность надписи сильно загрязнена, изменена химически или биологически или, наоборот, резьба на известняке слишком хорошо очищена и, хуже того, окрашена — на фотографии надпись становится практически нечитаемой вследствие недостаточной контрастности фотографического изображения. Для решения этой проблемы некоторые исследователи применяют подкрашивание надписей тёмными пигментами на светлых поверхностях и мелом на тёмных, что, безусловно, негативно отражается на сохранности памятника. Тем не менее, фотография позволяет несколько повысить читаемость даже плохо сохранившейся надписи. Для этого применяется искусственное боковое освещение, создающее тени, улучшающие читаемость надписи.

Частными случаями применения искусственного освещения является использование многоугловой теневой фотосъёмки (Reflectance Transformation Imaging — RTI), фотосъёмки с выносной вспышкой, ретушь и им подобные. Все названные способы требуют создания достаточно сложной системы освещения, поэтому во многих слу-

чаях технически не могут быть реализованы на практике, особенно при необходимости документирования большого количества надписей. При этом полученные результаты сохраняют все перечисленные выше ограничения фотографического метода. Повысить «читаемость» цифровой фотографии возможно посредством применения математических преобразований изображения — изменением контрастности, насыщенности цвета и его температуры, однако получаемые изображения сохраняют искажения исходной фотографии.

В последние 15 лет, в связи с быстрым развитием микроэлектроники и вычислительных систем, в развитии средств бесконтактного сбора пространственных данных о форме поверхностей произошёл качественный скачок. В частности, всё более и более широко стали распространяться лазерное сканирование, сканирование структурированным светом и фотограмметрическая обработка цифровых фотографий. Как следствие, в течение короткого промежутка времени развитие получили методы математической обработки пространственных данных, а также моделирования поверхностей по этим данным. Они стали доступны для применения не только в военных программах и промышленных проектах, но и для выполнения задач изучения объектов культурного наследия. Тем не менее, несмотря на доступность и относительную экономичность этих методов, они, вплоть до настоящего времени, не получили должного распространения при документировании и исследовании памятников эпитафии — документируются лишь единичные надписи, а применение моделирования непосредственно для исследования в целом находится на ранней стадии развития. Эпиграфика как специальная историческая дисциплина, несмотря на появление электронных баз данных, всё ещё остаётся в «эпохе бумаги» и слабо использует современные цифровые технологии.

2. Постановка проблемы.

Требования к методике документирования и инструментам исследования памятников эпитафии

Абсолютное большинство надписей Московской Руси, доступных исследователю, выполнено на белом камне (известняке) — материале, механически, химически и биологически не стойком. Вследствие этого большая часть надписей, в том числе и сохранившихся в отно-

сительно благоприятных условиях, дошла до нашего времени в повреждённом виде: разрушения поверхности памятника вызваны как человеческим вандализмом, так и природными явлениями. Нередко под воздействием естественных агентов поверхность деградирует до состояния, когда прочтение надписи затруднено; в некоторых случаях она вообще не может быть прочитана традиционными способами. Поэтому первой задачей работы с надписью является улучшение читаемости текста, в особенности повреждённого. Эта задача может быть решена в том случае, если инструменты исследования позволяют визуализировать рельеф поверхности модели памятника и тем самым выявить мелкие детали резьбы, неразличимые на фотографии и теряемые при использовании контактных методов документирования.

Исследование возможностей и ограничений традиционных методов документирования памятников эпиграфики приводит к выводу **о необходимости радикального пересмотра подхода к документированию и выработки методологии, обеспечивающей как полноценное воспроизведение памятника, так и его сохранность. Важность полноценного и качественного документирования обусловлена продолжающимся разрушением и повреждением надписей.** В силу этого:

1. Документирование должно быть выполнено способом, исключаящим повреждение или изменение внешнего вида памятника. Особенно остро эта проблема стоит для надписей, выполненных минеральными пигментами (особенно плохо сохранившихся) и резных надписей, сохраняющих следы раскраски, а также надписей, имеющих биологические поражения. Для таких надписей применение контактных методов должно быть полностью исключено, так как даже единичное прикосновение может повредить памятник. Резные надписи без краски менее чувствительны к контактным методам, однако и для них известны случаи повреждения в процессе документирования — особенно при изготовлении эстампажей и контактных копий вообще.

2. При документировании памятника эпиграфики в большинстве случаев должна документироваться не только сама надпись, но и её контекст (носитель). Так, например, для старорусских надгробий

должны документироваться орнаменты и изображения (в том числе и на боковых сторонах), а также геометрия надгробной плиты.

3. Для исследования памятника эпитафии необходим сбор сведений о размерах надписи и отдельных её элементах, высоте строк и междустрочий, ширине букв и их элементов; кроме того, необходимо фиксировать сведения о размерах носителя. Обычно эти сведения собираются трудоёмкими непосредственными измерениями.

4. Методика документирования памятника должна обеспечивать сбор сведений о глубине резьбы и её изменениях в пределах надписи. Традиционно эта задача решается контактными методами, применение которых, как указывалось выше, должно быть полностью исключено.

5. Методика должна обеспечить возможность документирования надписи любого размера. Некоторые памятники эпитафии (например, надписи о росписи храмов, располагающиеся по внутреннему периметру четверика храма) могут достигать протяжённость до 50 метров при ширине до 1 метра.

6. Методика должна позволять документирование надписей, располагающихся на криволинейных поверхностях, в том числе на нерегулярных поверхностях двойной кривизны.

7. Методика должна быть достаточно эффективной, чтобы обеспечивать документирование большого числа надписей.

8. Документирование должно выполняться в масштабе 1:1, при этом образ памятника не должен иметь искажений.

9. Результаты документирования должны максимально сокращать трудозатраты исследователей в ходе дальнейшего изучения памятников.

10. Методика документирования должна обеспечивать однозначность интерпретации надписи. Это особенно важно для плохо сохранившихся и труднодоступных памятников, а также памятников, находящихся под угрозой разрушения или повреждения.

11. Документирование должно осуществляться способом, исключаящим непреднамеренные ошибки, и обеспечивать выполнение принципа «повторяемости эксперимента».

12. Результаты документирования должны быть сохранены в форме, обеспечивающей их длительную сохранность и возможность создания резервной копии.

13. Результаты документирования должны быть представлены в форме, обеспечивающей возможность широкого распространения сведений о памятнике и возможность удалённой работы исследователей с результатами документирования.

Наиболее перспективным методом, вполне удовлетворяющим перечисленным требованиям к методике документирования, является метод трёхмерного цифрового моделирования. Трёхмерное моделирование решает три основные задачи:

При документировании памятника. Трёхмерная модель памятника сохраняется в цифровом виде и остаётся доступной для исследователей в случае потери доступа к памятнику или его полной утраты.

При исследовании памятника. Трёхмерная модель памятника предоставляет в распоряжение исследователя высокоточную и удобную в использовании копию памятника, позволяющую всесторонне исследовать надпись;

При обеспечении удалённого доступа к сведениям о памятнике. Трёхмерная модель памятника, вследствие цифровой природы, позволяет обеспечить удалённый доступ других исследователей к памятнику средствами Интернета. Также возможно её использование при обучении студентов профильных дисциплин и в общеобразовательных и просветительских целях.

Принципиально важным при этом представляется физическое разделение процессов документирования и изучения, снижающее вероятность получения ошибочных выводов при исследовании памятника. Не менее важно и одновременное обеспечение выполнения «принципа повторяемости эксперимента» — результаты прочтения надписи могут быть независимо проверены в случае возникновения сомнений в их корректности.

Анализ проблематики применения современных методов документирования и исследования надписей показывает, что широкому распространению трёхмерного моделирования в эпитафике препятствует ряд системных проблем.

Первой — является «кустарный» подход к документированию, выражающийся в том, что исследователи, соблазнившись кажущейся

ся лёгкостью и экономичностью сбора данных и формирования моделей, рекламируемой производителями оборудования и программного обеспечения, предпринимая проекты, не освоив должным образом методику сбора данных и технологический цикл их последующей обработки. Неизбежным следствием является низкое качество полученных моделей и их непригодность для дальнейшего исследования.

Второй проблемой является увлечение исследователей самим процессом освоения современных методов документирования в ущерб анализу собранных данных. Складывается в некотором смысле парадоксальная ситуация — «инноваторы», освоив (или не вполне освоив) какой-либо современный метод, не доводят его до практического использования, но переключаются на освоение нового, «лучшего и более эффективного», способа документирования.

Однако наиболее острой системной проблемой является слабость развития методов изучения памятников эпитафии методами математической визуализации рельефа поверхности, документированного в виде трёхмерной модели. Разработка и применение аналитических методов существенно отстаёт от развития техники и методов собственно документирования. Эта закономерность вообще свойственна и другим областям применения дистанционных методов в археологии и наблюдается даже в результатах деятельности передовых научных коллективов. Процесс документирования, «инновационность», «возможность распечатки на 3D-принтере» или выкладки результата на сервис Sketchfab становятся самоцелью, подменяющей собственно исследование. При этом теряется потенциал, заложенный в трёхмерной модели, — возможность улучшения читаемости плохо сохранившихся надписей и визуализации результатов исследования.

Вследствие названных причин абсолютное большинство исследователей, занимающихся изучением памятников эпитафии, продолжает работать традиционными методами и не использует возможности анализа трёхмерных моделей. Таким образом, современные методы документирования становятся оторванной от реальности «вещью в себе» и, в абсолютном большинстве случаев, используются не более чем для «демонстрации инновационных возможностей 3D-технологий».

Перечисленные системные проблемы можно проиллюстрировать на примере уже упомянутого ирландского проекта Ogham in 3D⁹. Из 360 известных камней с огамическими текстами за 2013–2019 гг. исследовательской группе удалось, преимущественно с использованием лазерного сканера и сканеров на структурированном свете, документировать и описать 156 памятников, создать интерактивную карту расположения надписей и объединить их в базу данных. Трёхмерные модели представлены на сайте проекта в трёх видах — как скачиваемые 3D PDF и 3D OBJ файлы и как выложенные на сервер Sketchfab; при этом в некоторых случаях имеются все три представления модели, в других же только один или два. К сожалению, неудачный выбор способа документирования и трудности освоения этого способа привели к тому, что постоянство качества сбора и обработки данных выдержать не удалось. В целом модели отличаются низким качеством, часть не имеет фотографических текстур; ранние низкополигональные, не текстурированные и просто дефектные модели не исправлены. Вследствие этого, результаты трёхмерного документирования могут быть ограниченно использованы лишь для получения общего представления о памятнике. Задача улучшения читаемости надписей исследователями, по-видимому, не ставилась — во всяком случае никаких сведений об этом не имеется. Тем не менее, несмотря на перечисленные недостатки, проект Ogham in 3D можно считать единственным относительно успешным примером применения современных методов документирования (но не исследования) в эпиграфике.

В настоящее время данные методы вызывают интерес у отечественных эпиграфистов¹⁰, но результаты пока остаются скоромными.

⁹ Ogham in 3D // <https://ogham.celt.dias.ie> Заглавие с экрана. Дата обращения 18.07.2019.

¹⁰ Вавулин М. В., Зайцева О. В., Невская И. А., Водясов Е. В., Тыбыкова Л. Н. Документирование древнетюркских рунических наскальных надписей Горного Алтая на основе фотограмметрии // Виртуальная археология (с воздуха, на земле, под водой и в музее): материалы Международного форума, состоявшегося в Государственном Эрмитаже 28–30 мая 2018 г. СПб., 2018. С. 29–37; Сайфутдинова Г. М., Вафина Г. Х. Трёхмерное представление намогильных камней и территории кладбища Биш-Балта // Там же. С. 199–201; Невская И. А., Тыбыкова Л. Н. Новое прочтение древнетюркской рунической надписи Бичикту-Боом-III по данным трёхмерной фиксации // Российская тюркология. 2018. № 3–4 (20–21). С. 11–23.

Тем не менее, трёхмерное моделирование при правильном применении позволяет существенно расширить возможности эпитафиста:

1. Трёхмерное моделирование является бесконтактным методом, исключающим повреждение и изменение внешнего вида.

2. Трёхмерное моделирование позволяет создать полную копию памятника, не ограничиваясь лишь его фрагментом — например, стороной, содержащей надпись. Это особенно удобно при документировании подписных надгробий с орнаментом на двух и более сторонах, надписей на колоннах и барабанах храмов, а также на валунах.

3. Трёхмерное моделирование позволяет воспроизводить поверхности сложной формы и двойной кривизны. При этом не теряется трёхмерность оригинала, неизбежно утрачиваемая при использовании традиционных контактных методов.

4. Трёхмерное моделирование позволяет документировать поверхности любого размера. Так, при документировании граффити при необходимости может быть построена полная модель стены, на которой имеется надпись.

Цифровая трёхмерная модель:

- является высокоточной цифровой копией памятника;
- формируется в масштабе 1:1. Поэтому как объект в целом, так и любой из его элементов может быть измерен;
- свободна от угловых искажений, неизбежных у фотографии;
- воспроизводит объекты любого размера;
- воспроизводит сложные поверхности, в том числе нерегулярные поверхности двойной кривизны;
- воспроизводит цвет поверхности;
- воспроизводит глубину (или высоту) резьбы;
- позволяет изучить объект со всех сторон и рассмотреть его под любым углом, в том числе под углом, недоступным для непосредственного наблюдения;
- трёхмерную модель при необходимости можно сформировать корректно ориентированной относительно горизонтальной плоскости и направления на север.
- к поверхности трёхмерной модели могут быть применены точные (математические) методы визуализации поверхности, позво-

ляющие восстановить разрушенный текст и улучшить читаемость плохо сохранившейся надписи, в особенности мелких деталей, неразличимых на фотографии и теряемых при контактных методах;

— модель может быть использована для обеспечения удалённого доступа к результатам исследования.

Таким образом, трёхмерная модель, при условии её качественного исполнения, вполне воспроизводит эпиграфический памятник и может рассматриваться как источник, пригодный для дальнейшего исследования.

3. Методика документирования и исследования памятников эпиграфики

При подготовке проекта по формированию «Свода русских надписей» перед исследовательским коллективом «Лаборатории RSSDA» в 2016–2018 гг. встала задача разработки методики массового высококачественного документирования эпиграфических памятников современными техническими средствами, и — одновременно — исследования способов, позволяющих облегчить чтение надписи, «проявить» её на поверхности носителя. В результате была разработана методика **бесконтактного трёхмерного цифрового моделирования и математической визуализации рельефа поверхности**, которая базируется на физическом разделении документирования и исследования памятников эпиграфики, а также на современных технологиях сбора и обработки пространственных данных и оптимизирована с учётом специфических особенностей памятников старорусской эпиграфики. Методика была практически применена на надписях, выполненных в разной технике (прямая, низкорельефная и обронная резьба, граффито, минеральные пигменты) и на разном материале (белый камень, гранит, песчаник, керамика, штукатурка, дерево). К настоящему времени методика использована при документировании более чем 1700 объектов, в число которых входят не только памятники старорусской эпиграфики, но и античные и средневековые греческие надписи Северного Причерноморья и Северного Кавказа на камне и металле, хорезмийские надписи тушью на оссуариях, надписи тюркским руническим, китайским, старомонгольским, тибетским, уйгурским письмом из разных

районов Монголии, арабографичные рельефы из Гобустана, надписи самаритянским письмом и письмом брахми из музейных коллекций России и Монголии, а также русские, армянские, греческие граффити X–XVII вв. из Переславля-Залесского, Новгорода, Александрова, Керчи, Карачаево-Черкесии. Различные варианты этой методики были применены также при документировании петроглифов Эквадора, Карелии, Приамурья, Притомья, Монголии и Карачаево-Черкесии, палеолитических изображений пещеры Шульган-Таш, рисунков охрой Гачуурта (Монголия), палеолитических и мезолитических артефактов из коллекций Эрмитажа и Кунсткамеры (МАЭ РАН), каменных изваяний Монголии, Кавказа и России.¹¹

Основными и в равной степени важными компонентами методики являются собственно **трёхмерное полигональное моделирование** и **математическая визуализация рельефа поверхности**.

Цифровая трёхмерная модель может быть получена различными способами, в том числе лазерным сканированием, сканированием структурированным светом и фотограмметрической обработкой фотографий, сделанных цифровым фотоаппаратом. Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки, однако в любом случае сформированная модель должна быть подготовлена для дальнейшего исследования. Опытное моделирование памятников эпитафии различными способами показало, что наиболее универсальным и эффективным методом формирования трёхмерной модели памятника является **фотограмметрическая обработка фотографий, сделанных цифровым фотоаппаратом с полноразмерной матрицей высокого разрешения**.

На опыте применения этого метода при документировании и моделировании первой тысячи памятников русской эпитафии в 2016–2018 гг. исследовательским коллективом был выработан технологический процесс сбора и обработки данных, сущность которого может быть кратко суммирована следующим образом.

Перед началом съемки памятник должен быть подготовлен к документированию — очищен от грязи, пыли, паутины, растительно-

¹¹ См. статью Ю. М. Свойского и М. Г. Целуйко в данном выпуске сборника.

сти и насекомых. Вокруг памятников, находящихся вне помещений, удаляется растительность, окружающая камень, — таким образом, чтобы она не препятствовала съёмке боковых граней. При необходимости удаляются мхи и лишайники на поверхности с надписью. Очистка камня выполняется вениками и волосяными и щетинными щётками разной степени жёсткости, загрязнения и растительность из понижений удаляются деревянным инструментом таким образом, чтобы не повредить поверхность камня. С особой осторожностью очищаются поверхности с признаками воздействия химических и биологических поражений. Применение металлических щёток и металлического инструмента вообще не допускается. Вода не применяется. Если между очисткой и съёмкой прошло более полчаса, — камень дополнительно осматривается и удаляется паутина. Удаление паутины критически важно, так как она малозаметна, но создаёт ошибки фотограмметрического алгоритма.

При принятии решения на начало съёмки учитывается состояние поверхности и условия освещения. Поверхность не должна иметь пятен от воды, так как их появление и последующее высыхание приводит к тому, что поверхность на фотографиях выглядит различно, и фотографический алгоритм не может увязать снимки между собой. Поэтому до начала съёмки камень должен быть полностью просушен, и в случае начала дождя съёмка немедленно прекращается.

Также критически важен учёт условий освещения. При съёмке памятников, находящихся в помещениях, не допускается изменение освещённости (например включение или выключение ламп) во время съёмки, так как различные источники света имеют разную цветовую температуру, и изменение освещения приводит к усложнению выравнивания цвета при пред-фотограмметрической обработке снимков. Съёмка надписей, находящихся вне помещений, по возможности выполняется либо при сплошной облачности, либо в часы, когда они находятся в тени расположенных поблизости зданий. Если это невозможно, — создаётся искусственная тень, при этом применяются полотно белого или серого цвета, использование цветных тентов не допускается. Ситуация, при которой на фотографиях остаётся тень от оператора, камеры, деревьев, — считается недопустимой. Во всех случаях, даже в яркий солнечный день, применяется вспышка, обеспечивающая отсутствие теней на фотографии.

Качество исходных данных в значительной степени определяется корректным выбором фотооборудования и режима съёмки. Опыт показывает, что качественное оборудование не только «прощает» ошибки оператора (человек и не способен во всех случаях обеспечить корректное положение камеры и равномерное перекрытие между снимками), но и существенно облегчает и ускоряет дальнейшую обработку собранных данных. Наилучшие результаты дает использование беззеркальных цифровых фотоаппаратов с полнокадровыми матрицами высокого разрешения, оснащённых светосильными объективами с фиксированным фокусным расстоянием в диапазоне 24–35 мм и кольцевыми осветителями. Высокая стоимость таких фотосистем вполне окупается высоким качеством исходных данных и, в конечном итоге, созданных на их основе моделей.

Не меньшее значение имеет выбор верных параметров фотосъёмки — чувствительности матрицы, выдержки и диафрагмы. Параметры должны быть подобраны таким образом, чтобы обеспечить отсутствие на фотографиях шумов, переэкспонированных участков, смазывания и, одновременно, достаточную глубину резкости снимков. При этом следует избегать крайних (низких или высоких) значений любого из параметров, так как это, в конечном итоге, приводит к ухудшению качества фотографий. В зависимости от конфигурации фотосистемы параметры фотосъёмки подбираются индивидуально. Тем не менее, в общем случае, наилучшие результаты получаются при съёмке на низких значениях светочувствительности, достаточно больших выдержках и малых (но не минимальных) значениях диафрагмы, обеспечивающих хорошую глубину резкости.

Исходные данные для создания модели собираются путём фотографирования памятника с разных ракурсов, при этом для каждого памятника, в зависимости от его сложности, делается в среднем 300–500 фотографий. В простых случаях для моделирования достаточно 80–100 фотографий, однако в наиболее сложных случаях их число может достигать 2000 (ил. 9). Для создания координатных сетей небольших объектов используется особым образом фотографируемая линейка. На крупных объектах, например надписях по внутреннему периметру церквей, для создания координатных сетей применяются лазерные дальномеры и тахеометры. В некоторых слу-

чаях, например при документировании надписей на барабанах колоколен, применяются беспилотные летательные аппараты.

Собранные фотографии подвергаются цветокоррекции, задача которой заключается в выравнивании цвета и, в некоторых случаях, подавлении теней. Затем фотографии обрабатываются фотограмметрическим способом, при этом вычисляется облако точек, на основе которого формируется **трёхмерная полигональная модель** поверхности памятника¹². Практика показывает, что детальность полигональной модели эпитафического памятника, достаточная для полноценного исследования надписи, должна составлять, даже для надписей хорошей сохранности, не менее 1500 полигонов на см² поверхности. В сложных случаях (как правило, при исследовании граффити и надписей плохой сохранности) детальность моделирования доводится до 30000–50000 полигонов на см² поверхности. Создание математически корректной полигональной модели объекта является достаточно сложной задачей, требующей правильного выбора настроек увязки фотографий и, как и на этапе съёмки, не допускающей упрощённого подхода к задаче.

Формирование модели фотограмметрическим способом является лишь начальным этапом подготовки трёхмерной модели, поступающей в распоряжение исследователей. Постфотограмметрическая обработка заключается в обрезке (удалении частей «сырой» модели, не имеющей отношения к документируемому памятнику), очистке (удалении «шума», возникающего при формировании модели; при этом, однако, не допускается сглаживание), коррекции ошибок фотограмметрических алгоритмов (самопересечений, отверстий), выравнивании модели, а также текстурировании поверхности (создании растрового файла, накладываемого на модель для передачи цвета объекта) или присвоении значений цвета узлам полигональной мо-

¹² Подробнее о теоретических основах и практике фотограмметрии можно прочитать в многочисленных публикациях: Цифровая фотограмметрия и бесконтактные измерения // URL: http://wiki.technicalvision.ru/index.php/Цифровая_фотограмметрия_и_бесконтактные_измерения. Заглавие с экрана. Дата обращения: 18.08.2017; (Надеюсь) всё, что нужно знать о фотограмметрии // URL: <https://habrahabr.ru/post/319464/>. Заглавие с экрана. Дата обращения: 18.08.2017.

дели. В постфотограмметрической обработке широко применяется автоматизация операций. Каждый из этапов сопровождается обязательными процедурами контроля качества.

Таким образом, перефразируя Карла фон Клаузевица, можно заключить, что «трёхмерное моделирование просто и вполне доступно здравому уму человека. Но получить хорошую модель сложно». Высокое качество сбора исходных данных может быть обеспечено только комбинацией хорошего и правильно подобранного фотооборудования, отработанной методики фотосъёмки, правильного подбора параметров фотографирования, корректной работы со светом, постоянного контроля качества снимков. Использование случайных любительских камер и объективов с переменным фокусным расстоянием, съёмка с «автоматическим» подбором настроек и вообще пренебрежительное отношение к технической стороне дела и полноте документирования неизбежно приведёт к потере качества исходных данных. В равной степени на качество результата влияет тщательность выбора параметров увязки фотографий, моделирования и постфотограмметрической обработки и неукоснительность соблюдения процедур контроля качества. Любые попытки «сделать побыстрее» не менее неизбежно приведут к деградации моделей и, как следствие, невозможности применения к их поверхности математических алгоритмов — исследовать станет нечего.

Трёхмерная полигональная модель (ил. 10) представляет собой результат этапа документирования эпитафического памятника. С этого момента модель поступает в распоряжение исследователей-эпиграфистов для изучения и описания. В простых случаях, при работе с хорошо сохранившимися памятниками, для изучения надписи достаточно использовать собственно модель и её фотографическую текстуру. Однако, как правило, надписи, особенно выполненные на белом камне и в течение долгого времени подвергавшиеся воздействию естественных агентов выветривания, требуют применения к поверхности модели **алгоритмов математической визуализации**. Исследование таких алгоритмов как инструмента для реконструкции текста плохо сохранившихся эпитафических памятников ведётся на протяжении последних 20 лет, причём в последние годы

число опубликованных работ стабильно продолжает возрастать¹³. Вполне осознана рациональность работы как непосредственно с трёхмерной моделью, так и с картами высот (так называемый метод «2.5D из 3D»)¹⁴. Однако предлагаемые решения, как правило, требуют достаточно сложных преобразований исходной модели, и недостаточно хорошо визуализируют надпись. Вследствие этого они практически не внедряются в массовую эпиграфическую практику. Для «Свода русских надписей» была разработана методика математической визуализации поверхности модели, основанная на использовании алгоритмов, широко применяемых для анализа рельефа в картографии, геоморфологии и геологии. К настоящему времени наилучшие результаты показали следующие способы визуализации:

Визуализация поверхности модели в базовых цветовых схемах. При этом используются два основных представления — поверхность модели с фотографической текстурой (схема Т) и без неё (схема М). Тонкая настройка этих представлений заключается в изменении направления теней и альбедо поверхности (ил. 10).

Визуализация поверхности модели присвоением условного цвета. При этом используются алгоритмы, позволяющие присвоить каждой точке поверхности модели цвет, зависящий от геометрии поверхности (ил. 11). Последняя рассчитывается относительно условной «нулевой» плоскости, в общем случае нестрогой параллельной плоскости надписи. Если модель содержит несколько надписей, то для каждой из них расчёт геометрии поверхности выполняется индивидуально. Каждый из алгоритмов (и их разновидностей) формирует определённую цветовую схему. Используются три основных алгоритма:

1. Присвоение цвета в зависимости от высоты поверхности, отсчитываемой от «нулевой» плоскости. Цвет может быть назначен:

— градиентом, когда высота обозначается переходным оттенком от цвета, присвоенного самой низкой точке поверхности, к цвету, присвоенному самой высокой точке поверхности (схема G);

— шкалой высот, аналогичной применяемой на географических картах (незначительно различающиеся стандартные схемы А и С);

¹³ Перечень наиболее значимых работ приведен в: *Sapirstein P.* Segmentation, Reconstruction and Visualization of Ancient Inscriptions in 2.5D // ACM Journal on Computing and Cultural Heritage. Vol. 12. № 2. Article 15 (April 2019). P. 15:25–15:30.

¹⁴ *Ibid.* P. 15:23–15:24.

— сверхконтрастной шкалой, состоящей из многократно повторяющихся естественных цветов спектра, от красного до фиолетового (схема Н).

2. Присвоение цвета в зависимости от угла наклона поверхности (схема S).

3. Присвоение цвета в зависимости от направления наклона поверхности (схема D).

Инструменты визуализации допускают достаточно гибкую тонкую настройку, в том числе:

— искусственное преувеличение контрастности рельефа поверхности путём умножения условной высоты на назначенный коэффициент (для схем А, С, Н);

— применение монохромного и дихромного градиента, т. е. самым низким и самым высоким точкам присваиваются либо яркие и тёмные оттенки одного цвета, либо разные цвета (для схемы G);

— инверсия цвета градиента, с присвоением наиболее низким точкам светлого цвета и наиболее высоким точкам тёмного цвета (для схемы G);

— назначение направления освещения (для схем А, С, G, Н);

— настройка насыщенности цвета и количества циклов естественных цветов спектра, т. е. регулирование детальности сверхконтрастной шкалы (для схемы Н);

— настройка значения и цвета минимального и максимального угла наклона поверхности (для схемы S);

— настройка цветового значения, присваиваемого базовым четырём направлениям наклона поверхности (для схемы D).

Визуализация поверхности модели искусственными тенями, формируемыми путём перемещения эмулированного источника освещения. Этот способ требует использования высокопроизводительного компьютера с большим объёмом и применяется только в наиболее сложных случаях (ил. 12).

Для облегчения работы исследователей, работающих на мало-мощных компьютерах, модели могут дополнительно преобразовываться в растровые изображения, выполненные в перечисленных выше цветовых схемах. Тем не менее наилучшие результаты, как правило, приносит работа непосредственно с моделью.

Использование описанного выше комплекса алгоритмов позволяет не только прочесть трудную для чтения надпись, но и выявить детали, важные как для корректного прочтения собственно текста, так и для понимания процесса создания надписи — например, разницу между изначально намеченным и фактически вырезанным текстом, выявить исправления и иные особенности текста. Применение математической визуализации рельефа поверхности даёт хорошие результаты даже при исследовании хорошо сохранившихся и многократно изученных надписей. Примером может служить эпитафия Симеону Полоцкому в Заиконоспасском монастыре, неоднократно (начиная с 90-х гг. XVIII в.) исследованная, описанная и опубликованная¹⁵ и потому не предвещавшая каких-либо открытий. Тем не менее, инструменты математической визуализации позволили выявить воздействие резчика на предварительно подготовленную знаменщиком заготовку текста, выразившуюся как в ошибках, так и в сознательном «эстетизировании» первично названных букв (ил. 13).

4. Практическое применение методики бесконтактного трёхмерного моделирования и математической визуализации рельефа поверхности на примере документирования и исследования эпитафий пещерного некрополя Псково-Печерского монастыря

Белокаменные и керамические плиты-вставки пещерного некрополя Псково-Печерского монастыря считаются относительно хорошо исследованными. Первое их описание было сделано в 1893 г.,

¹⁵ ДРВ. Т. XVIII. М., 1791. С. 198 (по копии Дамаскина, еп. Нижегородского, гражданским шрифтом); Былинин В. К. 1985. С. 367 (по публикации в ДРВ, гражданским шрифтом, в современной орфографии, с разбиением на строки, не соответствующим камню), 369 (фото надписи в перевёрнутом виде); *Hippesley A. Commentary // Simeon Polockij. Vertograd mnogocvětñij. Vol. 3: “Prav nikto že” — “Epitafion” Simeonu / Ed. by A. Hippesley and L. I. Sazonova. Köln; Weimar; Wien, 2000. S. 628* (гражданским шрифтом, по публикации в ДРВ); *Авдеев А. Г. Русская стихотворная эпитафия последней четверти XVII — начала XVIII в. как фактор культуры восточнославянского барокко // Истоки и традиции славянской письменности и культуры. Материалы областной научно-практической конференции, посвящённой Дню славянской письменности и культуры (МГОГИ, 23 мая 2012). Орехово-Зуево, 2012. С. С. 96–97* (по собственной копии, с приложением фото).

причём было зафиксировано 413 плит-вставок (включая и относительно немногочисленные плиты второй половины XVIII–XIX вв.)¹⁶. В 60-х и 70-х гг. XX в. эпитафика Псково-Печерского монастыря была достаточно детально изучена И. И. Плешановой, опубликовавшей в 1968 г. описания 104 керамических плит и в 1982 г. описания 7 керамических и 235 каменных плит (всего исследовательницей было зафиксировано 346 эпитафических памятников). В ходе обследования 16–28 ноября 2016 г. нами было выявлено и документировано 335 плит-вставок (в том числе 24, не учтённых И. И. Плешановой) и три фрагмента разрушенных плит-вставок. Таким образом, даже Псково-Печерский монастырь, являющийся уникальным образцом сохранения эпитафического наследия второй трети XVI — первой трети XVIII вв., продолжает терять надписи — и это обстоятельство ещё раз подчеркивает необходимость скорейшего высокоточного документирования сохранившихся памятников.

Опыт работы с плитами-вставками из пещерного некрополя Псково-Печерского монастыря показал, что применение трёхмерного моделирования является эффективным методом полевого документирования эпитафических памятников. Съёмка 338 надписей потребовала 11 рабочих дней, при этом документировалось около 30 надписей в день. Безусловно, такая производительность возможна лишь на крупных объектах с высокой концентрацией относительно небольших по размерам памятников (в этом отношении Псково-Печерский монастырь уникален)¹⁷. Наибольшие трудности при документировании плит-вставок подземного некрополя были связаны с необходимостью очистки стенных плит от многолетних наслоений грязи (и, в отдельных случаях, губной помады), блеском поливы керамических плит (для подавления блеска применялся матирующий спрей, который удалялся после завершения фотографирования) и

¹⁶ [Аполлос (Беляев), архим.]. Первокласный Псково-Печерский монастырь. Изд. 2-е, доп. при архимандрите Иннокентие. Остров, 1893. С. 152–162.

¹⁷ Опыт документирования на других объектах показывает, что в среднем группа документирования, состоящая из двух человек (оператор и помощник оператора) выполняет съёмку надписи за 30–45 минут и в день способна документировать от 10 до 15 надписей.

зловонием. К настоящему времени материалы съёмки полностью обработаны, их описание завершается.

Предпринятое сплошное документирование и исследование комплекса эпитафических памятников Псково-Печерского монастыря подтвердило, что изучение опубликованных надписей по описанной выше методике позволяет существенно уточнить прочтения и во многих случаях восстановить фрагменты, которые ранее не удавалось прочесть ни непосредственным наблюдением, ни по фотографии. Это хорошо иллюстрируется следующими примерами¹⁸:

CIR0438 Эпитафия Евдокее Титовой дочери, жене Пимина Демеховского († 18 марта 1694), на белокаменной плите-вставке (ил. 14) ранее не была известна, выявлена в пещерах на старом братском кладбище в относительно хорошем состоянии, однако с загрязнениями и химически обусловленными изменениями поверхности, затрудняющими прочтение. Применение математических методов визуализации трёхмерной модели (в первую очередь по углу наклона поверхности) существенно упростило работу с текстом и позволило без каких-либо затруднений восстановить текст надписи.

CIR0458 Эпитафия Петру и Никону Яковлевым, сыновьям Мардасова († 31 января, 25 октября 1618), на белокаменной плите-вставке выявлена *in situ* в пещерах, на Новом братском кладбище, и более чем наполовину была покрыта грунтом (ил. 15). Поверхность достаточно сильно повреждена, чтение затруднено. Применение математических методов визуализации трёхмерной модели позволило полностью восстановить текст надписи, а наилучший результат дало применение визуализации по высоте поверхности, в то время как визуализация по углу наклона оказалась не столь эффективной.

CIR0170 Эпитафия арзамасцу Льву Семёнову, сыну Мотовилову († 28 августа 1660), на белокаменной плите-вставке была опубликована И. И. Плешановой без приложения фотографии (ил. 16)¹⁹. Вследствие плохой сохранности окончаний строк исследовательни-

¹⁸ Здесь и далее нумерация дана по готовящейся к публикации базе данных Свода русских надписей.

¹⁹ *Она же*. Каменные надгробные плиты Псково-Печерского монастыря // НЭ. 1978. Т. XII. С. 101. № 138.

ца не смогла прочитать важные фрагменты, содержащие указание на место смерти Льва Мотовилова и на его службу в рейтарском полку. Эти чтения были выявлены методами математической визуализации, причём наилучшие результаты принесло изучение полигональной модели с отключённой текстурой и применение визуализации изменения относительной высоты поверхности в нормальном и сверхконтрастном режимах.

Таблица 1

Сравнение прочтения эпитафии Льву Семёнову сыну Мотовилову непосредственно по надписи и с применением математической визуализации поверхности трёхмерной модели

Прочтение И. И. Плешановой непосредственно по надписи	Прочтение с применением математической визуализации поверхности трёхмерной модели
<p>лѣта ꙗзрѣниꙗ а҃густѣ в</p> <p>ма҃т прпѣбнаго о҃ца нше҃г моисеѣ [мѹ]</p> <p>рина прѣстаѣви на гдѣаре҃х слѹѣѣ</p> <p>в лито҃ско҃ зѣли в</p> <p>ѣжиі лѣвѣ семѣно҃ снѣ мотов[илѣ]</p> <p>вѣ а҃замѣсе҃ ра стр</p>	<p>лѣта ꙗзрѣниꙗ а҃густѣ вѣ [кнѣ на па]</p> <p>ма҃т прпѣбнаго о҃ца нше҃г моисеѣ [мѹ]</p> <p>рина прѣстаѣви на гдѣаре҃х слѹѣѣ</p> <p>в лито҃ско҃ зѣли вѣ мѣстѣке в а҃де ра҃</p> <p>ѣжиі лѣвѣ семѣно҃ снѣ мотов[ило]</p> <p>вѣ а҃замѣсе҃ ранта҃ско҃ стрѣба</p>

CIR0133 Эпитафия дочери Андрея Ивановича Бурцова (имя не сохранилось) на белокаменной плите-вставке, по палеографическим и формальным признакам датируемой последней четвертью XVII в (ил. 17), была опубликована И. И. Плешановой без приложения фотографии²⁰. Вследствие весьма плохой сохранности (поверхность плиты практически разрушена) исследовательница прочитала лишь фрагменты *рава ѣжиі и іваноѣ до҃*.

²⁰ Там же. С. 131. № 242.

Применение средств математической визуализации поверхности позволило существенно расширить прочтение надписи, причём предложенные чтения были подтверждены надписями СР0162²¹ и СР0188 (ил. 18) и Переписной книгой Пскова 1678 г.²² Пока существенные затруднения вызывает восстановление стк. 4, где однозначно читается имя псковского гостя Афанасия Михайлова, сына Русинова, не вписывающееся в традиционный формуляр старорусской эпитафии.

Таблица 2

Сравнение прочтения эпитафии дочери Андрея Ивановича Бурцева непосредственно по надписи и с применением математической визуализации поверхности трёхмерной модели

Прочтение И. И. Плешановой непосредственно по надписи	Прочтение с применением математической визуализации поверхности трёхмерной модели
.....	[лѣта мѣсяц]а генвѣрѣа въ ѡтѣ
.....	[на память преподобного отца нашего?] макариа [Велик]аг
.....	[... Афанасья Ми]хаѣла ѡва сына русинова
..... рѣба бѣжнѣ	прѣстави ^[с] рѣба бѣжнѣ
..... іѡанова до'	андѣѣи іѡанова до' бурцова

Аналогичные результаты были получены как для остальных ранее опубликованных надписей некрополя Псково-Печерского монастыря, так и при исследовании иных памятников старорусской

²¹ Там же. С. 113. № 182.

²² Аракчеев В. А. Псковский край в XV–XVII веках. Общество и государство. СПб., 2003. С. 328, 335.

эпиграфики. На основании этого опыта мы можем уверенно утверждать, что:

1. Трёхмерное моделирование является вполне эффективным способом документирования эпиграфических памятников и в ближайшие годы, несомненно, получит широкое распространение. При правильной организации технологического процесса сбора и обработки пространственных данных формирование даже больших массивов трёхмерных моделей (сотни и первые тысячи памятников) является задачей, вполне посильной даже небольшим исследовательским коллективам.

2. Метод физического разделения документирования и исследования памятников эпиграфики вполне себя оправдывает. Опыт работы над Сводом подтверждает, что изучение надписи по точной копии хорошо дополняет полевое эпиграфическое исследование, позволяет получить больше информации и снижает вероятность возникновения ошибок и неточностей в прочтении.

3. Наилучшие результаты даёт правильное сочетание в исследовательском коллективе рабочих групп, специализированных на отдельные задачи (документирование, обработка данных, чтение, комментирование). Объединённых общим научным и техническим руководством. В этом случае удаётся не только выполнить все элементы исследования с высоким качеством, но и обрабатывать большие объёмы данных.

4. Разные памятники требуют не только разного подхода к документированию, но и применения разных алгоритмов визуализации поверхности. Выбор оптимального метода зависит от материала носителя надписи, техники её исполнения, вида резьбы, степени сохранности и характера повреждений. При этом алгоритмы визуализации взаимно дополняют друг друга, особенно на плохо сохранившихся надписях. Поэтому целесообразно применять к надписи все доступные способы визуализации поверхности, выбирая при этом основной способ и дополняя его вспомогательными — с обязательной тонкой настройкой алгоритмов.

Summary

A. G. Avdeev, Y. M. Svoyski

**Methods of documentation epigraphic monuments
of Moscow Russia in the framework of a Corpus
of Russian inscriptions (CIR)**

Keywords: epigraphy, epigraphy of Moscow Russia, methodology of documenting epigraphic monuments, method of studying epigraphic monuments, mathematical methods of visualization, photogrammetry, Corpus of Russian inscriptions.

The paper deals with the problem of a radical revision of the approach to documenting and researching monuments of Old Russian epigraphy. A technique for non-contact 3D modeling with subsequent visualization of the surface topography by mathematical algorithms is proposed. Methods of data collection and development of three-dimensional polygonal models by means of photogrammetry, particularities of post-photogrammetric processing, methods of visualization of the surface relief, which promote the readability of inscriptions (including inscriptions of poor preservation), are described. The experience of application of the technique for documenting and examining inscriptions on white stone and ceramic slabs-inserts in the cave necropolis of the Pskov-Pechersky Monastery is considered.

Библиография

Авдеев А. Г. О подготовке свода древнерусских лапидарных надписей // РИ. 2011. № 1. С. 221–222.

Авдеев А. Г. Русская стихотворная эпитафия последней четверти XVII — начала XVIII в. как фактор культуры восточнославянского барокко // Истоки и традиции славянской письменности и культуры. Материалы областной научно-практической конференции, посвящённой Дню славянской письменности и культуры (МГОГИ, 23 мая 2012). Орехово-Зуево, 2012. С. 70–101.

- [*Аполлос (Беляев), архим.*]. Первоклассный Псково-Печерский монастырь. Изд. 2-е, доп. при архимандрите Иннокентие. Остров: тип. А. С. Степановой, 1893. — III, 175 с.
- Аракчеев В. А.* Псковский край в XV–XVII веках. Общество и государство. СПб.: Русско-Балтийский информационный центр «БЛИЦ», 2003. — 384 с.
- Былинин В. К.* О дате рождения Симеона Полоцкого // ТОДРЛ. 1985. Т. XXXIX. С. 367–370.
- Вавулин М. В., Зайцева О. В., Невская И. А., Водясов Е. В., Тыбыкова Л. Н.* Документирование древнетюркских рунических наскальных надписей Горного Алтая на основе фотограмметрии // Виртуальная археология (с воздуха, на земле, под водой и в музее): материалы Международного форума, состоявшегося в Государственном Эрмитаже 28–30 мая 2018 г. СПб.: изд-во Гос. Эрмитажа, 2018. С. 29–37.
- Гиршберг В. Б.* Материалы для свода надписей на каменных плитах Москвы и Подмосковья XIV–XVII вв. Ч. I. Надписи XIV–XVI вв. // НЭ. 1960. Т. I. С. 3–66.
- Гиршберг В. Б.* Материалы для свода надписей на каменных плитах Москвы и Подмосковья. Ч. II. Надписи первой половины XVII в. // НЭ. 1962. Т. III. С. 212–287.
- Дамаскин, еп.* Надписи Заиконопаасского училищного в Москве монастыря // ДРВ. Ч. XVIII. М.: тип. Компании типографической, 1791. С. 198–201.
- Еманов А. Г.* Информационные методы в эпитафике (на материале геноузского лапидария Крыма) // Хранитель. Исследователь. Учитель. К 85-летию В. М. Потина. СПб.: изд-во Государственного Эрмитажа, 2005. 123–134.
- Невская И. А., Тыбыкова Л. Н.* Новое прочтение древнетюркской рунической надписи Бичикту-Боом-III по данным трёхмерной фиксации // Российская тюркология. 2018. № 3–4 (20–21). С. 11–23.
- Плешанова И. И.* Керамические надгробные плиты Псково-Печерского монастыря // НЭ. 1966. Вып. VI. С. 149–206.
- Плешанова И. И.* Каменные надгробные плиты Псково-Печерского монастыря // НЭ. 1978. Т. XII. С. 63–185.
- Подлевський С.* Графіті Чернігова у соціокультурному просторі X–XVII ст. Чернігів: SCRIPTORIUM, 2018. — 276 с., ил.

- Русское средневековое надгробие. Материалы к своду / Сост. и отв. редактор Л. А. Беляев. Вып. 1. М.: Наука, 2006. — 359 с., ил.
- Сайфутдинова Г. М., Вафина Г. Х.* Трёхмерное представление надгробных камней и территории кладбища Биш-Балта // Виртуальная археология (с воздуха, на земле, под водой и в музее): материалы Международного форума, состоявшегося в Государственном Эрмитаже 28–30 мая 2018 г. СПб.: изд-во Гос. Эрмитажа, 2018. С. 199–201.
- Сахаров И. П.* Обзорение русской археологии // ЗОРСА. 1851. Т. I. Отд. I. С. 1–80 (отд. паг.).
- Сумароков А. П.* Надписи, означающие лета преставления высочайших персон фамилии царской, в Московском Архангельском соборе опочивающих // Ежемесячные сочинения, к пользе и увеселению служащие. Ч. 2. Ноябрь. СПб.: Императорская Академия наук, 1757. С. 387–405.
- Шер Я. А.* Петроглифы Средней и Центральной Азии. М.: Наука, 1980. — 328 с., ил.
- Apian P., Amantius P.* Inscriptiones Sacrosanctae vetustatis non illae quidem Romanae, sed totius fere orbis studio ac maximus impensis Terra Mario conquisitae feliciter incipient. Ingolstad: in aed. P. Appaini, 1534. — 512 p.
- Hippesley A.* Commentary // *Simeon Polockij*. Vertograd mnogocvĕtnij. Vol. 3: “Prav nikto že” — “Epitafion” Simeonu / Ed. by A. Hippesley and L. I. Sazonova. Köln; Weimar; Wien: Böhlau Verlag, 2000. S. 557–635 (*Bausteine zur slavischen Philologie und Kulturgeschichte. NF. Rh. B: Editionen. Bd. 10/III*).
- Lieb L., Wagner R.* Dead Writing Matters? Materiality and Presence in Medieval German Narrations of Epitaphs // *Materialen Textkulturen. Bd. 14: Writing Matters. Presenting and Perceiving Monumental Inscriptions in Antiquity and the Middle Ages* / Ed. by I. Berti, K. Bolle, F. Opdenhoff, F. Stroth. B.; Boston: GmbH de Gruyter, 2017. P. 15–26.
- Sapirstein P.* Segmentation, Reconstruction and Visualization of Ancient Inscriptions in 2.5D // *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage*. Vol. 12. № 2. Article 15 (April 2019). P. 15:1–15:30.
- (Надеюсь) всё, что нужно знать о фотограмметрии // URL: <https://habrahabr.ru/post/319464/>. Заглавие с экрана. Дата захода: 18.08.2017.

- Цифровая фотограмметрия и бесконтактные измерения // URL: http://wiki.technicalvision.ru/index.php/Цифровая_фотограмметрия_и_бесконтактные_измерения. Заглавие с экрана. Дата захода: 18.08.2017
- Corpus Inscriptionum Rossicarum / Свод русских надписей // URL: <http://cir.rssda.su>.
- Ogham in 3D // <https://ogham.celt.dias.ie>. Заглавие с экрана. Дата захода 15.08.2017.



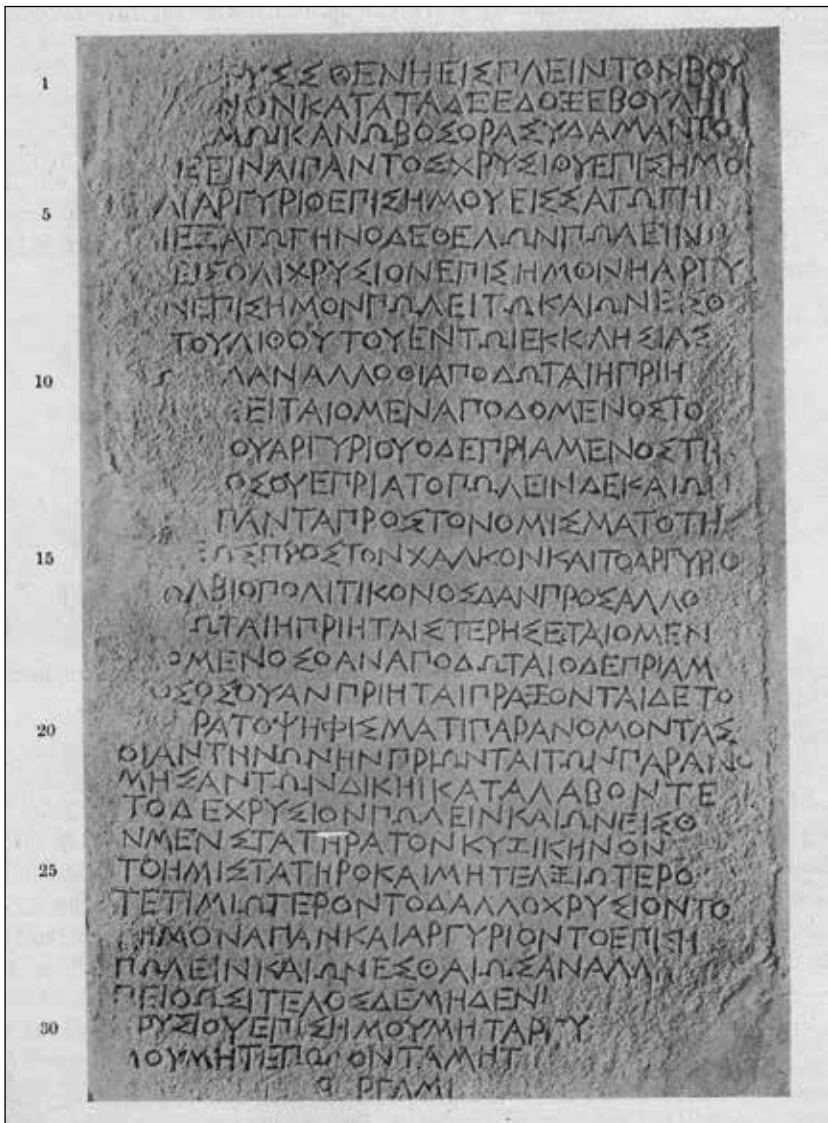
Ил. 1. Пример изображения латинской надписи в одном из первых сводов эпиграфических памятников античной эпохи (XVI в.).
Изд.: Apian P., Amantius P. Inscriptiones Sacrosanctae vetustatis non illae quidem Romanae, sed totius fere orbis studio ac maximus impensis Terra Mario conquisitae feliciter incipient. Ingolstad, 1534. P. CCCLXXIV; CIL. III. 5227 (Норик)



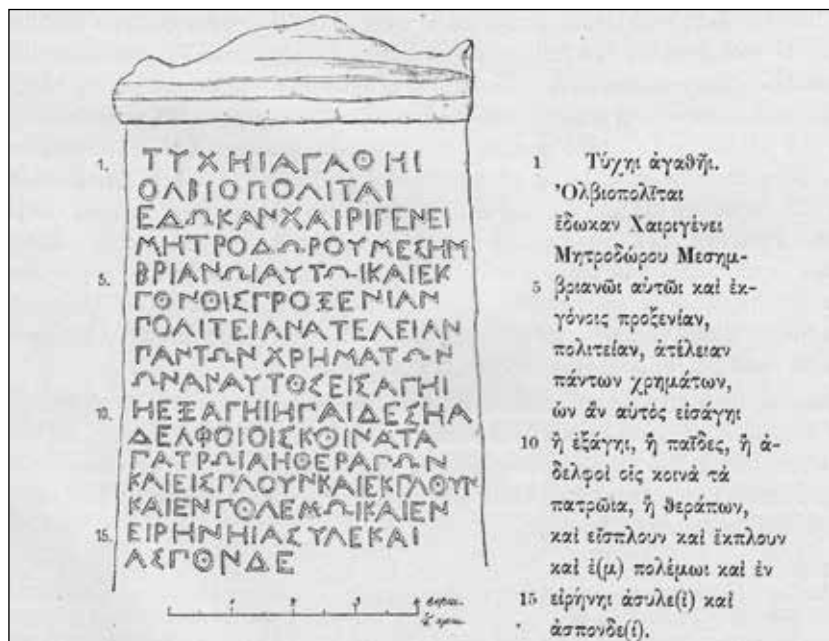
Ил. 2. Китай. Сиань. Музей китайской эпиграфики «Лес стел» (Бэйлинь). Процесс эстампирования надписи. Фото А. Г. Авдеева. 2011 г.



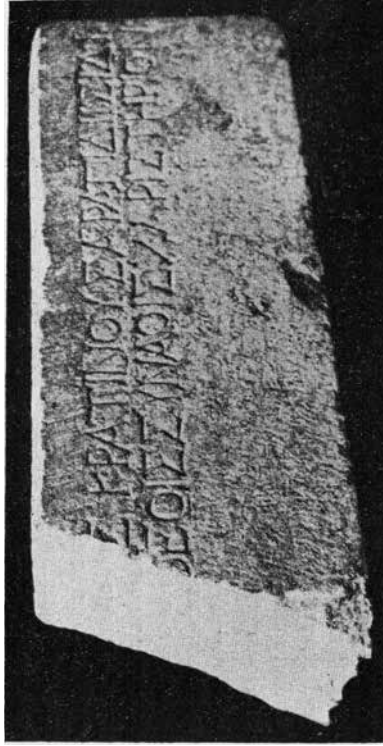
Ил. 3. Китай. Смань. Музей китайской эпиграфики «Лес стел» (Бэйлинь). Следы, оставшиеся на стеле после снятия эстампажа. Фото А. Г. Авдева. 2011 г.



Ил. 4. IosPE. I2. 24. Отретушированный эстампж надписи




Ил. 5. IosPE. I2. 20. Прорись надписи с транскрипцией

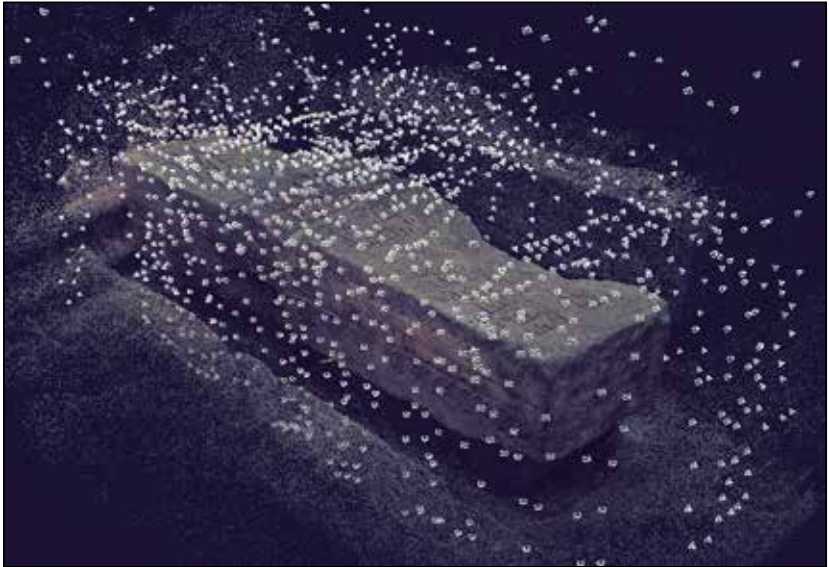


... ε Κρετίνου Σαράπτιδι, Ἰσιδι,
... θεοῖς συν(ν)άοις χαριστήριον.

Ил. 6. IosPE. 12. 5. Фотография надписи с транскрипцией

1	 ΙΣΥΠΑΙΙ ς, ὑπα[ντίαςας
	ΝΟΛΣΙΛΕΙΣΑΟΚΩΣΚΑ ΜΦΕΡΟΝΑΗΠΑΤΡΙΔΙ ΓΡΑΤΗΓΗΣΑΣΤΕΚΑΙΑΡΞΑΣ	και τούς Σχυδῶ]ν βασιλείς άόκνωσ κα[ι ἐν πάσι τὰ συ]μφέροντα τῇ πατρίδι
5	ΤΑΤΑΣΑΡΧΑΣΚΑΙΤΑΣΑΛΛΑΣ ΙΑΣΑΣΕΠΙΦΑΝΩΣΚΑΙΔΙΚΑΙ ΣΩΣΕΠΙΤΟΝΤΟΙΣΑΠΑΣΙΝ	[διαπράξας, σ]τρατηγῆσας τε και ἄρχας [τάς λαμπρο]τάτας ἀρχάς και τὰς ἄλλας [λειτουργίας π]άσας ἐπιφανῶς και δικαί-
10	ΑΙΚΑΙΦΑΥΜΑΖΕΣΘΑΙΑΥΤΟΝ ΠΛΕΙΟΝΑΣΥΠΕΧΟΜΕΝΟΣ ΠΟΤΟΥΑΠΑΡΑΙΤΗΤΟΥΔΑΙΝΟ	[ως ἐκτελέσα]ς, ὡς ἐπὶ τούτοις ἄπασιν [ἐπαινεσθ]αι και θαυμάζεσθαι αὐτόν, [και αἰε] πλείονας ὑπεχόμενος
15	ΗΔΙΑΕΔΟΞΕΤΗΒΟΥΛΗΚΑΙ ΗΗΣΦΑΙΜΕΝΑΥΤΟΝΕ ΤΩΙΣΤΗΝΙΑΤΡΙΔΑΚΑΛΟ ΚΗΡΥΚΑΕΠΙΤΗΣΕΚΚΟΜΙ	[ἐλπίδας, ὑ]πὸ τοῦ ἀπαραιτήτου δαι(μ)ο- [νος ἀφηρπάγ]η· δι' ἃ ἔδοξε τῇ βουλή και [τῷ δήμῳ ἐπ]ηγήσθαι μὲν αὐτόν ἐ- [πί τῇ ἀνυπερβλή]τῳ εἰς τὴν πατρίδα καλο-
20	ΡΕΥΣΑΙΟΤΙΟΔΗΜΟΣΣΕ ΦΛΗΝΩΟΣΕΙΔΗΣΑΤΥ ΚΑΙΑΓΑΦΟΝΗΠΑΤΡΙ ΝΟΝΑΡΕΤΗΣΕΝΕΚ ΤΕΦΗΝΑΙΤΕΤΟΥΨΗ ΤΙΕΛΑΜΩΙΕΝ ΤΟΛΕΩΣΤΟΠΩ ΝΔΡΩΝΑΡΕ ΙΠΑΝΤΟΣ ΙΝΟΜΕ	[καγαθία, τόν δὲ] κήρυκα ἐπὶ τῆς ἐκκομι- [δῆς αὐτοῦ ἀναγορ]εῦσαι, ὅτι ὁ δῆμος στε- [φανοῖ χρυσῷ στε]φάνῳ Ποσειδῆν Σατύ- [ρου, ἄνδρα καλόν] και ἀγαθόν τῇ πατρί- [δι αἰε] γεγενημέ]νον, ἀρετῆς ἐνεκ- [εν και εὐνοίας ἀνα]τεθῆναι τε τὸ ψή- [φισμα τοῦτο ἐπ]ὶ τελαμῶνι ἐν [τῷ ἐπισημοτάτῳ τῆς π]όλεως τόπῳ [εἰς τὸ μαθεῖν τὴν τοιούτων ἀ]νδρῶν ἀρε- [τὴν πάντας.] παντός τὸ γι]νόμε- [νον ἀνάλωμα?]
	εασ.	

Ил. 7. IosPE. I2. 51. Воспроизведение надписи специально отлитым типографским шрифтом и еѐ транскрипция



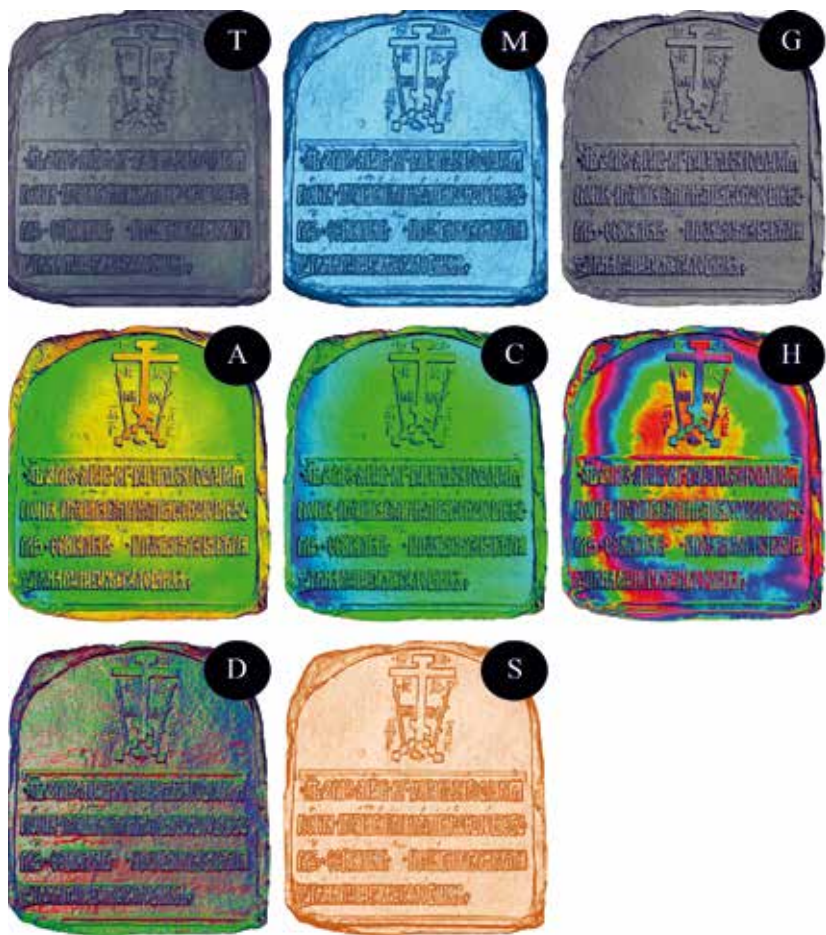
Ил. 8. Фотограмметрическая обработка цифровых фотографий
белокаменного надгробия с надписью. OG0029.
Фото Ю. М. Свойского, Е. В. Романенко



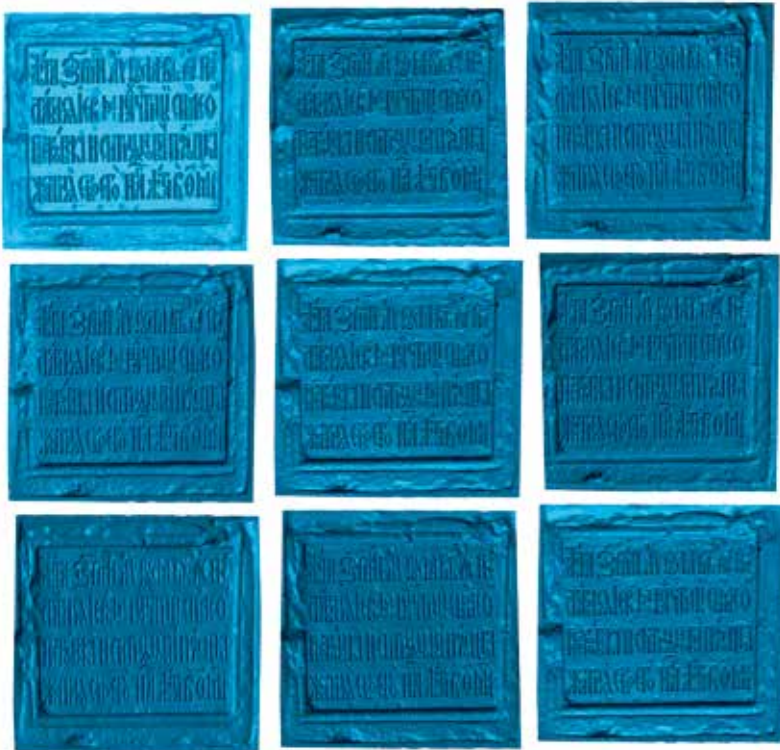
Ил. 9. Фотограмметрическая обработка цифровых фотографий надписи
о росписи храма. Модель OG0140. Фото Ю. М. Свойского, Е. В. Романенко



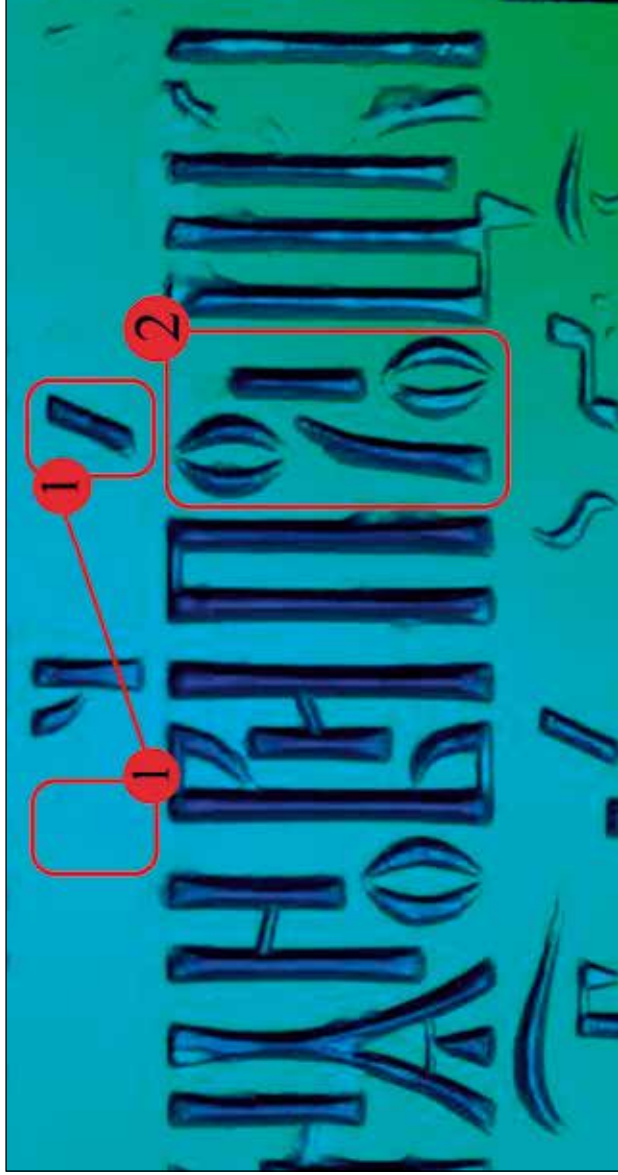
Ил. 10. Визуализация модели поверхности памятника математическими методами: присвоением точкам условного цвета в зависимости от геометрии поверхности. Базовые цветовые схемы Т и М (модель с текстурой и без текстуры соответственно). Цветовые схемы, рассчитанные относительно условной «нулевой» плоскости: G (градиент), А, С, Н (шкалы относительных высот, в том числе сверхконтрастная схема Н), D (направление наклона поверхности в точке), S (угол наклона поверхности в точке). Москва. Китагй-город. Заиконоспасский монастырь. Эпитафия Симеону Полоцкому. Модель OG0003.
Сост. Ю. М. Свойский, Е. В. Романенко. Цветная



Ил. 11. Визуализация модели поверхности памятника применением эмуляции перемещения источника света («искусственное освещение» поверхности трёхмерной модели с разных направлений). Москва. Китай-город. Заиконоспасский монастырь. Эпитафия Симеону Полоцкому. Модель OG0003. Сост. Ю. М. Свойский, Е. А. Романенко. Цветная

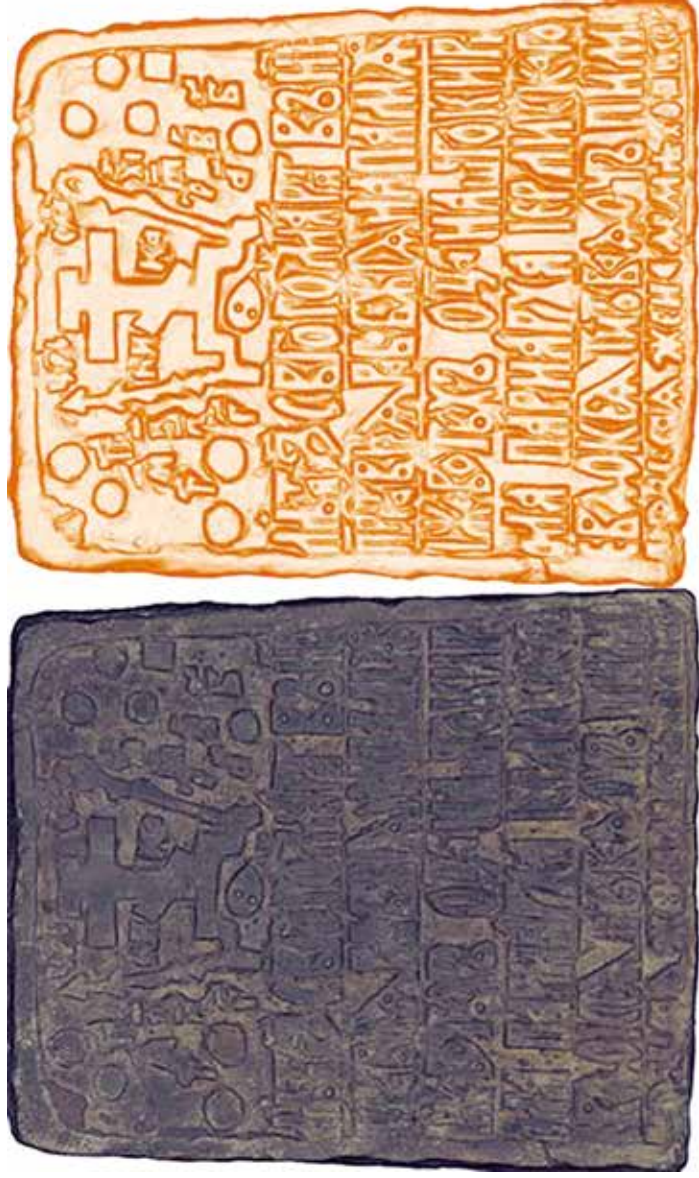


Ил. 12. Улучшение читаемости надписи инструментами математической визуализации рельефа поверхности трёхмерной модели: 1 — модель с наложенной фотографической текстурой (схема Т), 2 — применение к поверхности модели цветовой схемы, определяемой относительной высотой точек (схема С). Москва. Китай-город. Заиконоспасский монастырь. Эпитафия Симеону Полоцкому. Модель OG0003. Сост. Ю. М. Свойский, Е. В. Романенко). Цветная



Ил. 13. Улучшение читаемости надписи инструментами математической рельефа поверхности памятника (схема Н): 1. Оксии — слева едва намеченная при знаменовании надписи (глубина резьбы 0,3–0,4 мм), справа полностью проработанная резчиком (глубина резьбы 7–8 мм), 2. Пример предполагаемой «эстетизации» начертания буквы резчиком. Москва. Китай-город. Заиконоспасский монастырь. Эпитафия Симеону Полоцкому. Модель OG0003, фрагмент.

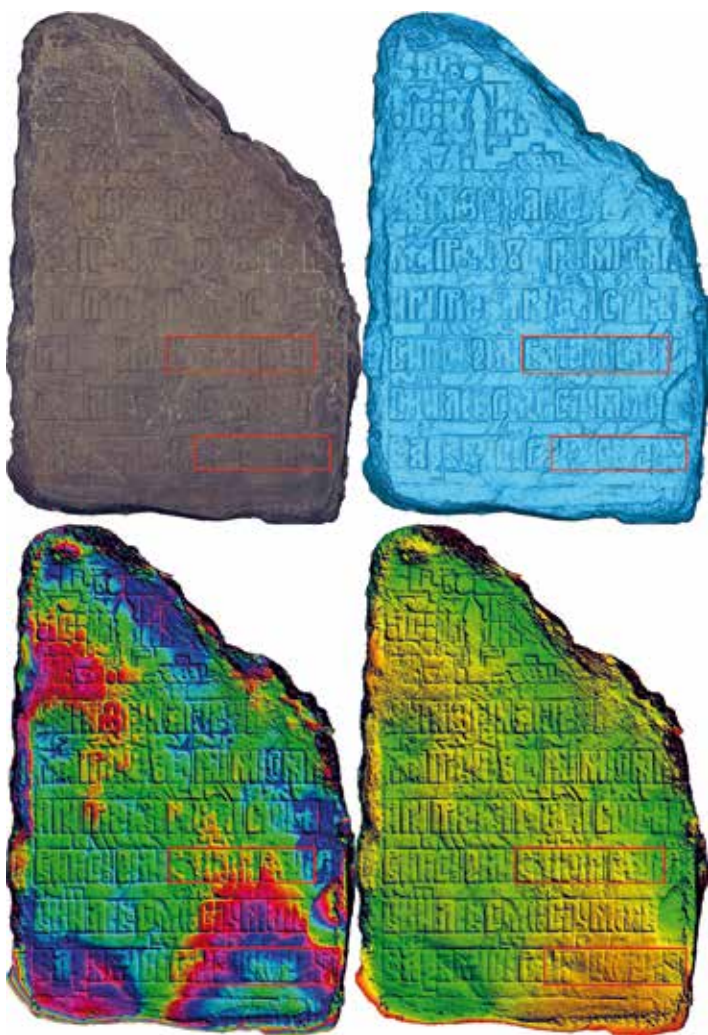
Сост. Ю. М. Свойский, Е. В. Романенко



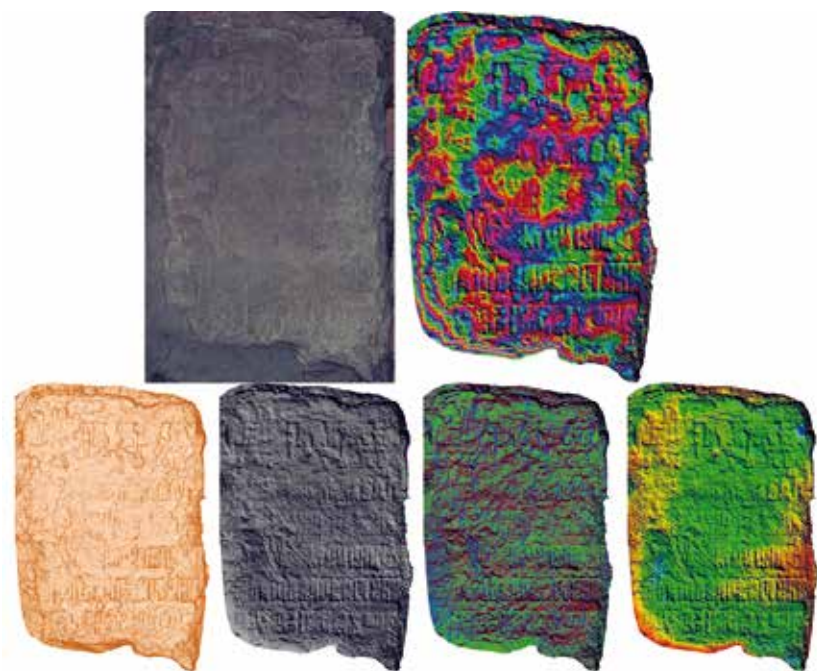
Ил. 14. Визуализация по схемам Т. С. 1694 г. Псково-Печерский монастырь, пещерный некрополь. Белокаменная надгробная плита-вставка с эпитафией Евдокее Титовой дочери, жене Пимина Демеховского. Модель OG0604.
Сост. Ю. М. Свойский, Е. В. Романенко. Публикуется впервые. Цветная



Ил. 15. Визуализация по схемам Т. А., S. 1618 г. Псково-Печерский монастырь. Белокаменная надгробная плита-вставка с эпитафией Петру и Никону (во иночех Никодиму) Яковлевым сыновей Мардасовым. Модель OG0629.
Сост. Ю. М. Свойский, Е. В. Романенко. Публикуется впервые



Ил. 16.. Визуализация по схемам М, Т, С, Н. Фрагменты, ранее не поддававшиеся прочтению, выделены красной рамкой. Эпитафия арзамасцу Льву Семёнову сыну Мотовилова, 1660 г. Печоры, Псково-Печерский монастырь. Модель OG0336 Сост. Ю. М. Свойский, Е. В. Романенко.
Публикуется впервые. Цветная



Ил. 17. Эпитафия дочери Андрея Ивановича Бурцова (имя не сохранилось), конец XVII в., Печоры, Псково-Печерский монастырь. Модель OG0299. Визуализация по схемам T, H, S, D, A, G. Сост. Ю. М. Свойский, Е. В. Романенко. Публикуется впервые