

THE STATE HERMITAGE MUSEUM
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭРМИТАЖ



THE STATE HERMITAGE MUSEUM

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭРМИТАЖ

VIRTUAL ARCHAEOLOGY
(from Air, on Earth, under Water and at Museum)

Proceedings of the International Forum
held at the State Hermitage Museum
28–30 May 2018

Saint Petersburg
The State Hermitage Publishers
2018

ВИРТУАЛЬНАЯ АРХЕОЛОГИЯ
(с воздуха, на земле, под водой и в музее)

Материалы Международного форума,
состоявшегося в Государственном Эрмитаже
28–30 мая 2018 года

Санкт-Петербург
Издательство Государственного Эрмитажа
2018

УДК 930.26(063)

ББК (Т)63.4

В52

Печатается по решению
Редакционно-издательского совета
Государственного Эрмитажа

Программный комитет:

И. Гревцова (Испания)
С. Кампана (Италия)
Д. Коробов (Российская Федерация)
Л. Лонго (Сингапур)
С. Пескарин (Италия)
П. Рейли (Великобритания)
Й. Фассбиндер (Германия)
С. Хермон (Кипр)

Научный редактор:

Д. Ю. Гук

Редакционная коллегия:

А. Ю. Алексеев
Л. С. Воротинская
Ю. Ю. Пиотровский
П. Рейли

Виртуальная археология (с воздуха, на земле, под водой и в музее) : материалы Междуна-
В52 родного форума, состоявшегося в Государственном Эрмитаже 28–30 мая 2018 года / Государ-
ственный Эрмитаж. – СПб. : Изд-во Гос. Эрмитажа, 2018. – 300 с. : ил.

ISBN 978-5-93572-792-5

Государственный Эрмитаж и Некоммерческое партнёрство по автоматизации музейной деятель-
ности и новым информационным технологиям (НП АД ИТ) в третий раз организовали встречу специ-
алистов в области виртуальной археологии, чтобы обсудить её вклад в изучение археологических
памятников с воздуха, на земле и под водой, а также их представление в музейном пространстве.

Проект выполнен при поддержке Фонда президентских грантов – проект № 17-2-000602 и ИКОМ
России.

Издание предназначено для археологов, музейных работников и специалистов по информаци-
онным технологиям.

УДК 930.26(063)

ББК (Т)63.4

На обложке:

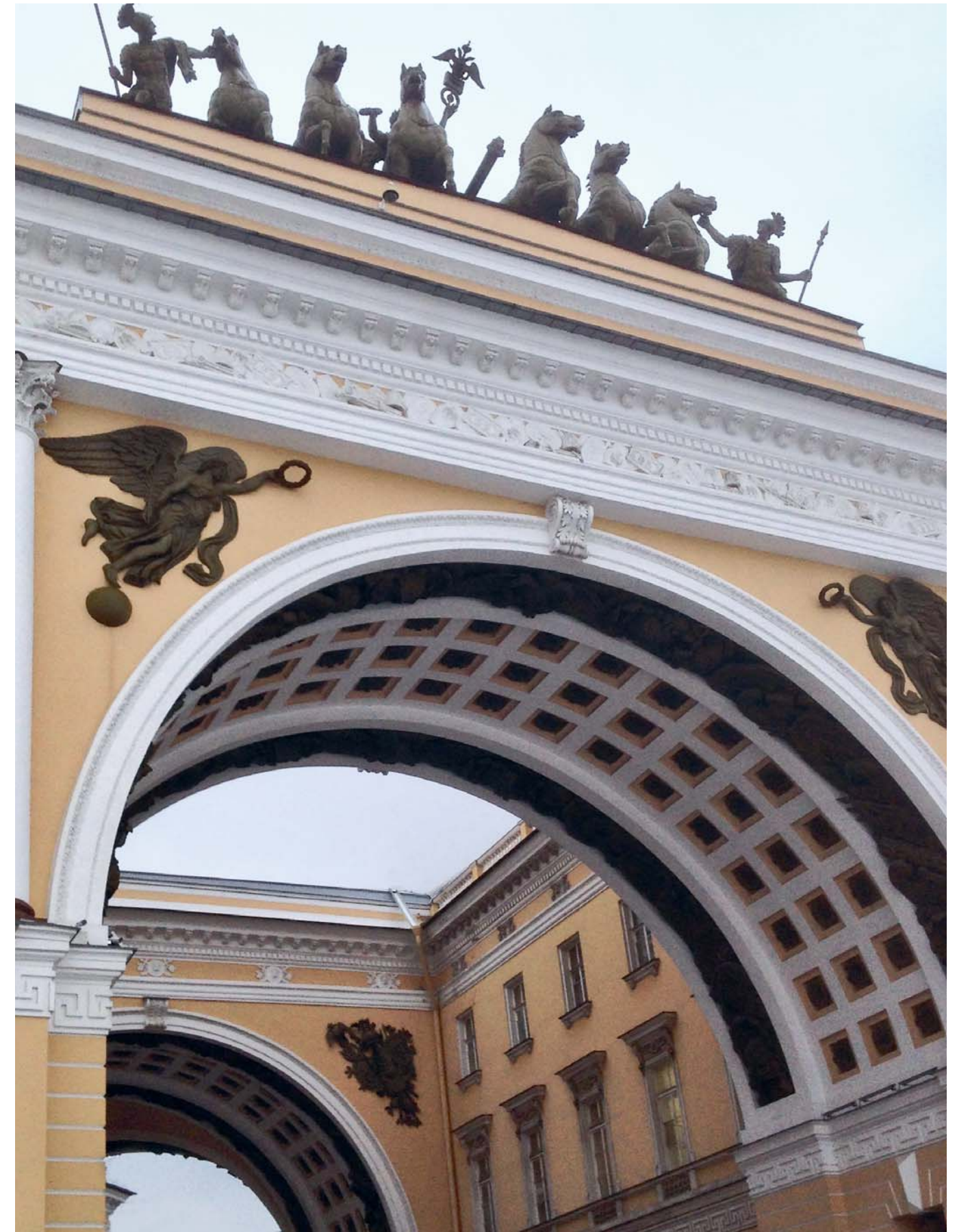
логотип «Виртуальная археология», автор Д. Ю. Гук

© Авторы, тексты, иллюстрации, 2018

© Государственный Эрмитаж, Санкт-Петербург, 2018

© СПб ГБУК «Музей-институт семьи Рерихов», Санкт-Петербург, 2018

ISBN 978-5-93572-792-5



Д. Ю. Гук
Государственный Эрмитаж, РФ

ОТ ПЕРВОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
ПО ВИРТУАЛЬНОЙ АРХЕОЛОГИИ
К МЕЖДУНАРОДНОМУ ФОРУМУ

В 2012 году первая конференция собрала энтузиастов виртуальной археологии преимущественно из стран Европы и в результате дала мощный толчок к применению неразрушающих методов исследования отечественных археологических памятников. Вторая конференция 2015 года показала, что появилось значительное число специалистов разной направленности в тех регионах, где проводятся активные археологические исследования, в которые виртуальная археология вносит ощутимый вклад. Каждая из этих конференций имела определённую цель, и третий по счёту форум специалистов не стал исключением. Планировалось обсудить достижения виртуальной археологии при работе с воздуха, на земле и под водой. Однако представленные доклады выявили четвёртую «огненную» стихию – музеи. Естественным образом был соблюден баланс, необходимый для контактов специалистов гуманитарной и технической направленности в стенах одного из крупнейших музеев мира. Опубликованные в сборнике статьи отражают методики, применяемые для получения результатов в полевых исследованиях, а также для последующей популяризации культурного наследия в музеях и в образовательной деятельности.

Международный проект «Виртуальная археология» имеет не только собственный сайт (www.virtualarchaeology.ru), официальные страницы в социальных сетях (Twitter, Facebook, Instagram), но также при поддержке Государственного Эрмитажа регулярно издаёт сборник материалов, который отражает результаты самых впечатляющих проектов, представленных на конференции. Теоретические аспекты обсуждаются наравне с практическими выводами, что само по себе ценно. Эти издания доступны в электронном виде на сайте проекта и являются методической базой для всех, кто интересуется виртуальной археологией.

Ещё одним важным моментом стало сотрудничество. Если коллективы, объединяющие археологов, музейных специалистов и разработчиков из научно-исследовательских организаций, давно не являются чем-то особенным, то международные коллективы – значительное достижение проводимых конференций. Мы и ранее обращали внимание на местоположение на карте тех точек, откуда приезжают участники конференций, но на этот раз приятно отметить их более равномерное распределение по территории Российской Федерации. Концентрация специалистов в Европе очевидна, их контакты менее затруднены. Разобщённость исследователей на обширном пространстве нашей страны значительно затрудняет живую коммуникацию. Именно эта задача – организация взаимодействия между представителями ведущих научных центров – и была высоко оценена экспертами Фонда президентских грантов, поддержавших Международный форум «Виртуальная археология-2018».

Daria Hookk
The State Hermitage Museum, Russian Federation

FROM THE FIRST CONFERENCE
ON VIRTUAL ARCHAEOLOGY
TO THE INTERNATIONAL FORUM

In 2012 the First conference on virtual archaeology in Saint Petersburg (Russian Federation) joined together the enthusiasts mainly from European countries and resulted in a powerful impulse of integration of non-destructive methods in the investigation of domestic archaeological monuments. The Second conference of 2015 brought out young specialists working in the regions where active archaeological researches had come under an impact of the methods of virtual archaeology. Each conference had a certain goal, and the third meeting hasn't become an exception. We planned to discuss the achievements of virtual archaeology in the works from air, on earth and under water. However, the submitted reports have shown forth a "fiery" element – museum. Thus, very naturally the necessary balance for contacts between technical specialists and humanitarians was obtained in one of the powerful museums of the world. The proceedings published in an actual book cover the methods of virtual archaeology helping to get results in field prospections and useful for the following dissemination of cultural heritage in museum institutions and educational activity.

The international project "Virtual archaeology" supports its own web-site (www.virtualarchaeology.ru), public pages in social media (Twitter, Facebook, Instagram), and, with help of the State Hermitage Museum publishers, the hard-copy of the proceedings where the impressive results are presented by the authors of the most outstanding reports. The theoretical aspects are described and practical conclusions made in the same context. These publications are in open access on the web-site of the project and offer a valuable handbook to everybody who is interested in virtual archaeology.

Next important moment of the project – cooperation. While the scientific groups including archaeologists, museum specialists and designers from academic institutions are a casual thing, the international teams working virtually is an achievement of the project. We always attract attention to the distribution of the points on the map, marking places where the participants arrived from. This time a more equitable distribution on the territory of the Russian Federation can be noticed with great pleasure. Academic contacts in Europe are easier thanks to the high concentration of Universities and Research centres. Big distances and territories in Russia make researchers isolated and impede live communication. Just the aim to organise creative interaction between leading scientific centres was highly estimated by experts of the President grant foundation, supporting the International forum "Virtual archaeology-2018".

А. И. Ахтамзян, Н. И. Ахтамзян
Цифровые технологии в музее, студия ITMUS.RU, РФ

РЕКОНСТРУКЦИЯ МИМИКИ И РЕЧИ ИСТОРИЧЕСКИХ ПЕРСОНАЖЕЙ НА ОСНОВЕ 3D-СКАНИРОВАНИЯ СКУЛЬПТУР-РЕКОНСТРУКЦИЙ ВНЕШНЕГО ОБЛИКА. ВОЗМОЖНОСТИ, СПЕЦИФИКА РАБОТЫ И ПРОБЛЕМЫ ДОСТОВЕРНОСТИ

Реконструкция внешнего облика по черепу на сегодняшний день получила широкое распространение в антропологии и истории, количество реконструкций ископаемых людей и исторических лиц исчисляется сотнями, несмотря на то что сам метод вызывает некоторые вопросы относительно своей достоверности (рис. 1).

Особенную реалистичность воссоздаваемому облику может придать реконструкция кожных и волосных покровов и особенностей мимики. Первым этапом является создание цифровой копии с гипсового оригинала при помощи трёхмерного сканирования.

При создании такой реконструкции появляется ряд вопросов, требующих детального исследования, основными являются взаимосвязь характерных черт и особенности мимики по описательным источникам для персонажа, биомеханика работы мышц и их взаимосвязь с костными данными, проблема соотношения художественности и научности в таких реконструкциях.

При использовании технологии захвата мимики посетителя в музее на интерактивной витрине такие мимические реконструкции, «трёхмерные аватары», могут наглядно представить персонажа и продемонстрировать его особенности в интересном для посетителя и увлекательном формате, а будучи показанными в видеоформате – «оживить» скульптуру, бюст, маску или реконструкцию образа.

При обсуждении метода реконструкции внешнего облика по костным останкам множество раз поднимался вопрос о возможностях использования самих компьютерных технологий для реконструкции, но профессиональных скульпторов он не устраивает в силу того, что является непривычным (Taylor, Angel 1998). Несмотря на то что на сегодняшний день существует большое количество программ для процесса 3D sculpting (лепки трёхмерных моделей в специальных редакторах), метод обычной художественной лепки остаётся более привычным.

Распространение трёхмерного сканирующего оборудования дало возможность его комплексного использования для реконструкции внешнего облика вместе с современными технологиями постобработки, применяемыми в сфере кино и при разработке игр. Это касается возможностей скелетной анимации, мимической анимации и создания шейдеров и текстур, которые могут передать не только пространственные характеристики реконструкции, но и оптико-цветовые свойства тканей тела.

Одной из таких интересных кинематографических технологий является технология создания кожи SSS (subsurface scattering, или подповерхностное рассеивание), которая с высокой реалистичностью может передавать характеристики кожи. Впервые она была использована в фильме «Прометей» (режиссёр Ридли Скотт, 2012) и сейчас широко распространилась в кинематографе и в трёхмерных технологиях.



Рис. 1.

Бюст неандертальца, выставленный в Государственном Дарвиновском музее.
Итоговая статичная реконструкция: добавлен шейдер кожи, морщины, волосы.
Реконструкция авторов

Конечным результатом работы по «оживлению» мимики и тканей лица является интерактивная инсталляция, которая, будучи выставленной в музее, работает в режиме «зеркала», копируя мимику посетителей и примеряя её на реконструкцию (рис. 2).

В основе этой технологии используются так называемые blendshape-модели – заранее смоделированные выражения лица (мимические паттерны) трёхмерной реконструкции, которые при помощи специального программного обеспечения сопоставляются с выражениями лица посетителя. К наиболее известным программам для безмаркерного захвата мимики можно отнести Faceshift, Brekel Pro Face 2, Faceware и др. Захват мимики посетителя производится при помощи датчика глубины kinect. Готовая интерактивная инсталляция была опробована нами на фестивале «Учёные против мифов 5» (Москва) и вызвала интерес у посетителей.



Рис. 2.

Интерактивная инсталляция с мимической реконструкцией бюста неандертальца (использовался трёхмерный скан работы М. М. Герасимова). Фотография авторов

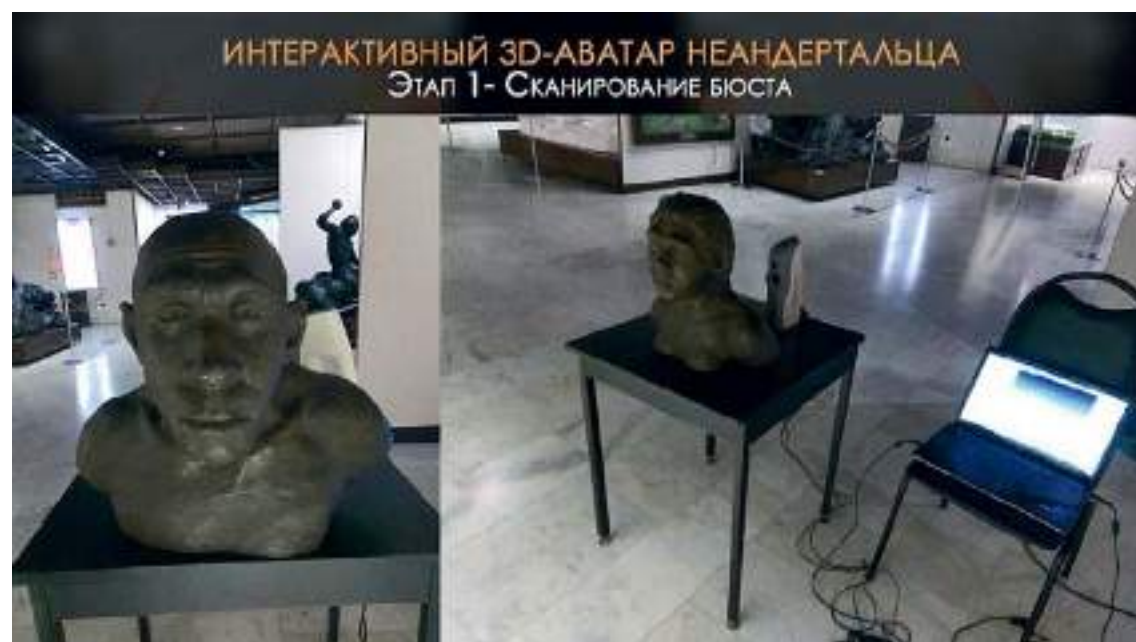


Рис. 3.
Трёхмерное сканирование бюста неандертальца в Дарвиновском музее.
Фотография авторов

Хотелось бы подробнее остановиться на этапах анимирования и создания мимической реконструкции на основе реконструкций бюстов, а также на используемом для такой работы программном обеспечении.

Вначале было проведено трёхмерное сканирование бюста неандертальца, выставленного в Государственном Дарвиновском музее в зале «Эволюция человека» (рис. 3). Для сканирования использовался трёхмерный сканер Artec Eva, который является универсальным решением для объектов средних и больших размеров. Заявленная точность сканера составляет 0,1 мм. В своей работе сканер использует технологию структурированной подсветки, которая позволяет проводить работы по оцифровке в реальном времени. Также технология структурированной подсветки позволяет получать текстуры для трёхмерной модели с равномерно засвеченной поверхностью. Трёхмерный сканер использовался в связке с программным обеспечением Artec Studio 9, которое позволяет обрабатывать полученные трёхмерные фрагменты и сопоставлять их. В программе есть уникальные алгоритмы для исправления и коррекции геометрии, а также постобработки модели для получения наилучших результатов.

Следующий этап – так называемая ретопология (изменение геометрических форм трёхмерной модели) и оптимизация получившейся в процессе сканирования модели, а также оснастка её отверстиями для глаз (рис. 4). Поскольку программное обеспечение предназначено в первую очередь для работы с низкополигональными объектами, необходимо сильно сократить плотность полигональной сетки. Для этого используется метод переноса детализации с высокополигональной модели (так называемое запекание карты нормалей с высокополигональной модели на низкополигональную). Для ретопологии использовалось специальное программное обеспечение Instant Meshes – бесплатная программа для автоматической ретопологии полигональной сетки (polygon mesh). Она является практической реализацией метода, предложенного специалистами из Швейцарской высшей технической школы Цюриха (Wenzel et al. 2015).



Рис. 4.
Ретопология и оптимизация трёхмерного скана
при помощи программного обеспечения Instant Meshes. Реконструкция авторов

Далее, для скульптинга сорока двух эмоций и обработки отверстий для глаз и рта был использован графический планшет и бесплатный сервис для онлайн-скульптинга SculptGl (рис. 5). Итоговые модели были объединены в blendshapes при помощи модификатора morphing в программе Autodesk 3ds Max.

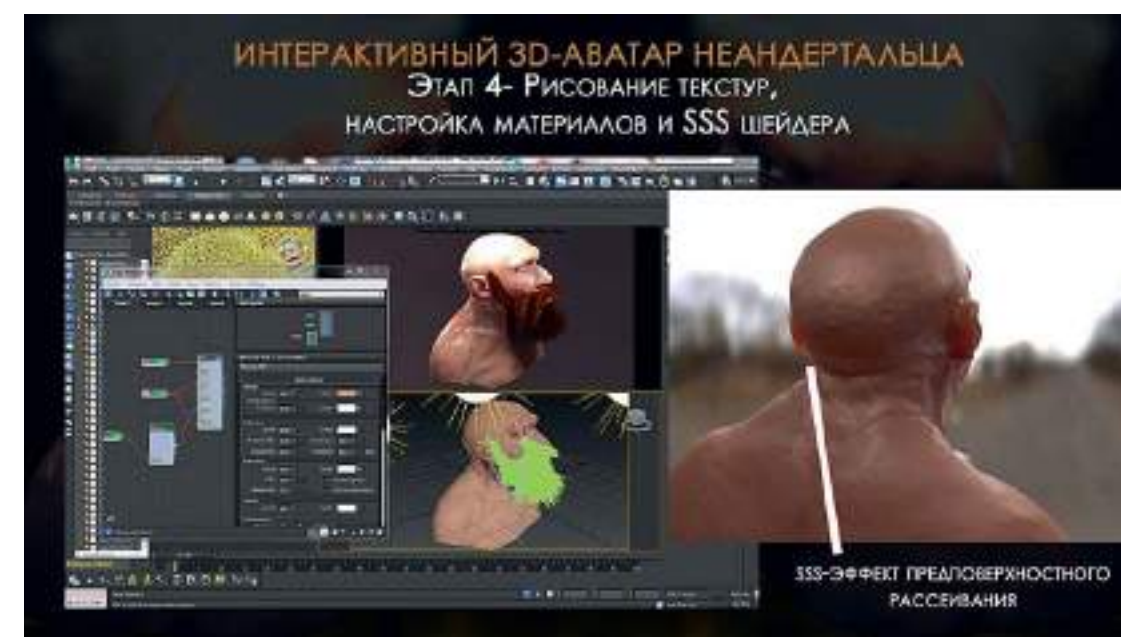


Рис. 5.
Настройка шейдеров кожи и рисование текстур в программах
Autodesk 3ds Max и Corona Render. Реконструкция авторов

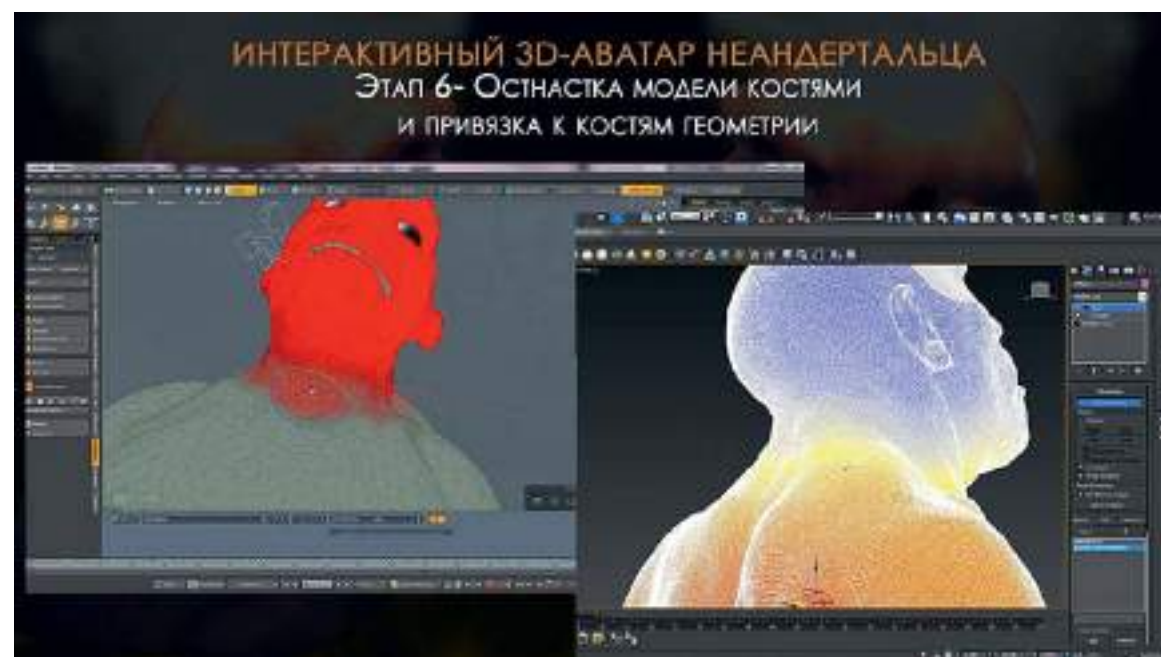


Рис. 6.

Настройка трёхмерной модели для реалистичного деформирования, этапы «риггинг» (оснастка костями) и «скиннинг» (деформации). Реконструкция авторов

Самым сложным и трудоёмким этапом после моделирования был так называемый скиннинг (skinning) – оснастка трёхмерной модели костями и отстройка деформации модели и её связь с костной системой (рис. 6). Для этих целей использовалась система анимации при помощи костей в Autodesk 3ds Max и модификатор skin. Это кропотливая работа, и её приходилось несколько раз переделывать, для того чтобы места сгиба модели реалистично передавали поведение кожи и шейных позвонков.

В качестве заключения можно отметить, что пока в нашей работе присутствует большая художественная составляющая, и сейчас мы осваиваем метод реконструкции деформации поверхностей не на основе ручного моделирования, а при помощи особенностей работы мышечной ткани. Итоговый процесс анимации мимики и интерактивного взаимодействия можно посмотреть по ссылке на YouTube (Интерактивный 3D-Аватар неандертальца 2017).

ЛИТЕРАТУРА

Интерактивный 3D-Аватар неандертальца 2017

Интерактивный 3D-Аватар неандертальца, сделанный с трёхмерного скана в музее [Электронный ресурс] // YouTube. 2017. URL: <https://youtu.be/NuZ8kB37v2k> (дата обращения: 30.11.2017).

Taylor, Angel 1998

Taylor R. G., Angel C. Facial Reconstruction and Approximation // Craniofacial identification in forensic medicine / eds. J. G. Clement, D. L. Ranson. New York, 1998. P. 177–185.

Wenzel et al. 2015

Wenzel J., Tarini M., Panozzo D., Sorkin O. Instant Field-Aligned Meshes // ACM Transactions on Graphics (TOG) – Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia. 2015. Vol. 34. Iss. 6.

К. М. Бондарь

Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Украина

М. Н. Дараган, С. В. Полин

Институт археологии НАН Украины, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВА И РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОГРЕБАЛЬНОЙ ОБРЯДНОСТИ НА СКИФСКОМ КУРГАННОМ МОГИЛЬНИКЕ ПО ДАННЫМ МАГНИТОМЕТРИИ И АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ РАСКОПОК

Неразрушающие исследования курганов и межкурганного пространства скифского могильника у с. Екатериновка (Никопольский район, Днепропетровская область, Украина) с использованием методов геофизики и ГИС имели целью как направить археологические раскопки, так и установить пространственную структуру памятника и получить новые данные о скифской погребальной обрядности.

Высокоточная магнитная съёмка, выполненная на площади, показала наличие множества курганов, не выраженных в рельефе, а также серию других объектов, находящихся за пределами курганных рвов.

На магнитной карте выделяются отдельные, предположительно скифские, курганы различных размеров, внешний диаметр кольцевых рвов составляет от 6,0 до 23,0 м. Также имеется полукольцевая аномалия, предположительно от курганной насыпи, 37,0 м в диаметре, хронологическая принадлежность которой неочевидна (эпоха бронзы?).

На могильнике по результатам магнитометрии в 2017 году раскопано пять курганов, четыре из которых не могли быть выявлены визуально в ходе осмотра поверхности.

Совершенно новым эпизодом в понимании строительства скифских курганов и организации их пространства стало открытие рва скифского времени без погребальной камеры, включённого в структуру скифского могильника, а также околоскурганых выемок для выборки грунта, вокруг трёх курганов, без сооружения рва.

Следует отметить, что магнитные измерения проводились в непосредственной близости (до 400 м) от действующего карьера по добыче марганцевых руд. Работа тяжёлых машин и механизмов в карьере приводила к сильным возмущениям магнитного поля на могильнике, что потребовало внесения изменений в традиционную методику магнитной съёмки.

Введение

Основным источником для изучения скифской культуры являются погребальные памятники – курганы, представленные в том числе и грандиозными погребениями представителей скифской элиты, скрытыми под насыпями высотой до 24,0 м и диаметром до 110,0 м. Скифские курганы располагаются как по одиночке, так и группами, образуя целые курганные некрополи. Наши представления о погребальной

обрядности и о многих других сферах жизни скифов напрямую зависят от качества и характера исследования именно курганов. Это касается как изучения подкурганных захоронений, так и собственно насыпи кургана и окружающего его пространства – курганной периферии и межкурганного пространства.

За последние пятьдесят лет интенсивных раскопок скифских курганов в Северном Причерноморье было получено огромное количество информации, дающей представление о структуре кургана, его строительных материалах и, собственно, о конструкции. На этих же материалах основываются построения по политическому устройству, социальной структуре и идеологии скифского социума. Однако при раскопках курганов долгое время не уделялось должного внимания изучению структуры и конструкции насыпей курганов, не считались важными раскопки кольцевых рвов в курганах, не рассматривались тризны. Только постепенно утвердилось представление о высокой информативной ценности всех элементов скифского кургана и необходимости тщательнейшего исследования не только насыпи и погребений, но и рва и тризны.

Совершенно новое представление о структуре скифского погребального обряда было получено во время доисследования скифского царского Александропольского кургана в 2004–2009 годах экспедицией Института археологии НАН Украины под руководством С. В. Полина, насыпь и подкурганные сооружения были изучены в 1852–1856 годах.

Исследование околоскурганной тризны скифского царского кургана Александрополь было проведено в полном объёме. Остатки околоскурганной тризны были обнаружены вдоль западной стороны кургана за пределами рва на уровне древней околоскурганной поверхности. Они располагались полосой (ширина до 15,0 м) на протяжении около 120,0 м, до 40,0 м к северу от западного разрыва во рву и около 80,0 м к югу от него. Находки в тризне представлены обломками не менее 457 греческих амфор. В составе тризны также найдены кости животных, происходящие от девяти особей, несколько разрозненных обломков человеческих костей, единичные фрагменты скифской лепной керамики, бронзовые и железные наконечники стрел, бронзовые и железные части конской узды, железные гвозди и скобы, украшения, скопление золотых нашивных бляшек. Совершенно уникальным стало открытие в составе околоскурганной тризны одиннадцати сопровождающих человеческих захоронений, погребённые в которых были насильственно умерщвлены в процессе отправления поминальной тризны (Полин 2011; Polin, Daragan 2011).

О существовании околоскурганных тризн возле больших скифских курганов было известно и раньше. Они были зафиксированы возле курганов Бабина, Водяна, Гайманова и Желтокаменская Толстая могилы. Однако тризны возле всех этих курганов были разрушены распашкой, фиксировались только по рассеянным находкам обломков амфор и костей животных на дневной поверхности и не были исследованы (Полин 2011).

Открытие мощной тризны вокруг Александропольского кургана заставило полностью переосмыслить представление о скифском кургане и его околоскурганном пространстве. Ведь раньше в Северном Причерноморье ни один скифский курган не исследовался за пределами рва.

То, что околоскурганное пространство курганов кочевников насыщено различными комплексами, связанными с тризной, не только в Северном Причерноморье, но и на всём степном евразийском пространстве, стало понятно после геомагнитного обследования курганов и околоскурганного пространства, проведённого

немецкими коллегами на территории Казахстана, Тувы, Хакасии и Северного Кавказа. Применение высокоточной магнитометрии в сравнительно сжатые сроки позволило изучить относительно большие площади без проведения раскопок и получить подробную информацию о структуре как околоскурганного пространства отдельных курганов, так и курганных могильников в целом. В частности, было установлено, что на периферии некоторых крупных курганов существуют рвы, валы, клады, очаги, захоронения, ритуальные комплексы, остатки тризн и следы сооружений (Самашев и др. 2009; Parzinger et al. 2016; Fassbinder et al. 2015a; Parzinger et al. 2015; Fassbinder et al. 2015b; Fassbinder 2016).

Таким образом, периферия скифских курганов в Северном Причерноморье до сих пор остаётся для нас практически неизвестной. С большим сожалением приходится констатировать, что и сейчас при раскопках скифских курганов, как правило, изучается только пространство в пределах насыпи, реже рва кургана. Примыкающая к кургану территория, содержащая культурные остатки, связанные как со строительством кургана, так и с проводившимися на нём ритуальными действиями, не исследуется, и эта информация становится потерянной для науки, учитывая тот факт, что исследованные курганы снимаются с государственного учёта и таким образом теряются их координаты.

Следует также отметить, что территории, на которых находятся курганы, как правило, полностью распахиваются, и на сегодняшний день даже насыпи многих курганов на поверхности визуально не просматриваются, становятся невидимыми для археологов, и вопрос их исследования даже не возникает при раскопках могильников. Объектами изучения остаются только видимые курганы, сохранившие хоть какую-то насыпь.

Эффективным средством контроля за ситуацией, как показывает опыт немецких коллег, является использование геомагнитного метода. Полученные с помощью магниторазведки данные позволяют обнаружить и определить большое количество новых деталей, важных для реконструкции погребального обряда, а также определить дальнейшие шаги в изучении археологических памятников.

Единственным эпизодом магнитных исследований курганов в степной зоне Украины являются работы на курганной группе Мамай Гора в Запорожской области (Смекалова, Чудин 2009). Кроме того, специалисты Института геофизики НАНУ совместно со Свободным университетом Берлина (Zöllner et al. 2008; Орлюк и др. 2016) и Киевского национального университета им. Т. Шевченко (Бондар, Башкатов 2014) провели геофизические исследования насыпей отдельных курганов в лесостепной зоне. Также интернациональным коллективом во главе с Т. Смекаловой выполнены магнитные съёмки трёх скифских курганов группы Беш-Оба в Крыму (Smekalova et al. 2005).

В августе–октябре 2017 года были выполнены исследования участков курганного могильника у бывшего с. Екатериновка близ г. Покров (бывший г. Орджоникидзе) Днепропетровской области, в сердце степной Скифии, которые включали как неразрушающие методы, так и археологические раскопки. Особое внимание при этом было уделено межкурганному пространству.

Объект и методология исследования

Курганный могильник у бывшего с. Екатериновка расположен на межбалочном водоразделе междуречья Базавлука, Солёной и Чертомлыка в Нижнем Поднепровье (рис. 1).

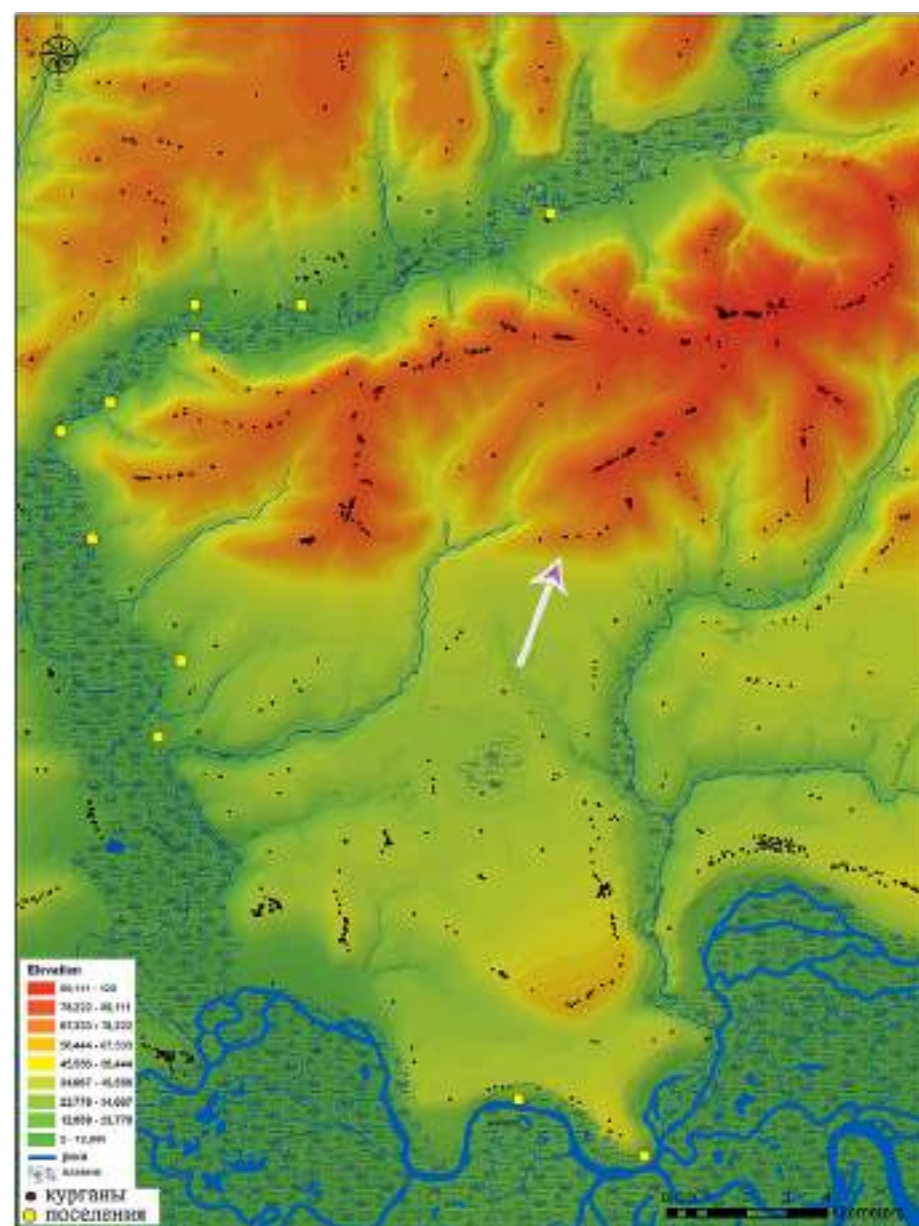


Рис. 1.

Карта памятников скифского времени в Нижнем Поднепровье. Местоположение могильника Екатериновка указано стрелкой.

Рисунок из архива авторов

Исследование могильника начато Орджоникидзевской экспедицией ИА НАНУ в 2003 году и продолжено в 2007 году. Тогда было изучено два кургана эпохи бронзы в западной части могильника по фронту продвижения Шевченковского карьера и два скифских, датирующихся второй четвертью – серединой IV века до н. э. в восточной части могильника уже в пределах зоны Северного карьера (Полин и др. 2008; Полин 2011а; Черных, Дараган 2014. С. 102, 103).

В 2017 году исследование могильника было продолжено. На участке протяжённостью 200 м к востоку от исследованных ранее скифских курганов на поле визуально был виден только один курган, хотя на космоснимке просматривались также две малозаметные насыпи. Ещё два кургана на этом участке значились на съёмке Днепропетровского



Рис. 2.

Космоснимок курганного могильника Екатериновка. На космоснимке прослеживаются округлые пятна отдельных курганов. Участки магнитных измерений показаны в виде красных полигонов.

Рисунок из архива авторов

центра охраны культурного наследия, которые согласно координатам были по нашей просьбе вынесены на натуру. Однако в отмеченных вешками точках ничего заметно не было – ни в рельефе, ни по характеру почвы. Зная по многолетним наблюдениям в процессе работ в окрестностях г. Орджоникидзе характер могильника у бывшего с. Екатериновка (практически полная разрушенность насыпей курганов в результате постоянной многолетней распашки) и заранее предполагая сложности в поиске курганов, тем более под посевами подсолнечника, мы запланировали геомагнитную съёмку могильника для поиска уничтоженных распашкой объектов.

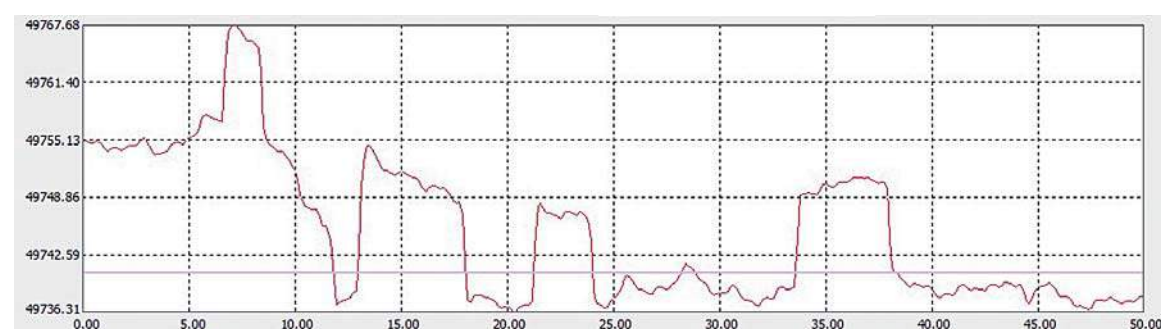
Преимущества применения неразрушающих методов при исследовании археологических памятников широко известны и активно обсуждаются.

Мы хотели бы подчеркнуть также пользу собственно раскопок для повышения достоверности пространственных реконструкций по геофизическим и геоинформационным данным. Качественная интерпретация геофизических аномалий должна быть подтверждена раскопками. Руководствуясь этой установкой, исследования мы проводили в два этапа.

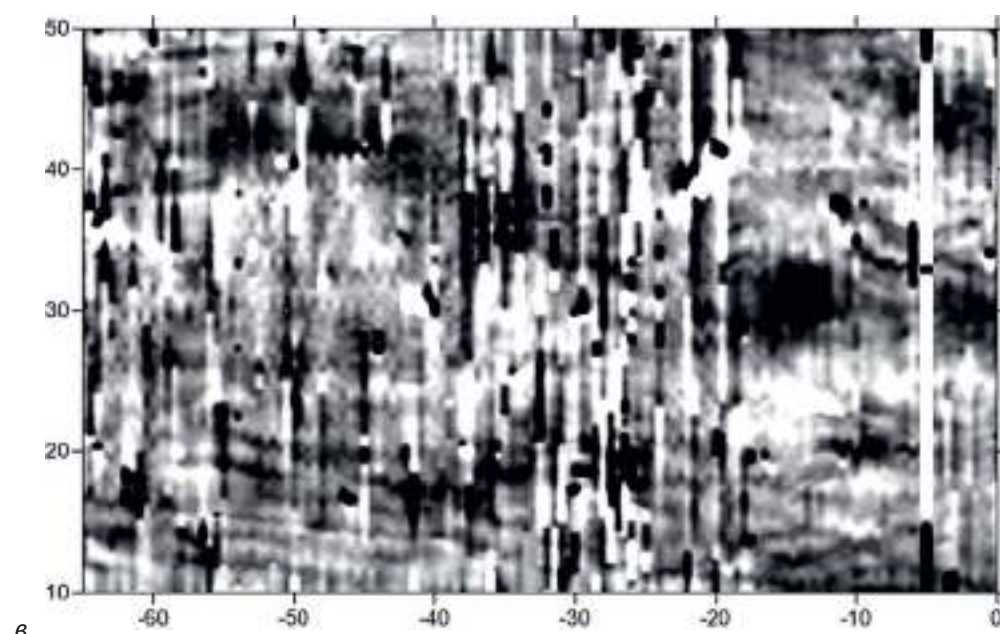
На первом этапе работы включали геомагнитную съёмку, тахеометрию и GPS-привязку участка 1 (рис. 2), на котором в течение трёх дней необходимо было развернуть археологические исследования. Магнитные измерения были направлены в первую очередь на поиск аномалий, связанных с курганами с целью оптимизации объёмов земляных работ, запланированных на август 2017 года.



а



б



в



г

Рис. 3.

Модульные магнитометрические наблюдения:

а – процесс выполнения магнитной съёмки установкой из двух цезиевых магнитометров, закреплённых на алюминиевой раме-подвеске на расстоянии 0,5 м друг от друга. Фотография из архива авторов; б – график магнитной индукции по одному из профилей, на котором видны бухтообразные техногенные помехи. Рисунок из архива авторов; в – пример магнитограммы с техногенными магнитными помехами. Рисунок из архива авторов; г – фотография территории измерений, на которой виден роторный экскаватор, работающий в карьере неподалеку. Фотография из архива авторов

В качестве картографической основы планово-высотного отображения рельефа участка выступили данные наземной тахеометрической съёмки, выполненной тахеометром Trimble M3 5" Dr Total Station. Геодезическая привязка осуществлена GPS-приёмниками GNSS System Trimble Geo XR, GNSS System Trimble Geo XH. Съёмка выполнена в режиме РТК.

Модульные магнитометрические наблюдения – измерения индукции геомагнитного поля – выполнены цезиевыми магнитометрами с оптической накачкой ПКМ-1 (Геологоразведка, РФ), датчики которых имеют разрешающую способность 0,001 нТл, предел СКВ измерения магнитной индукции 0,01 нТл.

В первый рабочий день мы использовали установку из двух магнитометров, закреплённых горизонтально на алюминиевой раме на расстоянии 0,5 м друг от друга (рис. 3, а). При этом контроллер одного из них использовался для запуска/остановки измерений на каждом профиле. Другой магнитометр был синхронизирован с первым и работал в режиме непрерывных измерений. Таким образом, в процессе движения оператора оба магнитометра записывали два соседних профиля. После окончания съёмки профили, записанные вторым магнитометром, выбирались из записи этого прибора по времени. Оба прибора работали в режиме 10 измерений в секунду, что давало пространственное разрешение около 15,0 см по профилю. Индукция геомагнитного поля регистрировалась с пространственным разрешением 0,5 × 0,15 м.

Попытка обработать результаты измерений первого дня показала, что использованная методика не является оптимальной в данных условиях.

Поскольку участок геомагнитных наблюдений находился близко, всего в 400,0 м от действующего карьера по добыче марганцевых руд, магнитное поле испытывало значительное техногенное влияние. Вариации поля, связанные с функционированием тяжелых машин и механизмов в карьере (рис. 3, г), оказались сопоставимы по времени с длительностью прохождения оператором-геофизиком одного профиля. Интенсивность этих вариаций часто превышала интенсивность искомых аномалий. Вариации часто имели бухтообразную форму и нерегулярный характер (рис. 3, б, в).

Если съёмка ведётся одновременно двумя магнитометрами, то такая вариация искажает запись сразу двух профилей. Чтобы этого избежать, было принято решение в другие дни продолжать съёмку одним прибором, сохраняя ту же детальность. Однако совершенно очевидной стала необходимость учёта вариаций геомагнитного поля в будущем.

Обработку полевых наблюдений первого этапа пришлось в значительной мере вести вручную, внося в запись поправку за техногенную временную вариацию. Затем проводилась процедура вычитания фона – нормального поля. Суть сводилась к отниманию от значения поля в точке измерений полиномиальной регрессии 3-го порядка по профилю. Для того чтобы убрать высокочастотный «шум», применили фильтр нижних частот из арсенала Golden Software Surfer 12. Полученные таким образом остаточные аномалии отражают археологические структуры, магнитный мусор и эффекты, возникающие вследствие распахки и проезда тяжёлой техники.

По интерполированной сети остаточных значений поля с детальностью $0,25 \times 0,25$ м построена карта аномалий магнитной индукции (рис. 4, а). Диапазон изменений поля $\pm 3,0$ нТл.

Работы второго этапа включали геомагнитную съёмку наиболее перспективных участков 2 и 3 курганного могильника (рис. 1) и сопутствующие топогеодезические измерения и привязки. Исследования проводились с целью картирования археологических объектов на памятнике, были направлены на выявление его пространственной структуры и оптимизацию объёмов земляных археологических работ, запланированных на 2018 год.

Магнитная съёмка проводилась одним цезиевым магнитометром, второй такой же использовался во время измерений в качестве вариационной станции – записывал изменения поля во времени. Как уже было сказано выше, необходимость ставить станцию обусловлена близостью участка работ к марганцевому карьеру. Крупная техника, которая там работает, вызывает значительные по интенсивности нерегулярные флуктуации в магнитном поле, учёт которых необходимо вести для получения качественных полевых материалов.

Съёмка на участках 2 и 3 проведена попланшетно, размеры каждого планшета $50,0 \times 30,0$ м. В рамках каждого планшета длина одного профиля 30,0 м, расстояние между профилями 0,5 м, оператор-геофизик в процессе съёмки двигался по площадке «змейкой». Вариационная станция работала с тем же быстродействием, что и основной магнитометр – 10 измерений/с. В процессе обработки полевой информации учёт вариаций производился путём вычитания записи вариационной станции, интерполированной сплайном Акимы, из измеренных значений по профилю.

Нормальная составляющая поля, аппроксимированная линейной регрессией по профилю, также вычиталась из записи. Массив остаточных значений интерполирован до регулярной сети $0,5 \times 0,5$ м, по которой построены карты аномалий магнитной индукции в динамике $-3,0/+3,0$ нТл (рис. 4, а; б, а).

Интерпретация магнитных измерений и результаты археологических исследований

По данным тахеометрии на участке 1 в рельефе обозначился только один курган высотой 0,6 м и диаметром 50,0 м, однако карта аномального геомагнитного поля этого участка, несмотря на «зашумленность», позволила нам выявить и рекомендовать к раскопкам отдельные аномалии и их комплексы, которые предположительно могли быть связаны с древними курганными сооружениями (рис. 4, б).

Остановимся кратко на результатах археологических исследований отдельных аномалий, поскольку они важны для правильной интерпретации геофизических материалов на данном памятнике.

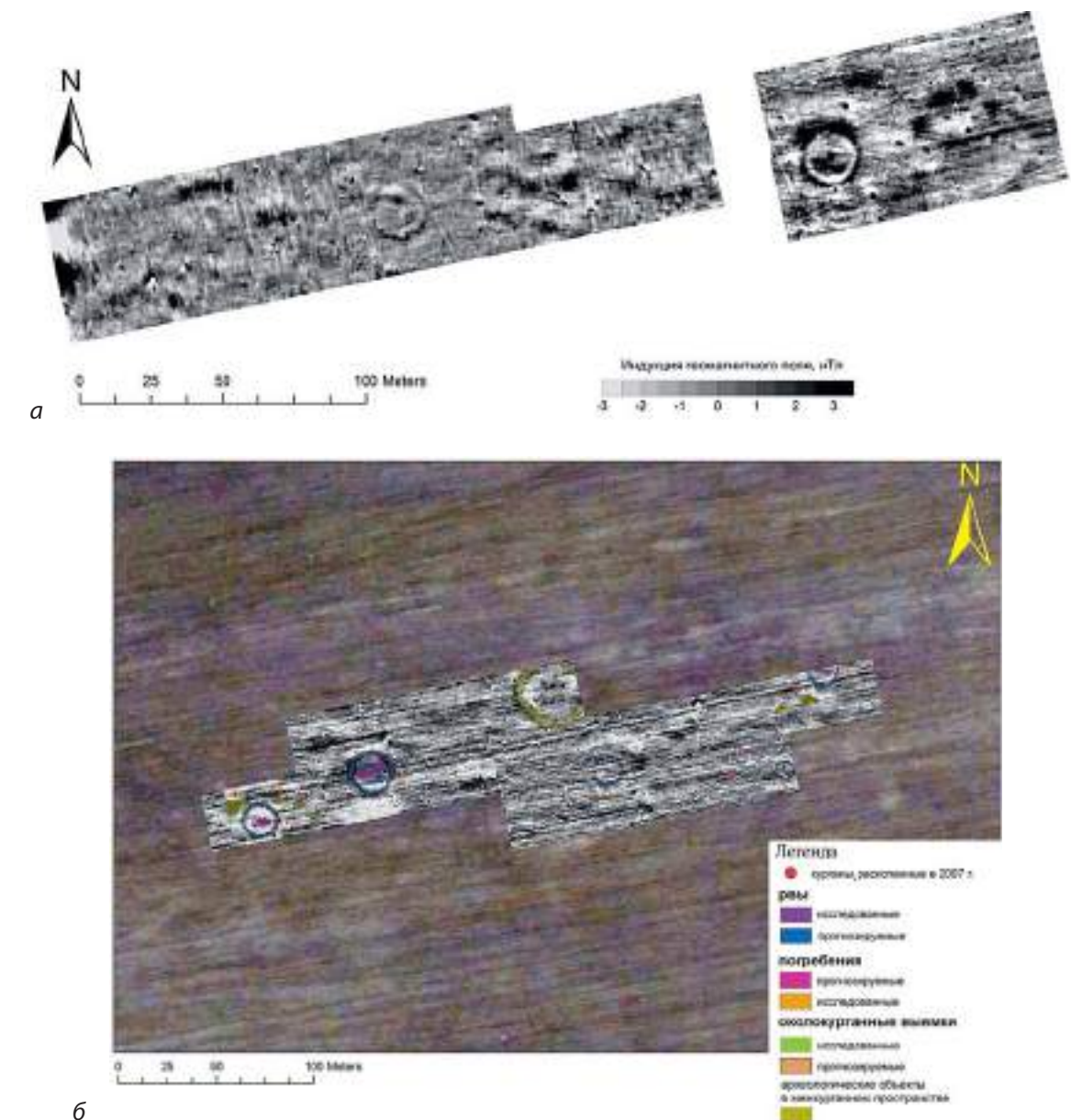


Рис. 4.

Могильник Екатериновка:

а – карта аномального геомагнитного поля участков 1 и 2; б – карта прогнозируемых археологических объектов по итогам интерпретации магнитных данных.

Рисунки из архива авторов

Аномалия 1 имела протяжённость 19,0 м, максимальную интенсивность 3,6 нТл. К югу от неё при раскопках был открыт кольцевой ров диаметром 12,4 м по внешнему краю. Ширина рва на уровне материка 0,15–0,40 м, глубина в материке 0,20–0,30 м, глубина от современной поверхности 0,80 м. В разных местах в районе рва встречались фрагменты греческих амфор IV века до н. э. Несмотря на целенаправленные поиски, никаких следов погребений в кургане не обнаружено. Сама аномалия соответствовала выемке в материковом грунте, откуда брали материал для курганной насыпи, перекрывавшей ров в древности. В процессе раскопок аномалия 1 получила название курган № 36.

Комплекс аномалий 2 состоит из:

а) кольцевой аномалии шириной до 1,5 м и максимальной интенсивностью 3,9 нТл, диаметром 19,0 м;

б) двух аномалий от погребальных структур с максимальной интенсивностью 4,5 и 2,3 нТл внутри кольцевой.

В процессе раскопок выяснилось, что комплекс аномалий соответствует распаханному кургану скифского времени высотой 0,6 м (курган № 34). Курган имел кольцевой ров и три катакомбы. Первая аномалия соответствует рву диаметром 19,0 м, шириной 0,9–1,0 м, глубиной до 1,0 м от уровня современной поверхности. Две других аномалии соответствовали скифским катакомбам.

Северная аномалия соответствовала погребениям № 2 и 3 (рис. 5). На момент раскопок погребения представляли собой крупное погребальное сооружение с большой общей катакомбой с двумя входными ямами, располагавшимися с противоположных сторон от погребальной камеры – с юга и севера. Протяжённость общего погребального сооружения достигала 7,0 м, что необычно много для кургана таких скромных размеров. Погребальная камера содержала два одновременных захоронения. Глубина катакомбы 4,05 м.

Южная аномалия соответствовала впускному погребению № 4. Оно совершено в яме с подбоем, направленным к центру кургана. Дно входной ямы с глубины 1,8 м от уровня древнего горизонта опускалось до глубины 2,4 м от уровня древнего горизонта ко входу в подбой, устроенный в западной стенке. Овальный в плане подбой имел необычно большие размеры – 3,6 × 2,4 м.

Ещё одна небольшая катакомба глубиной 2,22 м не создавала достаточно интенсивной магнитной аномалии и не проявилась на магнитной карте.

Комплексы аномалий 3, 4, 5 соответствуют скифским курганам № 35, 37 и 38. Они состояли из лунообразной аномалии и аномалии от погребального сооружения, кольцевые рвы зафиксированы не были. Погребальные сооружения представлены одним подбоем (курган № 35) и двумя катакомбами (курганы № 37 и 38) глубиной 2,85 м, 2,45 м и 2,36 м от современной поверхности соответственно. Лунообразные аномалии с северной стороны курганов соответствуют выемкам, из которых брали грунт для сооружения курганных насыпей. Оказались они весьма неглубокими, углублёнными в материк не более 0,3–0,5 м. Курганы № 37 и 38 были заметны на космоснимке в виде двух почти вплотную расположенных маленьких пятнышек, которые, однако, никак не проявлялись ни в рельефе, ни в цвете почвы.

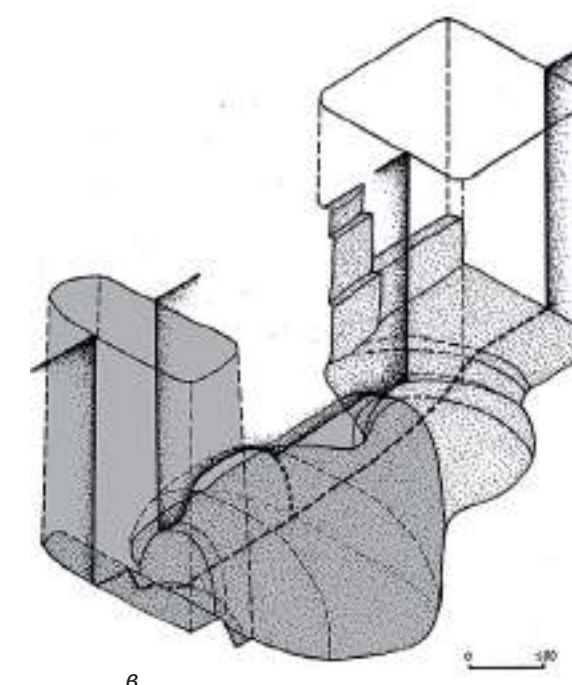
Все вскрытые объекты практически одновременны и датируются в пределах второй – начала последней четверти IV века до н. э.

Реконструкция пространства курганного могильника по магнитной карте

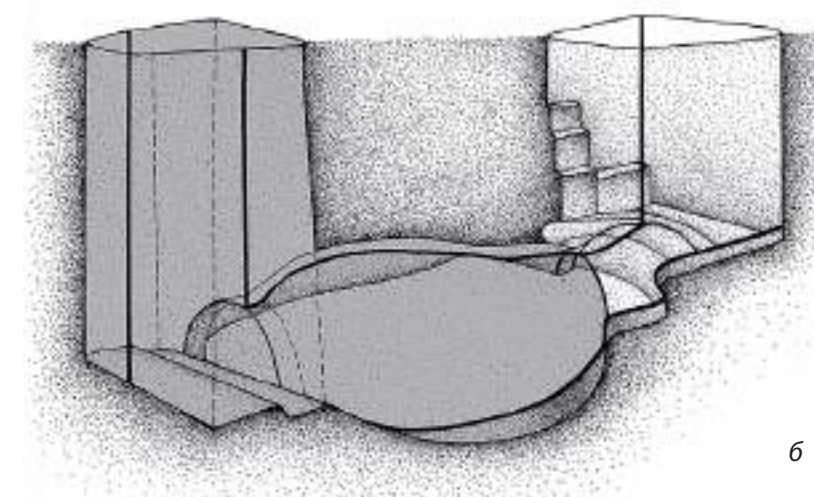
Ориентируясь на данные археологических исследований геофизических аномалий, мы можем предложить реконструкцию плановой структуры скифского курганного могильника Екатериновка.



а



б



б

Рис. 5.

Погребения № 2 и 3 кургана № 34, соответствующие северной аномалии внутри кольцевой в комплексе аномалий 2:

а – фотография из архива авторов; б – реконструкция. Рисунок из архива авторов; в – аксонометрическая проекция. Рисунок Т. В. Менчинской

С этой целью выделим перспективные аномалии в рамках участков (рис. 4, б; 6, б).

На участке 1 комплексы аномалий 6 и 7 предположительно соответствуют археологическим курганным комплексам, состоящим из погребального сооружения и лунообразной выемки от забора грунта для строительства насыпи, располагающейся с северной стороны курганов. Аналогичная интерпретация может быть дана аномалиям 8 и 9, однако в этих местах магнитная запись более зашумлена, что мешает сделать однозначные выводы.

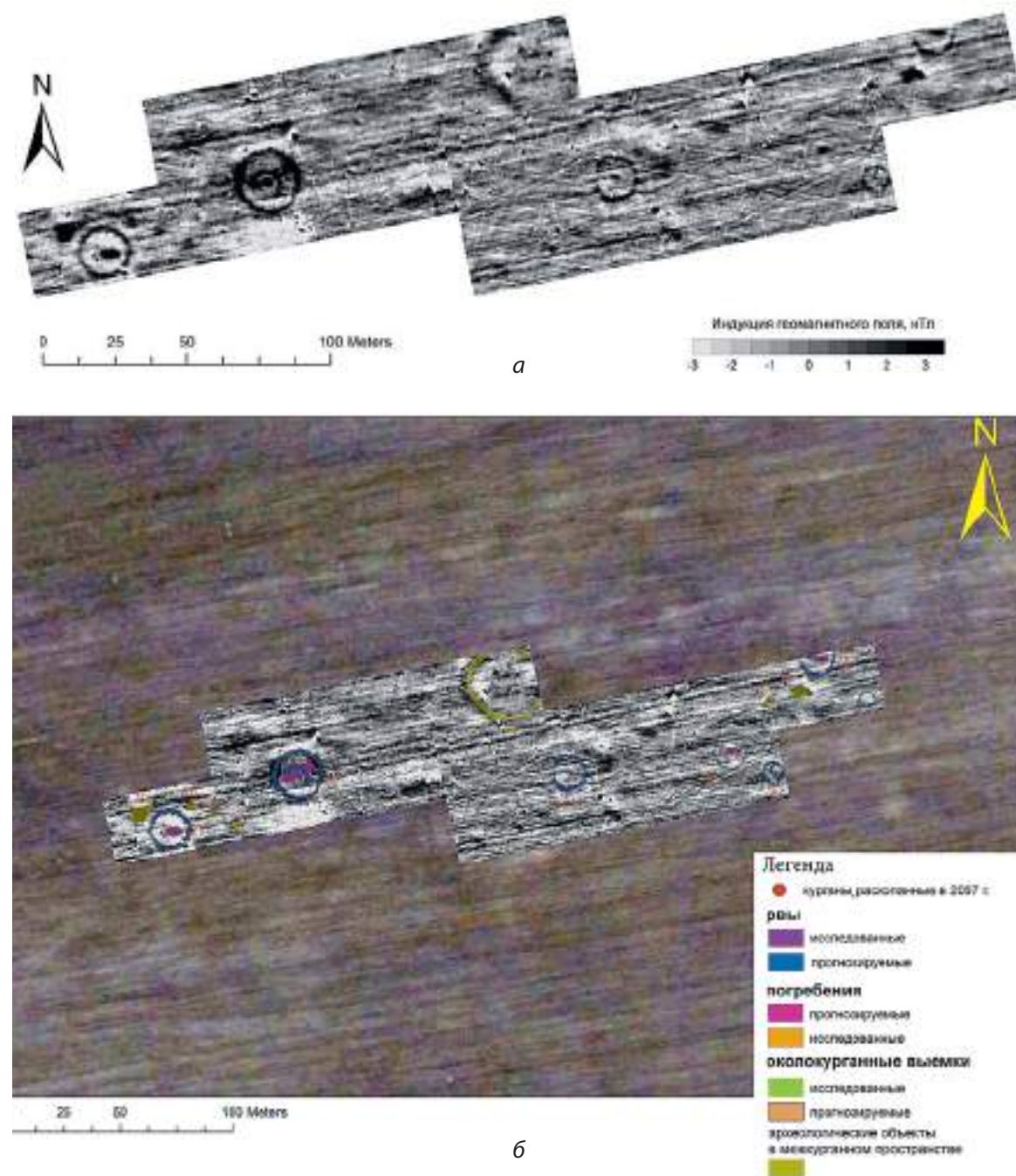


Рис. 6.

Могильник Екатериновка:

а – карта аномального геомагнитного поля участка 3; б – карта прогнозируемых археологических объектов по итогам интерпретации магнитных данных.

Рисунки из архива авторов

Глубокой крупной яме, без всякого сомнения, соответствует аномалия 10. Она имеет площадь около 30 м², максимальная интенсивность достигает 7,4 нТл.

Ямам меньших размеров соответствуют аномалии 11–13.

Комплекс аномалий 14 состоит из двух дугообразных возмущений поля, возможно, соответствующих каменным сооружениям типа кромлеха.

На участке 2 выделяется комплексная аномалия 15 от выраженного в рельефе кургана высотой 0,3 м. В его структуре хорошо виден кольцевой ров с внешним диаметром 22,0 м, а также сложное погребальное сооружение, состоящее, вероятно, из нескольких катакомб. С северной стороны ров, возможно, является частью или сближен с выемкой для забора грунта, там возможно нахождение и других археологических объектов.

Также на участке имеются изометрические аномалии 16–20 с размерами 5,0–9,0 м, интенсивностью до 5,4 нТл. Их источниками могут быть углублённые в материк объекты, вероятно, захоронения.

На участке 3 выделяется семь аномалий, предположительно связанных с курганами скифского времени (аномалии 21–27). Все они имеют кольцевые рвы различного диаметра, от 6,0 до 22,0 м.

Комплексная аномалия 21 сопровождается аномалией-пятном 29 с северо-западной стороны, которая может оказаться местом тризны, насыщенным различными объектами и артефактами, а может быть глубокой ямой. Возле неё располагаются в ряд аномалии 30–32, также, возможно, от трёх отдельных погребений.

Курган, создавший комплексную аномалию 22, скорее всего, имеет два рва с внешними диаметрами 22,0 и 11,0 м.

Самые маленькие кольцевые аномалии 25 и 27 соответствуют рвам без погребальных сооружений, возможно, аналогичных рву, исследованному на месте аномалии 1 (курган № 36).

Аномалии 33, 34, скорее всего, являются остатками современных построек, поскольку на поверхности в этом месте найдено достаточно много битого кирпича.

Интересна аномалия 28, на её месте на местности выделяется холмик. Предположительно, её источником является курган, конструкция и, возможно, хронологическая принадлежность которого отличны от других, исследованных в этом могильнике (эпоха бронзы?).

В целом выявленные при помощи геофизики объекты скифского времени на могильнике Екатериновка занимают полосу шириной 30,0–50,0 м и длиной более 1,0 км, в пределах этой полосы расположены более-менее равномерно (рис. 7). Аномалии вне предполагаемых рвов всё-таки пространственно тяготеют к курганам, а, следовательно, соответствующие им объекты должны рассматриваться в комплексе с собственно курганами.

Обсуждение результатов исследования

Проведённые работы не только помогают расставить приоритеты и непосредственно оптимизировать ресурсозатраты в археологической практике, но и ставят перед исследователями новые вопросы.

Совершенно новым эпизодом в понимании строительства скифских курганов и организации их пространства стало открытие рва скифского времени без погребальной камеры, включённого в структуру скифского могильника (курган № 35), а также околочурганых выемок для выборки грунта возле трёх курганов скифского времени без сооружения рва. Их открытие стало возможным только благодаря магнитной съёмке.

Околочурганые выемки характерны для курганов эпохи бронзы, где они фиксируются визуально, на аэро- и космоснимках (Черных, Дараган 2014. С. 380, 381) и совершенно нетипичны для скифских курганов. В условиях плоского рельефа могильника Екатериновка магнитная аномалия от выемки указывает на то, что курган точно был насыпан, но не может служить для предварительного его датирования.

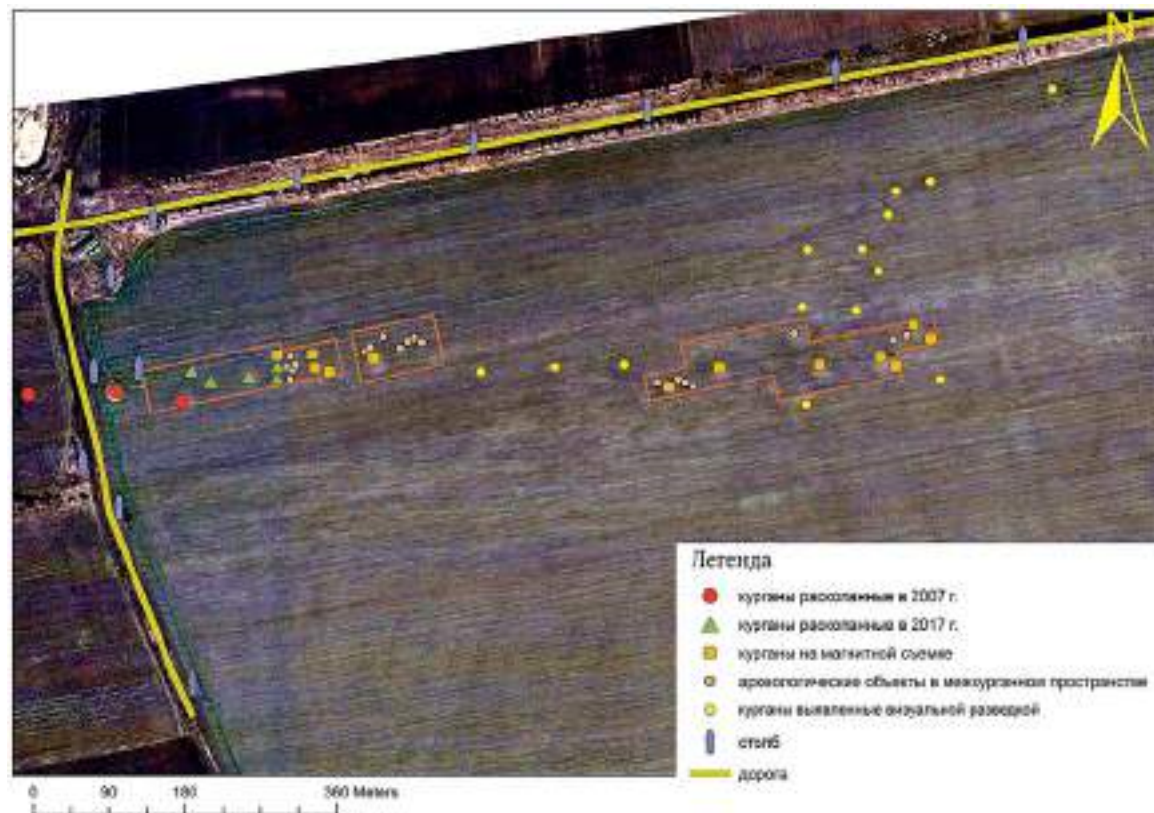


Рис. 7.
Пространственная реконструкция курганного могильника Екатериновка.
Рисунок из архива авторов

Ров без погребения (курган № 35) сопровождался выемкой, зафиксированной как геофизическим, так и археологическим методами, то есть курган осознанно был насыпан над пустым рвом, что даёт нам основания считать его законченным объектом. Ситуация крайне необычная и, пожалуй, встреченная впервые в практике раскопок скифских курганов в Северном Причерноморье. Вероятно, мы имеем дело с ранее неизвестной разновидностью скифской погребально-поминальной практики. Заметим, что на участке 3 могильника нами предполагается наличие ещё двух таких объектов (аномалии 25 и 27) (рис. 6).

При наличии на могильнике разновременных курганов (на сегодняшний день раскопано два кургана эпохи бронзы и семь скифских) нельзя однозначно утверждать, что все аномалии вне кольцевых рвов соответствуют объектам скифского времени. Например, выделяются скопления аномалий 10–13 на участке 1 и 16–20 на участке 2 (рис. 4), которые по своим размерам, интенсивности и взаимному расположению вполне могут соответствовать подкурганам погребениям эпохи бронзы, аналогичным исследованным на могильнике в 2003 и 2007 годах (Черных, Дараган 2014. С. 102–114).

Выводы

Высокоточные геомагнитные исследования на могильнике Екатериновка выполнены в объёме 3,65 га. На основании карт остаточных аномалий магнитной индукции

на указанной площади выделено тридцать две археологически перспективные аномалии и комплексы, пять из которых – подтверждённые раскопками скифские курганы, которые датируются в пределах второй – начала последней четверти IV века до н. э., ещё двенадцать интерпретируются как курганы скифского времени по наличию кольцевых околокурганных рвов.

Курганный могильник Екатериновка предположительно является примером сложного археологического памятника, где выделяются как скифские погребальные сооружения со своими уникальными отличительными чертами и сопутствующими объектами, так и курганные захоронения эпохи бронзы.

Опыт наших работ показывает, что геофизические исследования должны стать обязательными при планировании и проведении раскопок на курганах, особенно на участках интенсивного промышленного и сельскохозяйственного землепользования.

ЛИТЕРАТУРА

Бондар, Башкатов 2014

Бондар К., Башкатов Ю. Реконструкція археологічного ландшафту поселення Дмитрівка III за даними високоточної магнітометрії // Археологія і давня історія України. 2014. Вип. 2 (13). С. 102–106.

Орлюк и др. 2016

Орлюк М., Ролле Р., Роменец А. и др. Микромагнитная съёмка Большого Бельского городища скифского времени, Полтавская область // Геофизический журнал. 2016. №5. Т. 38. С. 25–39.

Полин 2011

Полин С. В. К истории развития методики раскопок больших скифских курганов // Методика полевых археологических исследований. 2011. Вып. 4 : Греческие и варварские памятники Северного Причерноморья : Опыт методики российских и украинских полевых исследований. С. 206–222.

Полин 2011а

Полин С. В. Амфоры и клейма из кургана № 32 у г. Орджоникидзе и некоторые вопросы амфорной хронологии // АМА. 2011. Вып. 15. С. 240–264.

Полин и др. 2008

Полин С. В., Черных Л. А., Дараган М. Н., Разумов С. Н. Исследование курганов эпохи бронзы и скифского периода у г. Орджоникидзе (Украина), сезон 2007 г. (предварительное сообщение) // Revista Arheologica. 2008. Vol. 4. N 1. С. 135–145.

Самашев и др. 2009

Самашев З., Наглер А., Парцингер Г., Наврот М. Совместные германско-казахские исследования больших сакских курганов Семиречья // Пятая Кубанская археологическая конференция : материалы конф. Краснодар, 2009.

Смекалова, Чудин 2009

Смекалова Т. Н., Чудин А. В. Магнитная разведка и некоторые натурные наблюдения на курганной группе Мамай Гора в Запорожской области // Андрух С. И., Тощев Г. Н. Могильник Мамай-Гора. Запорожье, 2009. Кн. 4. С. 281–293.

Черных, Дараган 2014

Черных Л. А., Дараган М. Н. Курганы эпохи энеолита – бронзового века междуречья Базавлука, Соленой, Чертомлыка. Киев ; Берлин, 2014. (Серия «Курганы Украины» ; т. 4).

Fassbinder et al. 2015a

Fassbinder J. W. E., Gass A., Hofmann I. et al. Early Iron Age kurgans from the North Caucasus // Archaeologia Polona. 2015. Vol. 53. P. 280–284.

Fassbinder et al. 2015b

Fassbinder J. W. E., Gass A., Hofmann I. et al. Early Iron Age kurgans and their periphery : Latest findings and interpretations from the northern Caucasus // *Virtual Archaeology (Methods and benefits) : Proceedings of the Second International Conference held at the State Hermitage Museum, 1–3 June 2015. Saint Petersburg, 2015. P. 81–88.*

Fassbinder 2016

Fassbinder J. W. E. Magnetometerprospektion sakischer Kurgane: Das Gräberfeld Žoan Tobe mit einem Großkurgan und der Kurgan bei Kegen, Süd-Ost Kasachstan // *Gass A. Das Siebenstromland zwischen Bronze- und Früheisenzeit : Eine Regionalstudie. 2016. Bd. 28. S. 520–537. (TOPOI : Berlin Studies of the Ancient World).*

Parzinger et al. 2015

Parzinger H., Gass A., Faßbinder J., Belinskij A. Interdisziplinäre Erforschung der Gräberfelder mit früheisenzeitlichen Großkurganen im Nordkaukasus // *Der Kaukasus im Spannungsfeld zwischen Osteuropa und Vorderem Orient : Dialog der Kulturen, Kultur des Dialoges Internationale Fachtagung für die Archäologie und Humboldt-Kolleg (5.–8. Oktober 2015, Sankt Petersburg) / Hrsg. M. T. Kašuba, S. Reinhold, V. A. Alekšin. Sankt Petersburg, 2015. S. 49–53.*

Parzinger et al. 2016

Parzinger H., Gass A., Fassbinder J. At the Foot of Royal Kurgans : The latest geoarchaeological and geophysical studies // *Science First Hand. 2016. Vol. 43 (1). P. 74–89.*

Polin, Daragan 2011

Polin S., Daragan M. Das Prunkgrab Alexandropol-kurgan : Verberichtuber die Untersuchungeninden Jahren 2004–2009 // *Eurasia Antiqua. 2011. Vol. 17. P. 189–214.*

Smekalova et al. 2005

Smekalova T., Voss O., Smekalov S., Myts V., Koltukhov S. Magnetometric investigations of stone constructions within large ancient barrows of Denmark and Crimea // *Geoarchaeology. 2005. Vol. 20. Iss. 5, May. P. 461–482.*

Zöllner et al. 2008

Zöllner H., Ulrich B., Rolle R. et al. Results of Geophysical Prospection in the Scythian Settlement of Belsk (Bol'shoe Belskoe Gorodišče) // *Layers of Perception: Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) (Berlin, April 2–6, 2007). Bonn, 2008. P. 25.*

М. В. Вавулин, О. В. Зайцева

Томский государственный университет, РФ

И. А. Невская

Горно-Алтайский государственный университет, РФ

Е. В. Водясов

Томский государственный университет, РФ

Л. Н. Тыбыкова

Горно-Алтайский государственный университет, РФ

ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ ДРЕВНЕТЮРКСКИХ РУНИЧЕСКИХ НАСКАЛЬНЫХ НАДПИСЕЙ ГОРНОГО АЛТАЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОТОГРАММЕТРИИ¹

Введение

Древнетюркские рунические надписи Горного Алтая (датируемые примерно VIII–XII веками н. э.) являются на сегодняшний день менее изученными, чем широко известные эпитафии на каменных стелах в Монголии, Хакасии и Туве (VATEC 2005). Помимо специфических лингвистических проблем дешифровку алтайских надписей значительно затрудняет техника их нанесения на скальные поверхности. Небольшой размер знаков, выполненных тонкими резами, приводит к серьёзным сложностям при их копировании и дальнейшем распознавании. Свежие линии резов выделялись по цвету на фоне скальной поверхности, однако со временем они становились всё менее заметными, и сегодня человек способен разглядеть их с большим трудом только при определённом освещении и под особым углом зрения.

Распознавание рунических знаков в ряде случаев также затруднено из-за перекрывающих их более поздних петроглифов и надписей, сделанных современными вандалами. Нередко сами эти надписи наносились на поверхностях с петроглифами более раннего времени, так что линии надписей и рисунков перекрывают или пересекают друг друга. Прорисовки одной и той же надписи, сделанные разными исследователями, настолько отличаются друг от друга, что это приводит к появлению разных вариантов прочтения одной и той же надписи. Существующие контактные методы, традиционно применяемые при документации петроглифов, также не всегда подходят для объективной фиксации рунических надписей из-за того, что алтайские надписи в основном наносились очень тонкими, часто едва заметными линиями. Кроме того, многие надписи плохо сохранились в результате природных и техногенных воздействий (землетрясения, эрозия камней, обусловленная резко континентальным климатом, строительство дорог и т. п.).

¹ Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (грант № 14.Y26.31.0014 «Языковое и этнокультурное разнообразие Южной Сибири в синхронии и диахронии: взаимодействие языков и культур») и гранта РГНФ е(р) 17-14-04602 («Поиск, документация и дешифровка новых древнетюркских рунических памятников Горного Алтая»).

В последние годы довольно активно развивается направление бесконтактной фиксации петроглифов, основанное на принципе трёхмерного моделирования с использованием технологий 3D-сканирования или цифровой фотограмметрии (Plets et al. 2012; Plisson, Zotkina 2015). В 2017 году начаты совместные экспериментальные работы Томского и Горно-Алтайского государственных университетов по цифровому трёхмерному документированию древнетюркских рунических надписей Горного Алтая. Нахождение рунических надписей в горных труднодоступных местах затрудняло использование тяжёлых стационарных 3D-сканеров, требующих внешнего источника питания и особых условий освещения. Для фиксации рунических надписей была выбрана технология цифровой фотограмметрии, обеспечивающая необходимую детализацию при высокой мобильности и автономности использования.

Методика фиксации

Исследованные в 2017 году рунические надписи расположены в Онгудайском и Кош-Агачском районах Республики Горный Алтай. Надписи нанесены на скальные поверхности площадью от 0,02 до 1,0 м². Большинство расположено на вертикальных плоскостях. Надписи состоят как из нескольких символов, так и из десятков рунических знаков. Они выполнены тонкими резами шириной 0,1–1,0 мм при глубине зачастую менее 0,1 мм. Такие размеры приводят к серьёзным сложностям при копировании и дальнейшем распознавании. Особенности техники нанесения рунических надписей требуют для их надёжной документации не только создания макрофотографии высокого разрешения, но и фиксации рельефа скальной поверхности.

Трёхмерная оцифровка скальных поверхностей производилась с помощью технологии цифровой фотограмметрии. Сбор данных осуществлялся на фотоаппарат Nikon D800 с объективом Sigma 105 мм 1:2.8 DG MACRO HSM. При использовании данного оборудования максимальное разрешение фотографии достигало значения чуть менее 0,015 мм на пиксель, этого было достаточно для фиксации мелких деталей размером до 0,05 мм.

Обработка данных производилась в программе Agisoft PhotoScan Pro. Изначально планировалось использование трёхмерных полигональных текстурированных моделей как основного результата оцифровки и источника для анализа. Несмотря на то, что используемая графическая станция справлялась со всеми вычислениями, итоговые модели (по 200–300 млн полигонов) практически невозможно было просмотреть на обычных рабочих станциях, не говоря уже о том, чтобы работать с ними. Поэтому мы решили отказаться от полигональных моделей и перешли на использование плотного облака точек как основного результата оцифровки, что значительно облегчило просмотр 3D-данных. Плотные облака точек также являются основой для создания полигональных моделей и в случае необходимости могут быть использованы для их получения и дальнейшего анализа. Так как при обработке данных плотные облака точек строятся с максимально возможным разрешением, цвета точек содержат всю имеющуюся информацию о текстуре объектов. Однако даже с облаками точек файлы получаются слишком большими для комфортной работы на рабочих станциях (80–150 млн точек), поэтому общая площадь единого объекта разбивалась на части (до 30 млн точек каждая).

Для экспорта облаков точек был выбран формат PLY, так как он обладает хорошим показателем сжатия данных и поддерживается в большинстве доступных программ просмотра. Для большей оптимизации работы с результатами трёхмерной оцифровки дополнительно были построены двухмерные ортофотографии и карты высот поверхности.

Для анализа ортофотографий и карт высот использовалось программное обеспечение QGIS Desktop. На одной скальной поверхности могли быть нанесены разнотипные резы. Линии могли различаться по длине, ширине, глубине или цветности. Для трёхмерного анализа облака точек можно загрузить в программы просмотра 3D-данных, такие как MeshLab, CloudCompare и др. Это позволяет рассмотреть микро-рельеф вместе с текстурой под любым углом, выделить различные типы линий, проследить последовательность их пересечений и пр. В зависимости от функционала программы это возможно произвести либо непосредственно с облаком точек, либо со сформированной полигональной моделью.

Для иллюстрации возможностей компьютерного отображения, анализа рунических надписей и сопутствующих изображений рассмотрим надпись Туекта V (A–90 в соответствии с нумерацией надписей в: Тыбыкова и др. 2012). Надпись была открыта в 2008 году археологическим отрядом Кемеровского государственного университета под руководством А. И. Мартынова (Тыбыкова и др. 2012. С. 105).

Она сопровождается граффити с двумя хорошо читаемыми фигурами козлов и ещё одной плохо читаемой фигурой копытного животного. Надпись расположена на вертикальной скальной плоскости площадью 0,03 м². На покрытие всей площади с горизонтальным и вертикальным смещением камеры в 70 и 60 % потребовалось сорок кадров. Полевая фиксация поверхности заняла около получаса. Последующая компьютерная обработка в программе Agisoft PhotoScan Pro потребовала ещё около восьми часов.

Линии каждого типа были отдельно обрисованы в соответствующих векторных слоях (рис. 1). Жёлтым цветом обозначены следы выбивки до нанесения граффити и рунической надписи. Они не представляют законченного изображения. Петроглифы, сделанные в такой технике, присутствуют на соседних скальных поверхностях. Синим цветом обозначены резы, которыми выполнены рунические знаки. Ширина резов 0,2–0,6 мм, глубина 0,02–0,06 мм, преимущественно 0,06 мм. Красные линии – изображения двух козлов. Ширина линий 0,2–0,6 мм, в среднем 0,3 мм. Глубина – от неопределённой (практически не выражены в рельефе) до 0,05 мм, преимущественно 0,05 мм. Фиолетовые линии – плохо различимое изображение крупы копытного животного, перекрытого поверх рунической надписью. Ширина линий 0,10–0,25 мм, в среднем 0,15 мм. Глубина линий 0,01 мм. Голубым цветом обозначены сложно дифференцируемые линии.

Прорисовка рунической надписи сделана на основе анализа карты высот поверхности в QGIS Desktop (рис. 2).

Интерпретация и прочтение надписи

Первая попытка прочесть надпись была сделана Л. Н. Тыбыковой, И. А. Невской и Марселем Эрдалом в 2011 году (Тыбыкова и др. 2011). Это прочтение было включено и в «Каталог древнетюркских рунических памятников Горного Алтая» (Тыбыкова и др. 2012). Авторы к тому времени располагали только фотографией данной надписи невысокого разрешения, опубликованной в интернете Чагатом Алмашевым (Алмашев и др. 2010). В 2010 и 2012 годах во время летних экспедиций по Горному Алтаю Л. Н. Тыбыкова и И. А. Невская проводили поисковые работы вблизи деревни Туекта, но не смогли найти надпись, так как не располагали точными данными о её расположении. Соответственно, они не исключали того, что имеющаяся фотография не захватила какую-то часть надписи или что на камне есть и другие строки. В первом прочтении надписи было сделано только предположение, с учётом неуверенности авторов в том, какой знак можно различить на поверхности камня.

На фотографии были видны пятнадцать знаков, из которых два являются слово-разделителями. На фотографию попали также два козла; надпись сделана под их

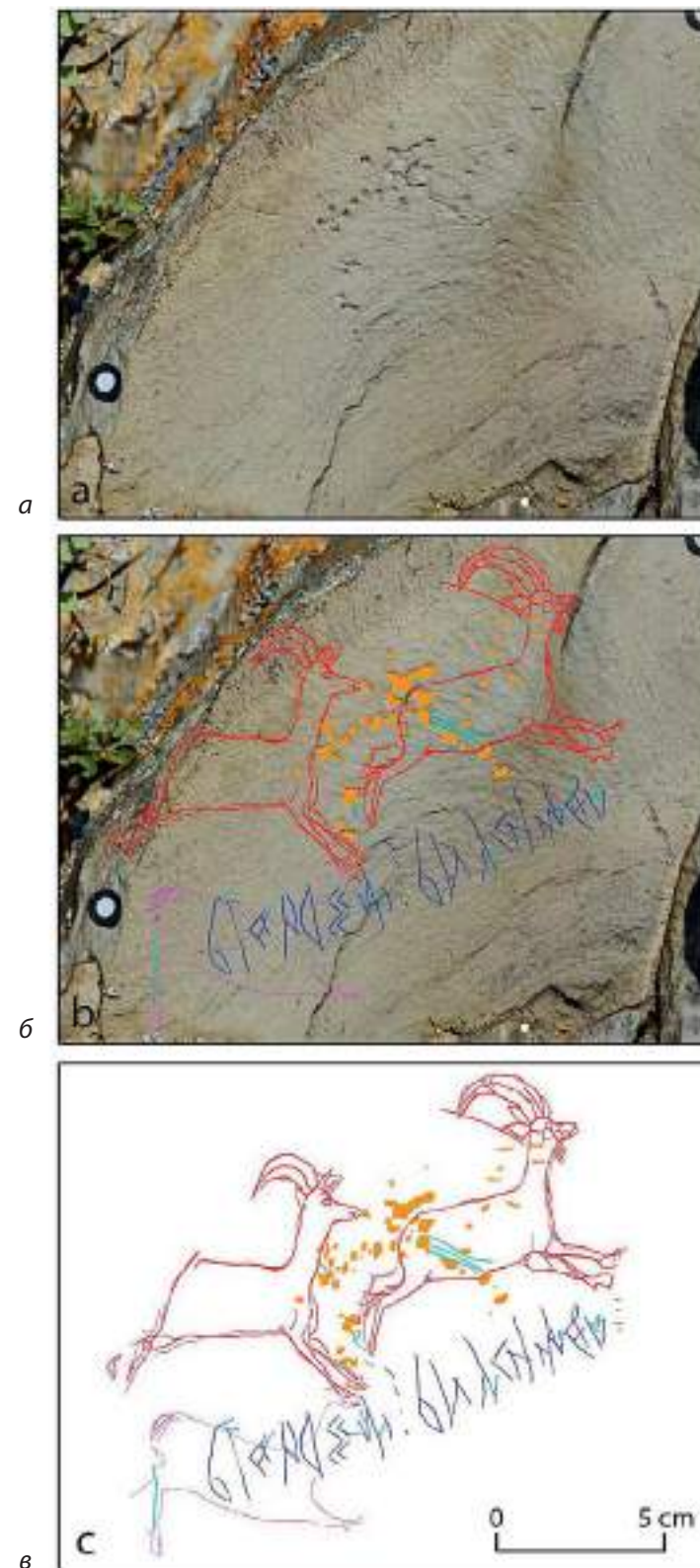


Рис. 1.

Руническая надпись Туекта V:

a – ортофотография скальной поверхности; *b* – скальная поверхность с прорисовкой рунической надписи и петроглифов; *в* – прорисовка рунической надписи и петроглифов.
Изображения и прорисовки М. В. Вавулина

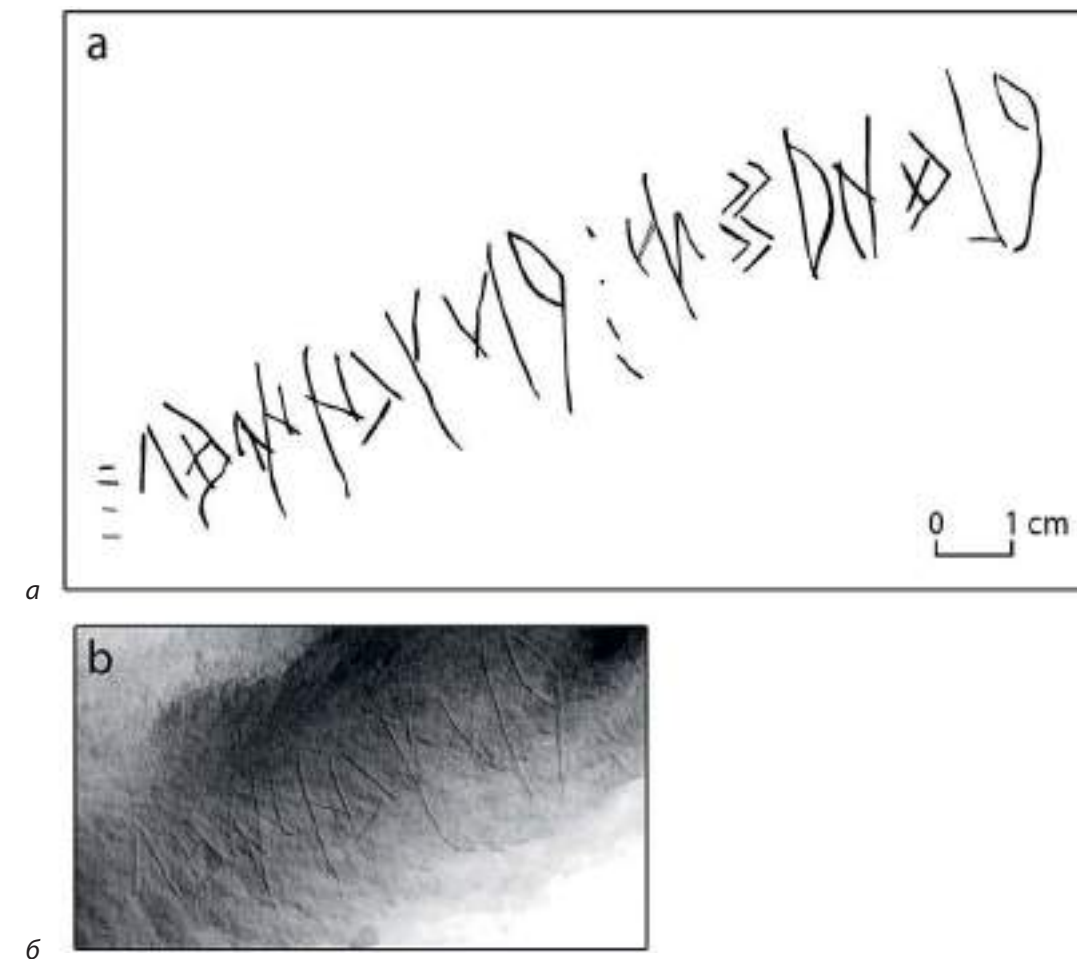


Рис. 2.

Руническая надпись Туекта V:

a – прорисовка надписи; *б* – фрагмент карты высот поверхности.
Изображения М. В. Вавулина

копытами, как бы «вверх ногами», в зеркальном отражении. Видимо, козлы были нарисованы ранее, а создатель надписи писал её позже, лёжа на камне, стараясь, чтобы она оказалась под копытами козлов.

Запись текста рунами: : I ✱ H K > Y 1 Q : Y ✱ D T 1

Транслитерация: $k^2 l y^1 d^1 g^1 : y^2 p / s^2 s^1 U \ddot{U} n^2 m s^2 :$

Транскрипция: (ä)ki y(a)d(a)g : y(e)p/y(i) š (a)šu ün(m)i)š :

Перевод: Двое пеших (людей), поев/перевалив (гору), спустились (вниз).

В 2012 году тюркологи из Киргизии под руководством Кадыралы Конкобаева исследовали эту надпись. Она была показана им известным на Алтае краеведом Б. М. Киндиковым. В результате её фиксации традиционными методами им удалось уточнить количество и, частично, состав знаков, а также предложить новое прочтение. Они увидели семнадцать знаков, включая два словоразделителя. Им удалось правильно прочесть вторую половину надписи, при этом они согласились с прочтением последнего слова как *ünm(i)š*, предложенным ранее (Тыбыкова и др. 2011). Тем не менее первая половина надписи, знаки которой оказались более стёртыми, осталась нерасшифрованной, хотя им и удалось увидеть первые два знака, невидимые на фотографии, опубликованной Чагатом Алмашевым. Однако, пользуясь традиционными

методами, авторы не смогли различить резы и трещины на камне и не смогли правильно прочесть два знака. Мы цитируем их прочтение в принятой ими нотации. Прочтение К. Конкобаева, Н. Усеева, Н. Шабданалиева (Конкобаев и др. 2015. С. 290, 291):

Запись текста рунами: Слово:

Транскрипция: y(e)m k(a)y(a)d(a) y(a)r(l)u önmiş.

Перевод: Пища (растение) на скале, оказывается, расколов (расколов скалу) выросло.

Только в 2017 году, благодаря технологии цифровой фотограмметрии, обеспечивающей необходимую детализацию фиксации, удалось, как мы надеемся, окончательно установить как количество, так и состав знаков этой надписи. Читается она, как и подавляющее большинство древнетюркских рунических надписей, справа налево. Новое прочтение И. А. Невской и Л. Н. Тыбыковой:

Запись текста рунами: ^ ✧ H F > Y U Q : H ≌ D H ✧ J Q

Транслитерация: y² l¹ m k¹ y¹ d¹ n²: y² r¹ l² U Ü n² m š:

Транскрипција надписи: y(a)l(i)m k(a)y(a)d(a)n : y(a)r(i)lu ün(m)iş :

Перевод: С голой скалы, разделившись, спустились (вниз).

Комментарии к прочтению надписи

1. На прорисовке, сделанной на основе анализа ортофото и карты высот (рис. 2), хорошо видно, что косая верхняя черта на втором знаке Ј, которую Кадыралы Конкобаев принял за часть руны, ею не является, так как это естественная трещина на камне, а не рез. Соответственно, мы можем прочесть первые три знака (ϕ Ј 9) у² l¹ m как у(a)l(i)m, хотя первая руна должна была бы быть у¹, а не у², то есть здесь наблюдается смешение двух рядов согласных: по правилам классической рунической орфографии согласные с верхним индексом 1 должны были бы сочетаться только с заднерядными гласными, а с индексом 2 – только с переднерядными гласными. Тем не менее в надписях Алтая, да и не только Алтая, такое смешение – нередкое явление (Nevskaya 2011; Nevskaya 2015).

2. Последний знак перед первым словоразделителем (H) – это n^2 . Это самый проблематичный знак во всей надписи, даже учитывая результаты фиксации фотограмметрическим методом. Штрих, соединяющий левый отрог руны с центральным стволом, не мог быть однозначно отнесён по своей глубине к резам, типичным для этой надписи. Но и другого логичного объяснения для него тоже нет, то есть он не является частью петроглифов или трещиной в скале. В то же время без него оставшиеся штрихи не дают никакого прочтения. Можно только предположить, что у писца мог соскользнуть резец, или в этом месте поверхность камня более твёрдая из-за каких-то микровкраплений, и в результате штрих получился менее глубоким.

3. Четыре знака перед словоразделителем $k^1 y^1 d^1 n^2$ ($\mathbf{k}^1 \mathbf{y}^1 \mathbf{d}^1 \mathbf{n}^2$) прочитываются как $k(a)y(a)d(a)n$, то есть это слово *kaya'* 'скала' в форме исходного падежа. Зная, что предикатом предложения, прочитывающегося на этой надписи, является глагол *ün-* 'отправляться, вырастать и т. д.', который может управлять исходным падежом имени в одном из своих значений, эта форма грамматически ожидаема.

Гласная аффикса нами восстанавливается как *a*, хотя в этом аффиксе возможна и гласная *ï*. По наблюдениям Марсея Эрдала (Erdal 2004. P. 175), узкая гласная более типична для большинства классических древнеуйгурских манускриптов, а также для языка караханидских надписей. Широкая гласная, преобладающая в современных формах исходного падежа, отмечена в предклассических уйгурских и манихейских древнетюркских текстах. В рунических текстах гласная данного падежа обычно не пишется, но, судя по косвенным данным, предпочтительна её транскрипция как широкой (Erdal 2004. P. 175).

Вторая согласная аффикса исходного падежа написана как n^2 , хотя ожидалось бы n^1 , что также является частным случаем более общего явления смешения рядности согласных в алтайских надписях. Однако необходимо провести исследование всего алтайского корпуса методами фотограмметрии, чтобы сделать выводы о типичных написаниях всех аффиксов в этом корпусе. Из опыта исследования рунических надписей Монголии известно, что ряд аффиксов имели символическое написание и не подчинялись общим правилам классической рунической орфографии.

4. Словосочетание $y^2 l^1 m k^1 y^1 yalim kaya$ 'голая скала' довольно часто встречается в рунических надписях, в том числе и на Алтае. В нескольких сотнях метров от этой надписи на юго-восточной гряде близ некрополя Туекта находится ещё одна туектинская надпись – Туекта IV. Она была сделана у подножия невысокой гряды на отдельном, торчащем из земли наклонном камне, на его внутренней плоскости, направленной к земле. Из-за строительных работ в данной местности, угрожавших сохранности этой надписи, камень был доставлен экспедицией Л. Н. Тыбыковой и И. А. Невской в Республиканский музей им. Анохина. В первой строке данной трёхстрочной надписи читается следующий текст (Тыбыкова и др. 2012. С. 103–105):

Транскрипция: b(ä)ŋ(i)gü : y(a)l(ï)m k(a)y(a) : b(i)t(i)g ur(a)y(ï)n

Перевод: Это вечная голая скала. Вырежу-ка я (на ней) надпись!

При этом здесь при написании словосочетания *yalim kaya* как $y^{11}m\ k^{1}y^{1}$ соблюдены все правила классической орфографии, сравните комментарий 1. Дальнейшие исследования должны показать, возможно ли предположить авторство одного и того же писца у этих двух надписей, несмотря на различие в орфографии.

5. В слове $y^{2}r^{1}l^{2}U$ (Y Ч Q), стоящем после первого словоразделителя и прочитываемого как $y(a)r(i)lu$, которое является деепричастием на $-U$ от глагола $yaril-$ 'расколоться, разделиться, расщепиться' (форма пассивного залога глагола $yar-$ 'расколоть, разбить, разделить, расщепить'), мы также видим нарушения классической орфографии, то есть смешение твёрдорядных и мягкорядных согласных знаков. С другой стороны, в древнетюркском языке существовало две огласовки данного слова: $y(a)r(i)l-$ и $yeril-$, отмеченных как диалектные варианты в словаре сэра Джеральда Клосона (Clauson 1972. P. 955).

Форма деепричастия на узкий огубленный гласный подтверждается данными древнетюркского корпуса VATEC, где этот глагол встречается в форме аориста на *-Ur*, который имел ту же гласную, что и форма данного деепричастия.

6. Последнее слово надписи *ünm(i)š* – это глагол *ün-* в форме индирективного прошедшего на *-mš*. В словарях древнетюркских языков этот глагол приводится как *ön-* (Наделяев и др. 1969) или *ün-* (Clauson 1972) со значениями ‘выступать, обнаруживаться, расти, вырастать’. Он употреблялся с формой исходного падежа обстоятельства места со значением ‘выйти’: *ol baliqtin öntüm* ‘я вышел из этого города’ (Наделяев и др. 1969. С. 385), где слово ‘город’ стоит в исходном падеже: *baliq-tin*. Форма исходного падежа слова ‘скала’ в данной надписи позволяет нам предположить, что мы тоже имеем значение отправной точки движения: *спустились с голой скалы*. Кадыралы Конкобаев с коллегами исходили из значения глагола ‘расти, вырастать’ с субъектом *yet* ‘пища’; их интерпретация возможна, но она представляется нам менее логичной без указания на то, что выросло, так как первое слово теперь однозначно прочитывается как *yalim*. По нашему прочтению, предположительно, какой-то отряд воинов или группа охотников разделились и спустились в долину (возможно, чтобы отдохнуть и напоить лошадей, так как внизу под этой горой протекает река Урсул).

Заключение

В 2017 году нам удалось задокументировать тридцать древнетюркских рунических надписей. Полученные данные могут помочь разрешить многолетние споры о распознавании тех или иных рунических знаков и прочтении надписей. Кроме того, это позволит хотя бы в цифровом виде сохранить уникальные письменные памятники в их текущем состоянии.

Последующее размещение данных в интернете сделает их доступными для всех тюркологов в мире и даст новый толчок в работе по их расшифровке. Особую ценность представляет загрузка не прорисовок, которые всегда в той или иной степени субъективны, а полигональных трёхмерных моделей, облаков точек, карт высот поверхности и ортофотографий в высоком разрешении. Это сопряжено с рядом технических трудностей в связи с их большим объёмом и ожидаемыми сложностями при скачивании. Оптимальным на сегодняшний момент видится размещение упрощённых моделей на Sketchfab (веб-сервис для публикации и обмена интерактивными 3D-моделями) и параллельной загрузкой облаков точек, карт высот поверхности и ортофотографий на специально выделенный файловый хостинг.

Работы по документированию древнетюркских рунических надписей Горного Алтая будут продолжены, и мы надеемся, что наш проект наглядно продемонстрирует перспективность применения 3D-фиксации для исследования, сохранения и популяризации археологического и эпиграфического наследия в России, где подобные проекты пока ещё являются редкостью.

ЛИТЕРАТУРА

Алмашев и др. 2010

Алмашев Ч. Д., Барашкова А. Н., Ерленбаева М. Т. и др. Священные места Алтая : Методическое пособие по сбору информации, картографированию и учёту священных мест для охраны / ред. Ч. Д. Алмашев. Горно-Алтайск, 2010.

Конкобаев и др. 2015

Конкобаев К., Усеев Н., Шабданалиев Н. Атлас древнетюркских письменных памятников Республики Алтай. Астана, 2015.

Наделяев и др. 1969

Наделяев В. М., Насилов Д. М., Тенишев Э. Р., Щербак А. М. Древнетюркский словарь. Л., 1969.

Тыбыкова и др. 2011

Тыбыкова Л. Н., Невская И. А., Эрдал М. Новая древнетюркская надпись около села Туекта // Российская тюркология. 2011. № 1 (4). С. 3–6.

Тыбыкова и др. 2012

Тыбыкова Л. Н., Невская И. А., Эрдал М. Каталог древнетюркских рунических памятников Горного Алтая. Горно-Алтайск, 2012.

Clauson 1972

Clauson G. An Etymological Dictionary of pre-thirteenth-century Turkish. Oxford, 1972.

Erdal 2004

Erdal M. A Grammar of Old Turkic. Leiden ; Boston, 2004.

Nevskaya 2011

Nevskaya I. Some paleographic and orthographic features of Altay Runic inscriptions // Orkhon Yazıtların.ın Bulunuşundan 120 Yıl sonar : Proceedings of the 3rd Runic symposium Orkun H. N. Eski Türk yazıtları / ed. by Ülkü Çelik Şavk. Ankara, 2011. 2. Cilt P. 589–599.

Nevskaya 2015

Nevskaya I. Some orthographic features of Altai runic inscriptions // Interpreting Runic sources and the position of the Altay corpus / ed. by I. Nevskaya, M. Erdal. Berlin, 2015. S. 103–212. (Studien zur Sprache, Geschichte und Kultur der Türkvölker ; Bd. 21).

Plets et al. 2012

Plets G., Gheyle W., Verhoeven G. et al. Three-Dimensional Recording of Archaeological Remains in the Altai Mountains // Antiquity. 2012. Vol. 86. P. 884–897.

Plisson, Zotkina 2015

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

VATEC 2005

VATEC Projekt [Электронный ресурс]. 2005. URL: vatec2.fkidg1.uni-frankfurt.de (дата обращения: 19.02.2018).

М. Н. Дараган
Институт археологии НАН Украины, Украина

Ю. М. Свойский
«Лаборатория RSSDA», РФ

КАРТИРОВАНИЕ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВНУТРЕННЕГО ПРОСТРАНСТВА ЗАПАДНОГО БЕЛЬСКОГО ГОРОДИЩА¹

Постановка проблемы и выбор методов решения

Западное Бельское городище представляет собой часть оборонительной системы Большого Бельского городища – крупнейшего фортификационного сооружения скифской эпохи Евразии (рис. 1). Наиболее ярким элементом городища являются его оборонительные сооружения – относительно хорошо сохранившиеся монументальные валы и рвы. Вопрос о времени их сооружения на сегодняшний день является открытым, вероятно, валы были построены не ранее середины VII века до н. э. и не позднее второй половины VI века до н. э., возможно, в несколько этапов. Однако наибольший интерес для исследователя поселений представляет внутреннее пространство городища.

Поселение на территории будущего Западного Бельского городища возникло около середины VIII века до н. э. в ходе миграции в Поворсклье населения днепровского правобережья – носителей жаботинской археологической культуры. Это население оставило после себя специфические объекты, традиционно именуемые зольными насыпями или «зольниками». Зольники морфологически представляют собой возвышения размером от 20 до 100 метров в поперечнике, в плане их форма может быть близка к кругу или овалу, но наиболее крупные, как правило, имеют неправильную форму. Высота зольных насыпей Западного Бельского городища по наблюдениям начала XX века составляла более 1 м, но к настоящему времени, вследствие воздействия плоскостной эрозии, усиленной многократной распашкой, высота даже наиболее крупных зольников не превышает 50 см, а в большинстве случаев редко составляет более 15–20 см. На современной поверхности зольники выделяются характерным светло-серым цветом. Вскрытые раскопками, они обнаруживают высокую насыщенность культурным материалом и археологические объекты, интерпретируемые как хозяйственные ямы, печи, жертвенники; производственные комплексы, связанные с зольниками, до настоящего времени не выявлены. Генезис зольников остаётся предметом дискуссий, различные исследователи либо связывают их с хозяйственной деятельностью и рассматривают фактически как мусорные кучи, образовывавшиеся у жилых комплексов, либо описывают их как культовые сооружения.

¹ Авторы выражают благодарность компании TVIS, Олеся Ясинскому и Алексею Доманскому, предоставившим в распоряжение материалы аэрофотосъёмки Западного Бельского городища; сотруднику «Лаборатории RSSDA» Рафхату Габдулину, сформировавшему трёхмерные модели рельефа, а также Ксении Бондарь, Олегу Карасёву и Екатерине Романенко, принявшим деятельное участие в обсуждении проблематики картирования внутреннего пространства Западного Бельского городища.

Археологический материал, наблюдаемый в зольных насыпях, датируется периодом с середины VIII века до н. э. по середину V века до н. э., причём отмечается, что зольники существовали в течение достаточно длительных периодов времени, от 50 до 150 лет (Шрамко 2012; Гавриш 2016).

На протяжении более 120 лет археологических исследований Западное Бельское городище неоднократно картировалось. Первый схематичный план городища был составлен в 1895 году А. А. Бобринским. Первая подробная схема с нанесёнными зольниками представлена в отчёте В. А. Городцова за 1906 год. На отдельной схеме он отметил наблюдаемые им 34 зольных насыпи, на восьми из которых им были заложены раскопы (Городцов 1911). В 1958 году этот план был уточнён в рамках совместной работы Московского и Харьковского государственных университетов. На новом плане было обозначено 43 зольника (Шрамко 1958. Лист XI). В 1968 году экспедицией Б. А. Шрамко была выполнена топографическая съёмка и составлен план укрепления, на котором обозначено уже 53 зольника с порядковой нумерацией. При этом в нумерацию были включены номера зольников, раскопанных В. А. Городцовым (Шрамко 1975). Впоследствии к этому плану был добавлен 54-й зольник (Шрамко, Задніков 2014. С. 22).

При проведении раскопок в восточной части укрепления (зольники № 5, 13 и 10) выяснилось, что расположение одних и тех же зольников на планах Городцова (1906) и Шрамко (1968) различается. Но при раскопках во всех этих зольниках были обнаружены старые траншеи Городцова. Сопоставление их параметров, ориентировки с описаниями в дневниках Городцова позволили определить, что зольник № 5 на схеме Шрамко соответствует зольнику № 4 на схеме Городцова, зольник № 13 – зольнику № 5, а зольник № 10 – зольнику № 3 (Шрамко 2012. С. 168; Гавриш 2016. С. 24). П. Я. Гавриш, исследовавший зольник № 7, не обнаружил в нём раскопов В. А. Городцова и потому предложил нумеровать их как два разных зольника № 7 и 7/2. И. Б. Шрамко полагает, что П. Я. Гавришем был раскопан зольник № 22 (Шрамко 2012. С. 168). Всего начиная с 1958 года на городище исследовалось одиннадцать зольников (№ 7/2 (или 22), 5, 10, 11, 12, 13, 19, 28, 30, 40, 54) и закладывались отдельные траншеи на участках вне зольников.

К настоящему времени для Западного Бельского городища известно четыре плана с обозначенными на них зольниками, три из этих планов опубликованы (Гавриш 2016. С. 32, 33). Выявленные расхождения в нумерации зольников и в пространственном положении объектов, безусловно, следует объяснять несовершенством доступных ранним исследователям методов картирования (глазомерная, полуинструментальная и в лучшем случае теодолитная и мензульная съёмка с опорой на пункты низких классов). Опубликованные материалы позволяют заключить, что съёмки, описанные исследователями как инструментальные, фактически выполнялись с помощью буссоли и измерительных рулеток, то есть полуинструментальным способом, что и предопределило их невысокую точность. Даже после появления и широкого распространения современных измерительных приборов (электронных тахеометров, GNSS-приёмников и др.) их применение не вошло в повседневную практику ежегодных раскопок на Западном Бельском городище. Точные методы привязки раскопов по-прежнему не практикуются; они, по-видимому, глазомерно привязываются к плану 1968 года.

Слабость топографической основы археологических работ на Западном Бельском городище прекрасно иллюстрируется опубликованными сведениями о его площади. Так, в публикациях указывались площади в 72,0 га (Шрамко 1975; Шрамко 1987), 95,0 га (Мурзін и др. 1999. С. 27), 85,0 га (Гавриш 2016. С. 15), 86,5 га (Кушнір, Кушнір 1999.

С. 106–120), то есть разброс значений достигает 23 га. Безусловно, это может быть отчасти объяснено разными принципами измерения, так как городище было оконтурено и измерено по гребню вала ($\approx 87,7$ га), внешнему краю рва ($\approx 103,7$ га) или внутреннему подножию вала ($\approx 83,1$ га), но и само определение положения этих контуров достаточно условно.

Несовершенство имеющихся в распоряжении исследователей топографических материалов не позволяет решить ряд проблемных вопросов археологии Западного Бельского городища. Так, остаётся открытым вопрос о действительном числе и конфигурации зольников в пределах внутреннего пространства городища, тем более что в настоящее время оно интенсивно распахируется – и это в ещё большей степени затрудняет как визуальное выявление зольников на местности, так и определение их контуров. Неясны (за отдельными исключениями) пространственные и хронологические взаимоотношения зольных насыпей, не исследована внутренняя структура (организация) поселения и её взаимосвязь с естественным рельефом. Нельзя считать окончательно решёнными и вопросы конструкции и истории формирования валов, числа въездов в городище, взаимоотношения собственно городища с окружающими поселениями.

Решение перечисленных выше проблемных вопросов может быть облегчено полноценным картированием памятника. При этом следует учитывать, что исследование как оборонительных сооружений, так и внутреннего пространства городища осложнено наложенными антропогенными формами рельефа, появившимися вследствие селитроварного производства в XVII–XVIII веках и распашки внутреннего пространства в XX–XXI веках. Поэтому это картографирование должно быть выполнено способом, обеспечивающим возможность глубокого анализа топографии городища в целом. Таким способом представляется метод морфометрического анализа трёхмерных моделей рельефа, успешно применённый нами для выявления и картирования археологических памятников в России, Эквадоре и Монголии (Svoiski, Romanenko 2013).

Сбор и подготовка данных для анализа

Исходные данные для анализа были получены 16 августа 2017 года путём аэрофотосъёмки с беспилотного летательного аппарата DJI Phantom 4 PRO, оснащённого штатной цифровой фотокамерой DJI FC6310, с 1" CMOS матрицей (4864 × 3648 пикселей, 20 Мп), фокусное расстояние объектива 8,8 мм. Фотографирование выполнялось с высоты 270 метров над уровнем моря (100–150 метров над рельефом (AGL)). На момент съёмки северная часть территории городища была распахана, южная часть покрыта посевами рапса высотой до 60 см. В общей сложности съёмкой была покрыта территория площадью около 260 га (2,6 км²). Первичная обработка данных заключалась в формировании фотограмметрическим способом ортофотоплана с разрешением на земле (GSD) 5 см и облака точек поверхности. Съёмка проводилась с использованием одиннадцати опознаков (контрольных точек), координированных методами спутниковой геодезии (GPS+GLONASS) двухчастотным GNSS-приёмником в режиме RTK, что обеспечило достаточную для выполнения задачи плановую и высотную точность моделирования.

На основе облака точек была сформирована триангуляционная модель поверхности. Триангуляционная модель была преобразована в регулярные цифровые модели поверхности («карты высот») с разрешением 50, 25 и 10 см (рис. 2).

Модели поверхности имеют ряд дефектов, обусловленных преимущественно ограничениями фотограмметрического алгоритма, поэтому для дальнейшего анализа была выделена зона покрытия кондиционными данными площадью 146,5 га (1,465 км²), включавшая собственно территорию городища в пределах валов



Рис. 1.

Западное Бельское городище. Ортофотоплан, разрешение 5 см. Изображение М. Н. Дараган

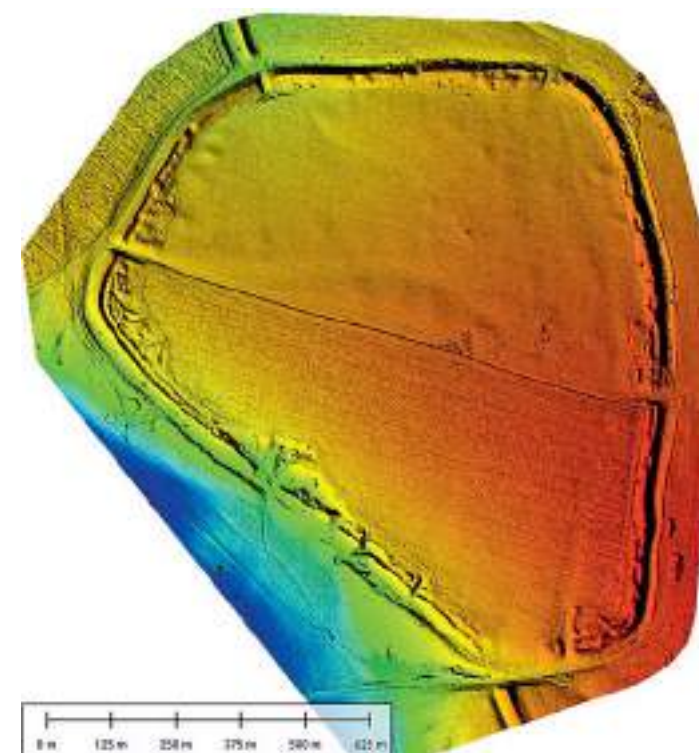


Рис. 2.

Западное Бельское городище. Цифровая модель поверхности, разрешение 25 см. Искусственное освещение – «вечернее», с юго-запада (с истинного азимута 230 градусов) под углом 40 градусов от горизонта. Изображение М. Н. Дараган

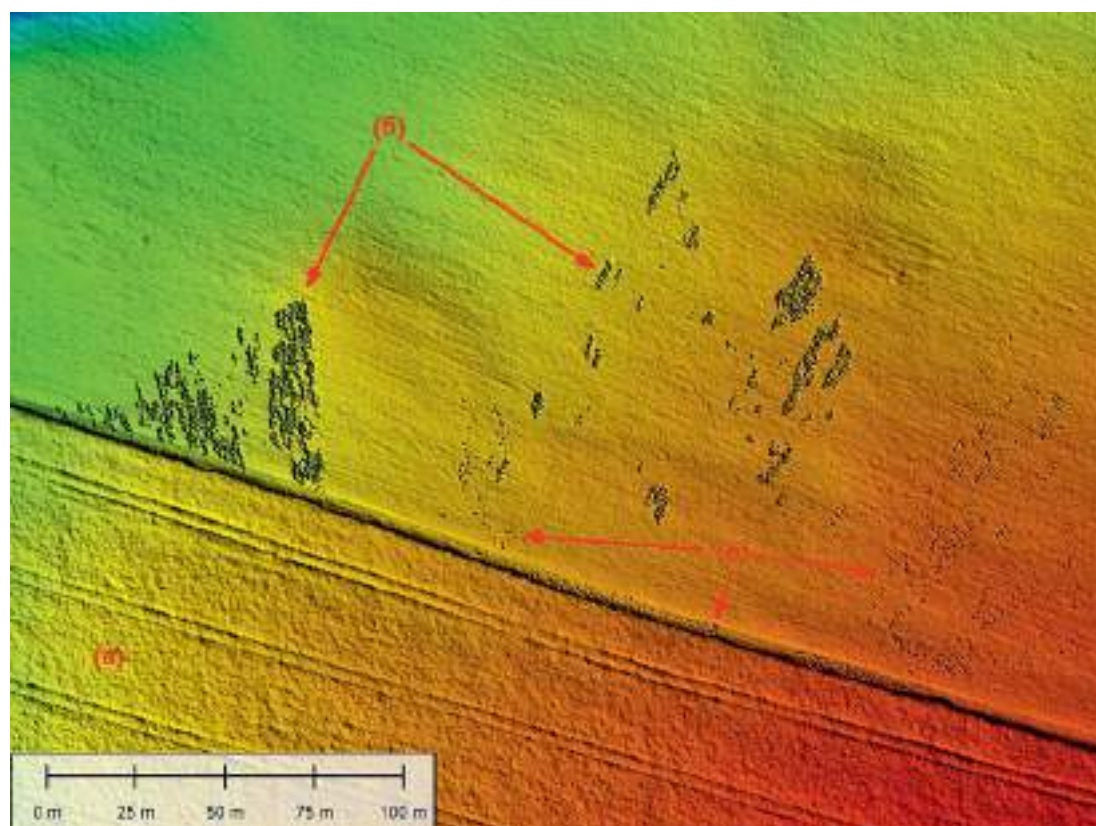


Рис. 3.

Характерные дефекты цифровой модели поверхности, связанные с некорректной работой фотограмметрического алгоритма: а – некорректное определение высоты поверхности на площади, покрытой рапсом; б – положительный «шум»; в – отрицательный «шум». Изображение М. Н. Дараган

с опоясывающим буфером шириной не менее 100 м от гребня вала. Данные в пределах этой зоны можно признать, с рядом ограничений, пригодными для анализа микрорельефа. Ограничения связаны с растительностью – даже на травянистой растительности (посевы рапса) высотой до 60 см фотограмметрический алгоритм вполне предсказуемо усреднил высотные отметки поверхности, что сделало модель на этом участке непригодной для морфометрического анализа. Кроме того, на модели отмечаются артефакты данных, связанные с ошибками алгоритма (рис. 3). Тем не менее пространственные данные, полученные в результате фотограмметрической и постфотограмметрической обработки аэроснимков имеют точность и качество, достаточные для выполнения измерений и анализа морфологии поверхности.

Исследование пространственных данных

Предметом исследования является внутреннее пространство Западного Бельского городища, причём основное внимание сосредоточено на выявлении и картировании зольников; остальные проблемы топографии Западного Бельского городища, как и его археологического и ландшафтного контекста, на настоящем этапе не рассматриваются.

Границы внутреннего пространства городища определяются «внутренним» подножием окаймляющего вала. Это в значительной степени условная линия, так как

исходная геометрия вала (и в особенности его внутреннего ската) существенно нарушена как естественными денудационными процессами, так и наложенными формами искусственного рельефа, связанными с селитроварным производством. Площадь внутреннего пространства городища, измеренная по «внутреннему» подножию вала, составляет $\approx 83,1$ га. В рамках уточнения размеров городища были также измерены площади «по контуру гребня вала» ($\approx 87,7$ га при периметре 3555 м) и «по внешнему краю» ($\approx 103,7$ га). Следует подчеркнуть, что обе эти линии, положение которых определено геоморфологическими методами (выделением «естественных» и «искусственных» граней рельефа), также достаточно условны. Отдельные участки вала сильно разрушены (особенно пострадал юго-западный фас, обращённый к долине р. Сухая Грунь), на южной оконечности городища вал отсутствует. Контур «внешнего края» реконструирован с учётом воздействия денудационных процессов (плоскостный смыв, гравитационное смещение, эрозия временных водотоков) и на отдельных участках нанесён предположительно (рис. 4).

Различная обнажённость поверхности в северной и южной частях городища предопределила различный подход к изучению пространственных данных. Если в северной части городища свежая вспашка позволила беспрепятственно анализировать модели поверхности, то для южной части такой подход применить было невозможно. В обоих случаях выявление объектов выполнялось комбинированным способом, по фототону ортофотоплана и методом математической визуализации рельефа поверхности.



Рис. 4.

Западное Бельское городище. Ортофотоплан с нанесёнными контурами внутреннего пространства городища (оранжевая линия), периметра по гребню вала (красная линия), внешнего края рва (зелёная линия). Изображение М. Н. Дараган

Изучение моделей поверхности

Визуализация рельефа поверхности выполнялась тремя способами (рис. 5):

- а) по превышениям (относительной высоте) ячеек модели;
- б) по углу наклона поверхности;
- в) по экспозиции склона.

Все три способа применялись к трём моделям, с разрешением 50, 25 и 10 см, наилучшую дешифрируемость показала модель с разрешением 25 см. При этом использовалась тонкая настройка схем визуализации, заключающаяся преимущественно в управлении параметрами вертикального преувеличения, подборе оптимального контраста цветовой схемы и динамическом управлении искусственным освещением поверхности (псевдотенями).

Применительно к Западному Бельскому городищу наилучшие результаты показала визуализация по экспозиции склона, позволившая чётко выявить даже незначительные перегибы поверхности. Визуализация по превышениям не дала существенных результатов вследствие незначительности высоты аномалий рельефа – от 11 до 55 см, при перепаде высот в 23 м в пределах внутреннего периметра валов. Тем не менее в некоторых случаях, особенно при применении высококонтрастных цветовых схем, визуализация по превышениям позволила не только правильно интерпретировать взаимоотношения аномалии и «нормальной» поверхности, но и уточнить (в динамическом режиме) контуры аномалий. Визуализация по углу наклона поверхности оказалась практически не применимой для выявления аномалий, однако оказалась полезной при изучении общего ландшафтного контекста памятника.

Общий подход к выявлению аномалий основывался на геоморфологических принципах. Для каждого участка модели оценивалась надёжность исходных данных и выявлялись дефекты модели, не являющиеся отображением реального рельефа. Затем отбраковывались формы, образованные естественными денудационными процессами и обусловленные особенностями геологии памятника, выявлялся антропогенный рельеф. Из элементов антропогенного рельефа картированию не

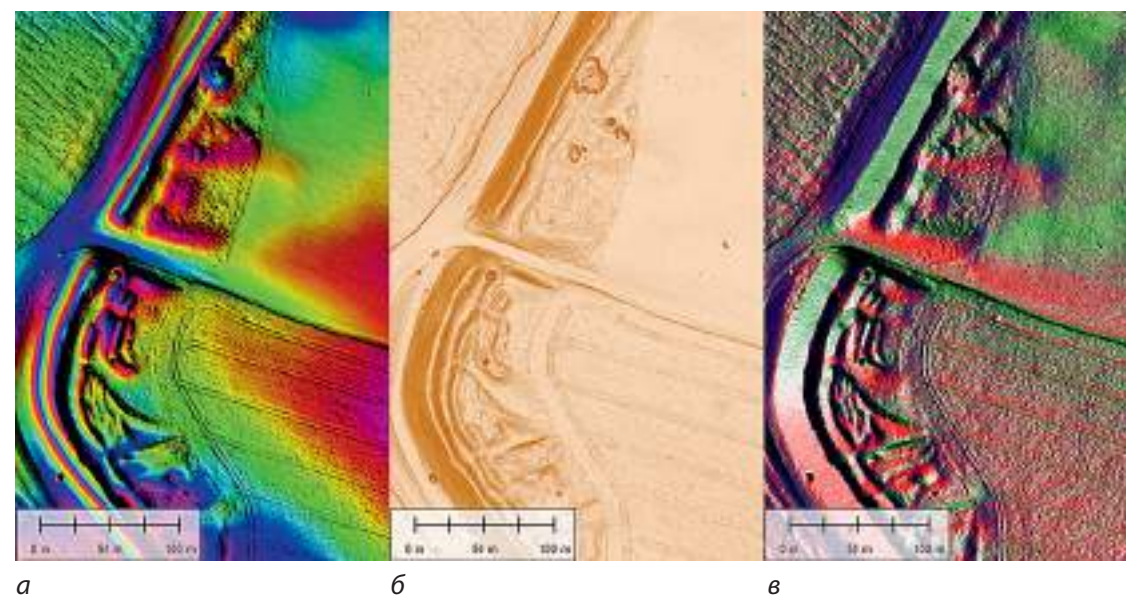


Рис. 5.

Визуализация рельефа поверхности математическими алгоритмами, формирующими цветовые схемы: а – по превышениям; б – по углу наклона поверхности; в – по экспозиции склона. Изображение М. Н. Дараган

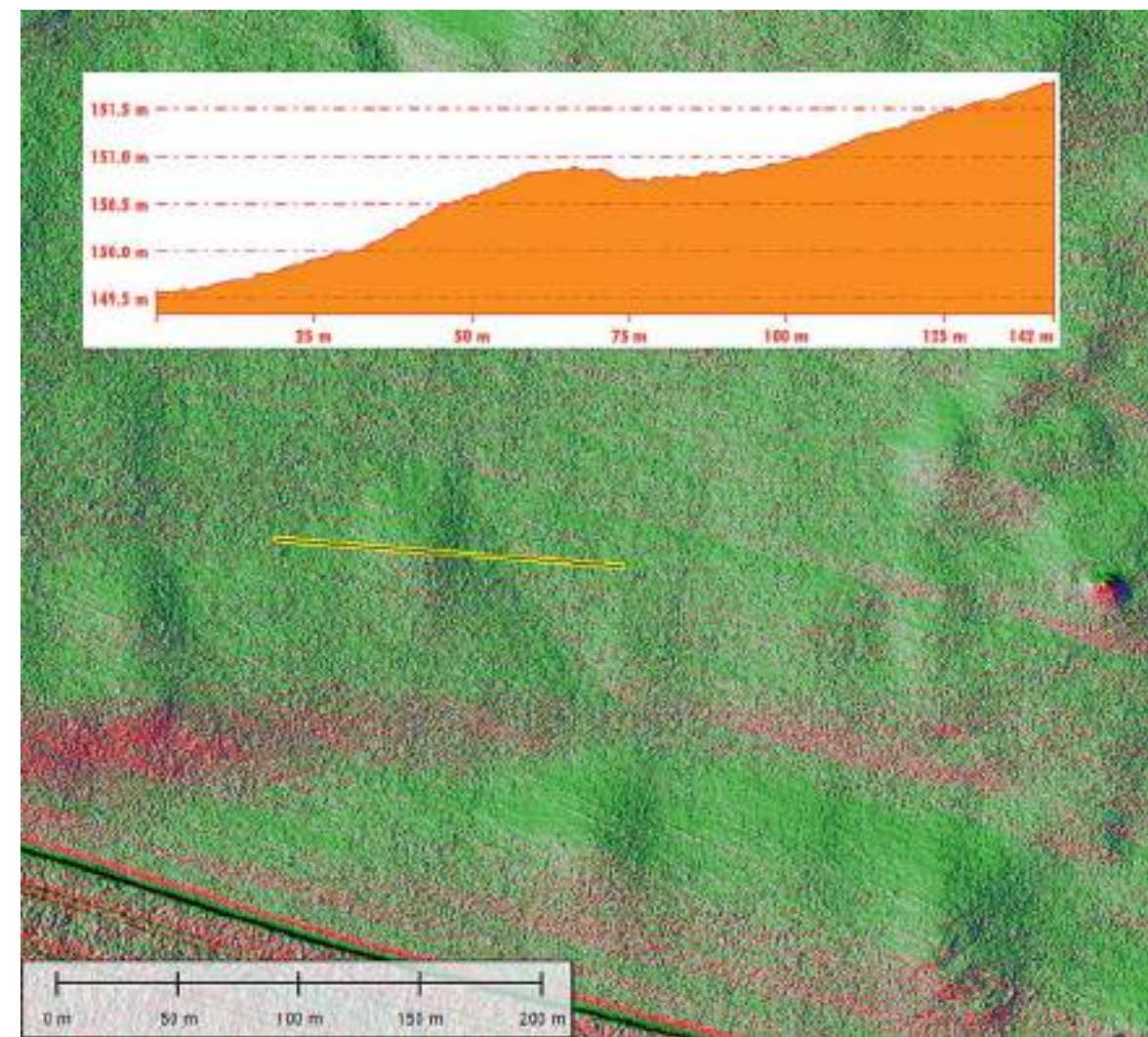


Рис. 6.

Профилирование выявленной аномалии на модели рельефа, визуализированной по экспозиции склона. Изображение М. Н. Дараган

подлежали все структуры, связанные с современной хозяйственной деятельностью, за исключением объектов, имеющих значение ориентиров (заглушённые скважины). Неоконтуривались также валы, рвы и объекты, несомненно связанные с селитроварным производством XVII–XVIII веков. Аномалии, которые могли быть интерпретированы и как зольники, и как следы селитроварения, – оконтуривались.

Аномалии выявлялись преимущественно по перегибам поверхности. При оконтурировании аномалий использовалось профилирование поверхности (рис. 6) с автоматизированным выносом на план положений точек перегиба. Для каждой аномалии определялись контрольные точки контура (от 4 точек для округлых аномалий размером до 30 м в поперечнике до 16 точек для крупных аномалий сложной геометрии). Точки соединялись замкнутыми контурами, при необходимости линия контура дополнительно корректировалась («укладывалась») по рельефу. Безусловно, контуры аномалий рельефа существенно нарушены («размыты») распашкой, однако детальность модели позволяет надёжно идентифицировать линии перегиба. Отбраковка естественных форм рельефа выполнялась обычными геоморфологическими методами.

Изучение фототона ортофотоплана

Опыт анализа совокупностей пространственных данных позволяет в современных условиях считать изучение фототона ортофотоплана необходимым, но скорее вспомогательным (в том числе контрольным) методом. Применительно к Западному Бельскому городищу исследование фототона показало следующие результаты.

Для распаханной территории выявляется два типа аномалий фототона (рис. 7): светло-серые округлые пятна, часто с «размазанным» по направлению вспашки контуром, и бурые округлые, реже вытянутые по направлению распашки пятна.

Для территории, покрытой посевами рапса, характерны два иных типа аномалий фототона (рис. 8): светлые округлые пятна и тёмно-зелёные пятна.

Кроме того, на ортофотоплане отмечаются тёмные пятна, представляющие собой тени от мелких облаков. Иногда они случайным образом совпадают с положением зольников, отмеченных на опубликованных планах, и могут быть ошибочно приняты за аномалии фототона (рис. 9).

Результаты изучения поверхности городища

Северная часть Западного Бельского городища

Изучение цифровой модели поверхности позволило выявить в пределах северной части городища 63 положительные аномалии рельефа (z1–z63, см. рис. 10), расположение которых в некоторых случаях коррелирует с положением 26 «зольников», обозначенных на плане Б. А. Шрамко (z1≈25, z5≈45, z10≈36, z11≈28, z12≈27, z19≈21, z20/54≈46, z22≈61, z24≈20, z43≈18, z25≈48, z29≈16, z32≈19, z31≈26, z34≈52, z35≈53, z36≈14, z37≈4, z38≈3/42, z39≈10, z63≈1, z41≈2, z42≈15, z45≈11/12). Однако положение зольников на старых планах не соответствует реальному положению аномалий рельефа и фототона. Корреляция зольников на плане Б. А. Шрамко с наблюдаемыми аномалиями рельефа существенно затрудняется геометрической неточностью этого плана и сохраняющейся традицией отсутствия инструментальной привязки раскопов (рис. 11). Так, например, аномалия z2 соответствует зольнику 40. Этот зольник исследовался в 1968 году (Гавриш 2016. С. 26) и, по всей видимости, ему соответствует аномалия z4, поскольку в её пределах выявляется контур старого раскопа, единственного в этой части городища (рис. 12). Ещё более характерным примером является раскоп 2015 года, заложенный на зольнике № 13, положение которого явно определено неверно (рис. 13).

Наблюдаемые в северной части городища «светло-серые» аномалии фототона обнаруживают прямую корреляцию с положительными аномалиями рельефа, предположительно являющимися зольниками. Тем не менее наблюдается значительное число положительных аномалий рельефа, не имеющих соответствия в фототоне. Таких аномалий 32, то есть около половины из выявленных. Как правило, это аномалии небольшого, реже среднего размера, часто приуроченные к периферии внутреннего пространства городища. «Светло-серых» аномалий фототона, не имеющих соответствия в рельефе, не обнаруживается. Интерпретировать эти наблюдения можно двумя путями. Либо аномалии рельефа, не имеющие светлой окраски грунта, отличаются от классических зольных насыпей по своему составу (например, содержат меньшее количество «зольного» компонента), либо это вполне классические зольники, ещё не вскрытые распашкой. В последнем случае они могут оказаться ценным объектом будущих исследований.

«Бурые» аномалии фототона не обнаруживают корреляции с аномалиями рельефа, и их природа требует дополнительного полевого изучения.



Рис. 7.

Аномалии фототона ортофотоплана на пашне: а – светло-серые округлые пятна, часто с «размазанным» по направлению вспашки контуром; б – бурые округлые, реже вытянутые по направлению распашки пятна. Изображение М. Н. Дараган



Рис. 8.

Аномалии фототона ортофотоплана на посевах рапса: а – светлые округлые пятна; б – тёмно-зелёные пятна. Изображение М. Н. Дараган



Рис. 9.

Аномалии фототона, не связанные с действительным цветом поверхности – тени от мелких облаков. Изображение М. Н. Дараган



Рис. 10.

Положительные аномалии рельефа в северной части Западного Бельского городища (красный контур) и «бурые» аномалии, не имеющие соответствия в рельефе (коричневый контур). Изображение М. Н. Дараган

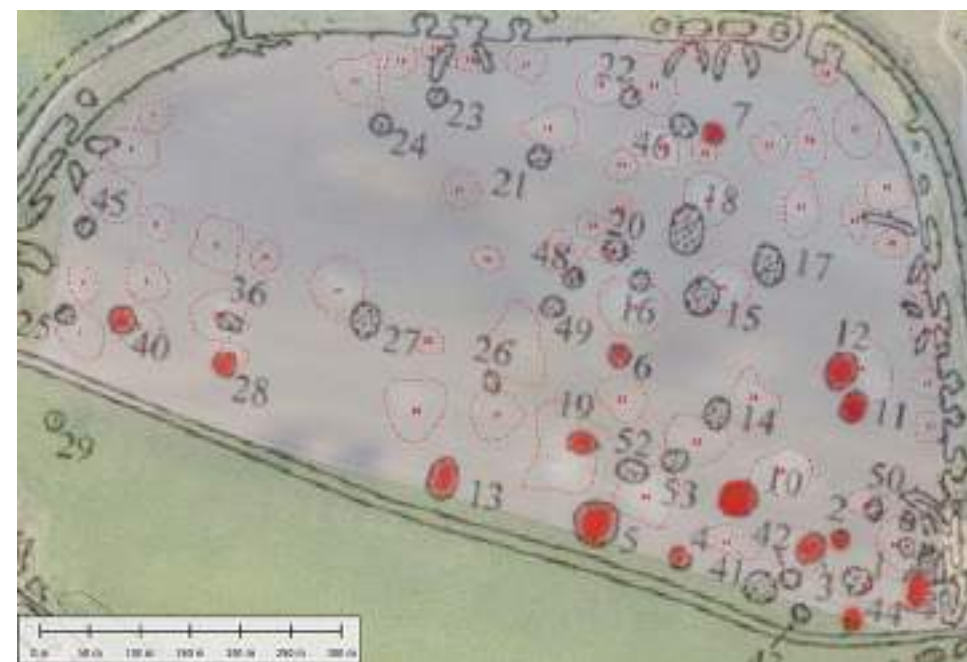


Рис. 11.

Схема соответствия выявленных аномалий зольным насыпям плана Б. А. Шрамко. Красной заливкой показаны зольники, вскрытые раскопками прошлых лет. Вследствие отсутствия сведений об опорной сети исходного плана и существенных искажений геометрии, привязка плана выполнена по характерным точкам линейным способом в прямоугольной системе координат. Изображение М. Н. Дараган

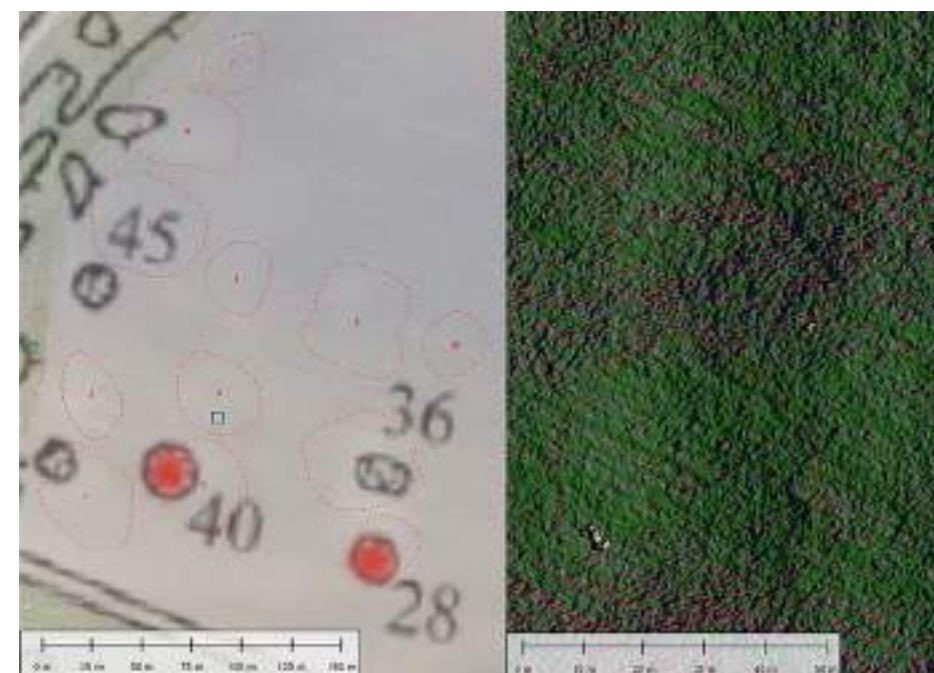


Рис. 12.

Привязка раскопа на зольнике №40 к аномалиям рельефа западной части городища. Синим квадратом показан раскоп, вокруг которого наблюдаются перемещения грунта, отразившиеся в микрорельефе пашни. Несмотря на то, что обозначенный на плане зольник № 40 накладывается на аномалию z2, фактически раскопом вскрыта аномалия № 4. Изображение М. Н. Дараган



Рис. 13.

Привязка раскопа на зольнике № 13 к аномалиям рельефа восточной части городища:
 а – спутниковый снимок 2015 года, сделанный непосредственно во время раскопок;
 б – аэросъёмка того же места 16 августа 2017 года; в – аэросъёмка 2017 года с наложенным планом Б. А. Шрамко. В северной части фрагмента наблюдается характерный ориентир – заглушённая скважина. Сопоставление съёмок 2015 и 2017 годов позволяет заключить, что раскоп заложен на аномалии рельефа z32. Изображение М. Н. Дараган

Южная часть Западного Бельского городища

В южной части городища применение анализа модели поверхности было ограничено наличием травянистой растительности (посевов рапса), эффективно «смазавшей» перегибы рельефа и сделавшей практически невозможным выявление аномалий с малой высотной амплитудой. Однако и в этих условиях непосредственно по модели рельефа удалось выявить шесть положительных аномалий, пространственно соответствующих части из 14 зольников, обозначенных на плане Б. А. Шрамко (1968). Изучением фототона территории в южной части городища, на момент съёмки покрытой рапсом, было выявлено 27 «светлых» округлых пятен. Четыре пространственно совпали с аномалиями рельефа, обнаруженными на моделях. При этом, как правило, контур светлого пятна либо совпадал с контуром аномалии рельефа, либо был существенно меньше его. Экстраполируя материалы наблюдений в северной части городища на его южную часть и сопоставляя их с результатами изучения фототона, можно предполагать, что после выполнения новой аэрофотосъёмки в благоприятных условиях, в южной части городища возможно выявление новых зольников, в большинстве небольших и приуроченных к периферии внутреннего пространства городища. Несомненно, как удельная плотность зольных насыпей, так и занимаемая ими территория в южной части городища меньше, чем в северной.

Помимо светлых аномалий в южной части городища наблюдаются два больших по размеру тёмно-зелёных пятна, не обнаруживающих пространственной корреляции с элементами рельефа и, предположительно, связанных с вариациями химического состава или увлажнённости почвенного слоя. Их природа также требует полевого изучения (рис. 14).

Общие наблюдения

При изучении моделей рельефа Западного Бельского городища помимо положительных аномалий рельефа, интерпретируемых как зольники, был выявлен ряд форм, предположительно имеющих антропогенное происхождение.

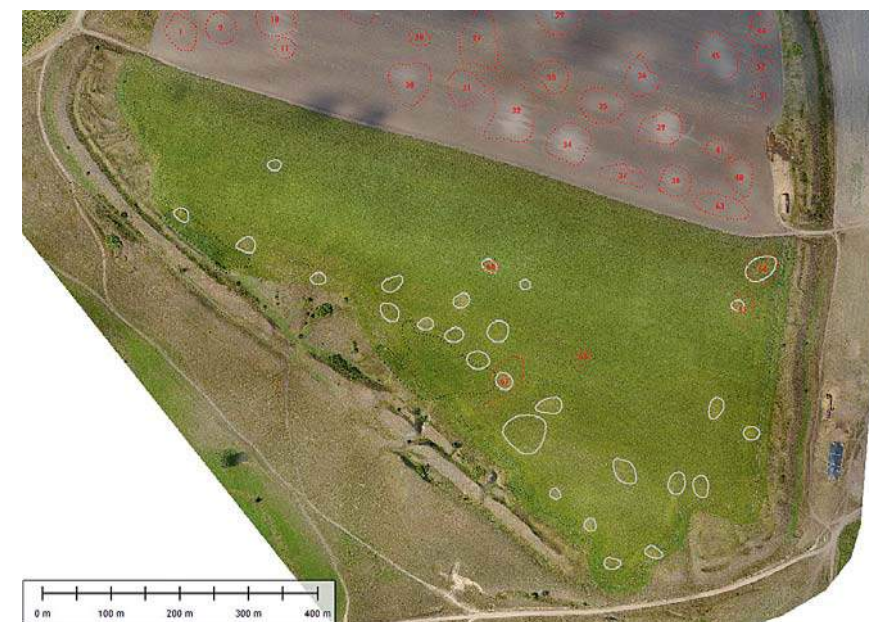


Рис. 14.

Положительные аномалии рельефа в южной части Западного Бельского городища (красный контур), «светлые» аномалии, предположительно связанные с зольниками (белый контур) и «тёмно-зелёные» аномалии, связанные с вариациями химического состава или увлажнённости почвенного слоя (коричневый контур). Изображение М. Н. Дараган

В центральной части городища анализом модели поверхности по экспозиции склона и конфигурации горизонталей выявляется линейная аномалия рельефа, по своей морфологии представляющая выраженный дугообразный уступ шириной от 10 до 20 м (рис. 15). На отдельных участках поверхность уступа осложнена понижениями,



Рис. 15.

Линейная аномалия на склоне северо-западной экспозиции в северной части городища. Цифровая модель поверхности, визуализированная по экспозиции склона. Изображение М. Н. Дараган

параллельными общему направлению этой структуры. В направлении западного и восточного въездов в городище этот уступ переходит в хорошо выраженные линейные понижения глубиной до 15 см, примыкающие к современной сквозной дороге. Общая протяжённость этой аномалии рельефа составляет около 830 м; аномалия не согласуется с естественным рельефом и пересекает направление падения склона под разными углами. В фототоне эта линейная аномалия практически не отражена.

Территория к северу от описанной выше аномалии рельефа (фактически вся северная половина городища) имеет достаточно выраженный грядовый (волнистый) рельеф (рис. 16 и 17). Особенно хорошо гряды выражены в северо-восточной части городища, где они имеют высоту до 40–50 см. В северо-западной части городища

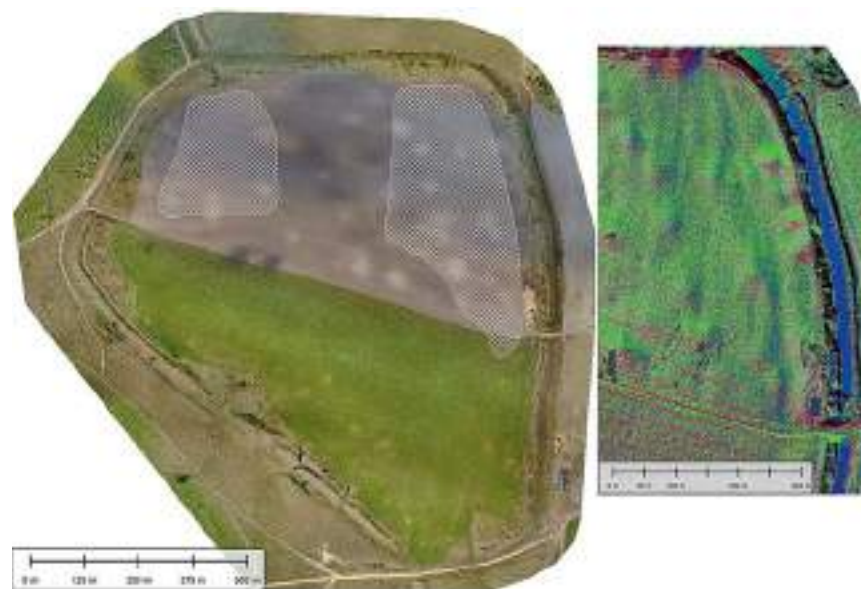


Рис. 16.

Расположение и морфология зон волнистого (грядового) рельефа в северной части городища.
Изображение М. Н. Дараган



Рис. 17.

Перспективный вид на грядовый рельеф в северо-восточной части городища. Вид от дороги в северном направлении. Искусственное освещение – «закатное», с запада (с истинного азимута 260 градусов) под углом 20 градусов от горизонта.
Изображение М. Н. Дараган

высота гряд не превышает 20 см. Высота и амплитуда гряд непостоянна, простираются гряд в целом соответствует направлению север-юг, в северо-восточной зоне они несколько отклоняются к востоку (истинные азимуты 5–7 градусов). Гряды осложнены аномалиями, интерпретируемыми как зольники, которые «размывают» регулярность «волн» рельефа. Местность между северо-западной и северо-восточной зонами выраженного грядового (волнистого) рельефа достаточно ровная, но также обнаруживает следы гряд, уничтоженных плоскостным смывом. Ориентация гряд не согласуется с естественным рельефом и, за редкими исключениями, не совпадает с направлением падения склона.

В южной части городища имеется вытянутое открытое пространство, приуроченное к слабо выраженному ребру рельефа, разделяющему склоны северо-западной и юго-западной экспозиции. Фактически оно разделяет северную и южную зоны «застройки» и доминирует над ними. Разведочная траншея длиной 50 м, заложенная вкост этого пространства, показала отсутствие археологических объектов и слабую насыщенность находками (Шрамко, Задніков 2014. С. 226).

В пределах Западного Бельского городища наблюдается также ряд аномалий рельефа, непосредственно не связанных с археологическими объектами (рис. 18). Среди них можно отметить аномалию размером 9,5 × 6,0 м, представляющую прямоугольный валик высотой в первые сантиметры, практически уничтоженный распашкой. Ещё две положительные аномалии рельефа, максимальным размером до 25,0 м, отмечаются в южной части городища. Возможно, эти объекты связаны с селитроварным

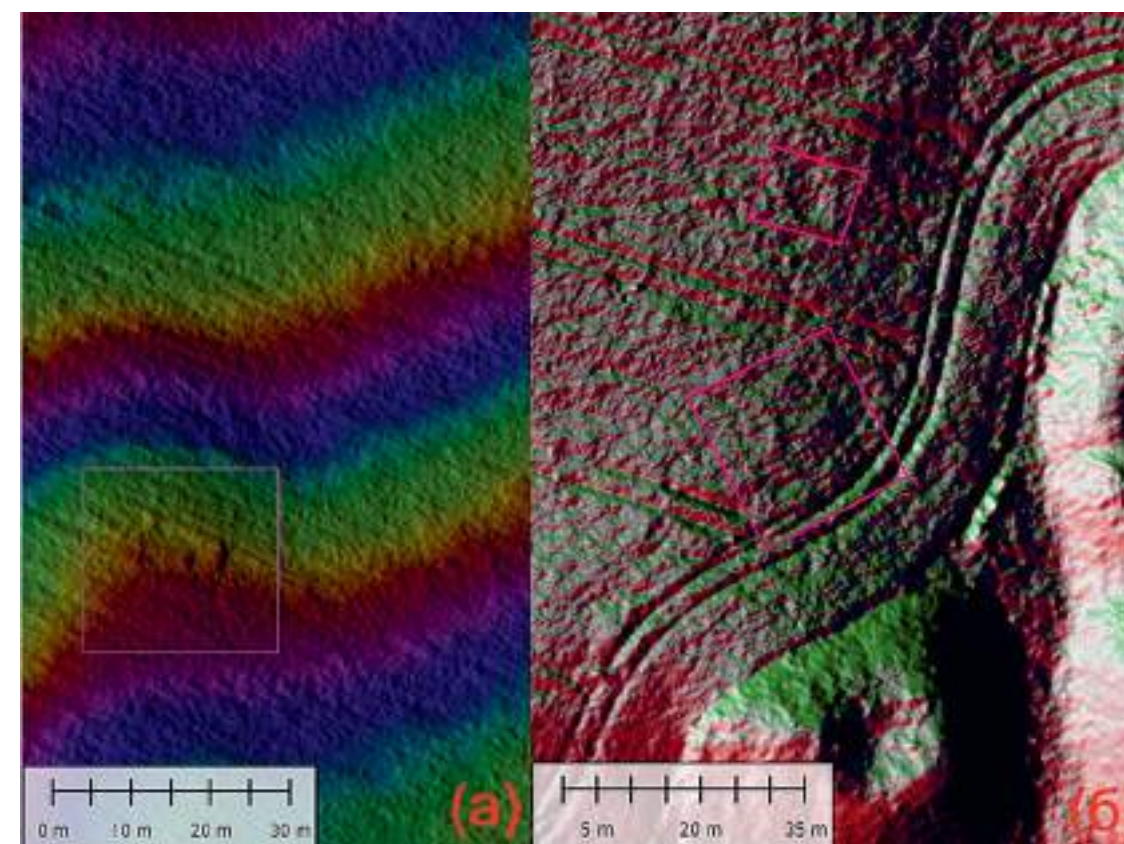


Рис. 18.

Примеры аномалий рельефа, не связанных с археологическими объектами.
Изображение М. Н. Дараган

производством XVII–XVIII веков. Кроме того, в пределах периметра валов отмечено четыре аномалии, связанные с заглушёнными разведочными скважинами. Следует отметить, что даже относительно свежие раскопы прошлых лет на пашне выявляются плохо, хотя и могут быть, при благоприятных обстоятельствах, дешифрованы на моделях рельефа.

Выводы

Морфология поверхности Западного Бельского городища

1. Можно уверенно утверждать, что в пределах Западного Бельского городища надёжно выявляется не менее 68 положительных аномалий рельефа, интерпретируемых как «зольники» – 63 в северной части и 5 – в южной. При этом можно предполагать, что в южной части новой съёмкой по свежей пашне будет выявлено не менее 20 новых аномалий рельефа и общее их число в пределах городища заведомо превысит 70 и может достичь 90. Возможно, не все они являются «зольниками» в классическом понимании этого термина, однако антропогенное происхождение аномалий вполне подтверждается их морфологией и взаимным расположением.

2. Морфология поверхности северной и южной частей городища совершенно различна. Для северной части, приуроченной к склону северо-западной экспозиции, характерно широкое распространение крупных и средних положительных аномалий рельефа и участки грядового (волнистого) рельефа. В южной части, расположенной на склоне юго-западной экспозиции, наблюдаются относительно немногочисленные и небольшие по размеру положительные аномалии, грядовой рельеф отсутствует. Граница между северной и южной частями городища приблизительно соответствует ребру рельефа, отделяющему склоны северо-западной и юго-западной экспозиции.

3. Уступ в центральной части городища можно интерпретировать как искусственное сооружение, вероятно, созданное на раннем этапе существования городища и впоследствии преобразованное в проезжую дорогу. В некоторых местах поверхность уступа отчасти перекрывается краевыми частями положительных аномалий рельефа. Именно с этими аномалиями связан наиболее древний археологический материал второй половины VIII века до н. э., выявленный в зольниках № 19 и 5, пространственно соответствующих аномалиям рельефа z33 и z34 соответственно (Шрамко 2006. С. 34–42; Дараган 2011. С. 562, 563). В одном случае положительная аномалия (z38) накладывается непосредственно на понижение, являющееся восточным продолжением уступа.

4. Распространение положительных аномалий рельефа в пределах северной части городища крайне неравномерно и обнаруживает определённые закономерности. На южном краю северной части городища по обе стороны от уступа группа аномалий располагается в форме двух субпараллельных линий. Эта группа расположена близ геометрического центра городища, но гипсометрически не занимает доминирующего положения и не приурочена к каким-либо естественным перегибам рельефа. Группа включает наиболее крупные аномалии Западного Бельского городища, а также аномалии с наиболее древним археологическим материалом. В западной части городища располагается компактная группа аномалий, имеющая в плане форму равнобедренного треугольника, направленного вершиной на восток. При этом северная сторона этого треугольника может рассматриваться как продолжение северной линии описанной выше группы. Остальные положительные аномалии рельефа располагаются либо дугообразными линиями, ориентированными по простиранию склона, либо также дугообразными линиями, но расположенными вдоль валов городища. Число аномалий, не укладывающихся в эти закономерности, не превышает 15 %.

5. Ещё одним интересным элементом являются овальные в плане «незастроенные» пространства площадью около одного гектара, со всех или почти со всех сторон окружённые положительными аномалиями рельефа. Морфология поверхности таких пространств близка к естественной поверхности склона. Наиболее ярко выражено «незастроенное пространство» в северо-восточной части городища. Ещё большую площадь (не менее трёх гектаров) имеет открытое пространство, приуроченное к наиболее низкой северо-западной части городища (рис. 19).

6. Расположение достоверно выявленных и предполагаемых по фототону положительных аномалий рельефа в южной части городища не обнаруживает описанной выше чёткой «геометризации». Для этого участка характерно расположение аномалий в виде непрямолинейных цепочек, направление которых имеет слабую связь с рельефом; аномалии расположены на относительно больших расстояниях друг от друга.

7. Безусловно, значение описанной выше «геометризации» взаимного расположения положительных аномалий рельефа нельзя преувеличивать, однако и случайным такое расположение считать трудно, оно несомненно обусловлено комбинацией естественных причин и культурных традиций и может, до определенной степени, оказаться ключом к пониманию истории памятника.

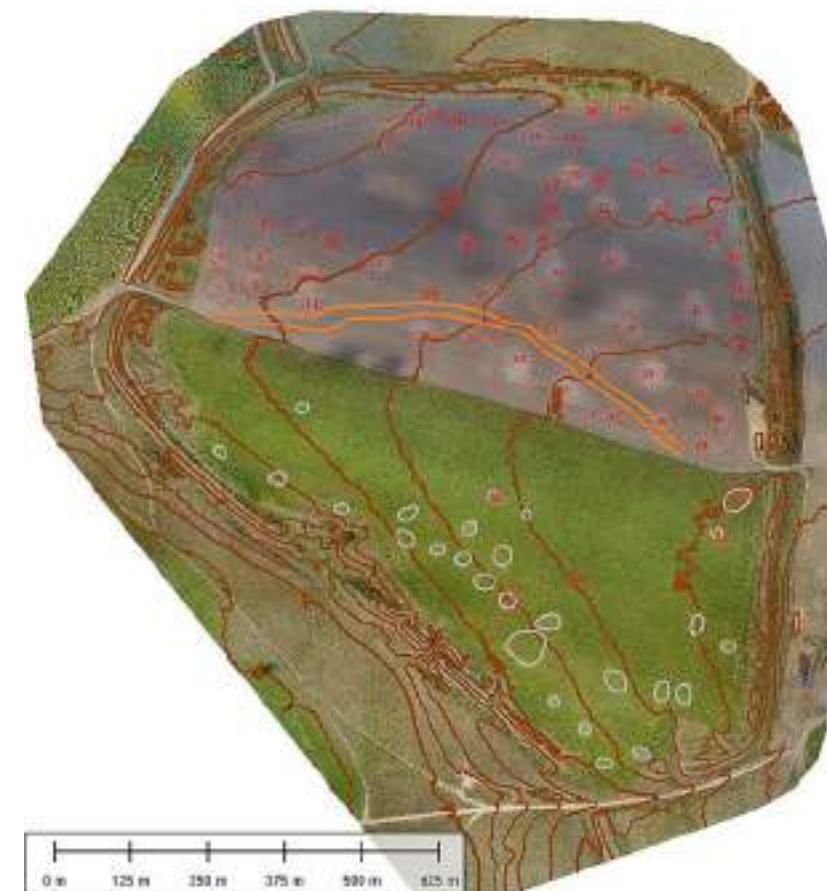


Рис. 19.

Сводная схема результатов исследования поверхности Западного Бельского городища. Заложение горизонталей 5 м, горизонтали построены по цифровой модели поверхности в автоматическом режиме без коррекции на растительность. Для покрытой посевами рапса южной части городища вертикальная ошибка составляет около +0,6 м. Изображение М. Н. Дараган

8. В качестве рабочей схемы можно предположить следующую последовательность формирования рельефа внутреннего пространства Западного Бельского городища:

I этап. Появление неукреплённого селища, вытянутого по ребру рельефа, разделяющего склоны юго-западной и северо-западной экспозиции (середина VIII века до н. э.). Начало формирования наиболее крупных зольников.

II этап. Сооружение уступа и, возможно, его укрепление.

III этап. Появление «линейного» поселения «на уступе», расширение поселения на север от уступа, вниз по склону, предполагаемое расширение уступа в сквозной проезд.

IV этап. Расцвет и расширение городища, появление групп аномалий рельефа, расположенных по изогипсам (по простиранию склона).

V этап. Строительство валов и рвов (не ранее середины VII века до н. э. и не позднее второй половины VI века до н. э.), смещение главного проезда через городище на юг и укрепление его на ребре рельефа, разделяющем склоны северо-западной и юго-западной экспозиции. Возрастание плотности населения, возможное его перемещение в пределы периметра валов. Формирование поселения с производственными комплексами к юго-западу от городища.

VI этап. Появление мелких аномалий рельефа (в том числе зольников) вдоль валов, вероятное укрепление «незастроенных пространств».

VII этап. Упадок городища, уход населения (начало или середина V века до н. э.), консервация рельефа.

VIII этап. Разрушение валов деятельностью, связанной с производством селитры (XVII–XVIII века).

IX этап. Распашка внутреннего пространства городища (XIX–XXI века).

Методологические соображения

1. Картирование методом моделирования поверхности на основе данных аэрофотосъёмки является точным и эффективным способом документирования памятников археологии, расположенных на открытой (не покрытой растительностью) местности.

2. Применение анализа трёхмерных моделей поверхности с применением средств математической визуализации даже на распаханной местности позволяет выявлять новые объекты даже на хорошо исследованных памятниках.

3. Изучение территории памятника по ортофотопланам, отдельным аэрофотоснимкам и спутниковым снимкам высокого разрешения не может заменить анализа моделей рельефа, так как наблюдаемые в рельефе аномалии сплошь и рядом не фиксируются по фототону.

4. Трёхмерная модель рельефа, полученная фотограмметрическим способом, позволяет (при условии правильного использования средств математической визуализации) даже с применением камеры относительно низкого разрешения надёжно выявлять аномалии рельефа типа «зольник» высотой от 10 см.

5. Метод анализа трёхмерных моделей поверхности с применением средств математической визуализации можно рекомендовать для применения на аналогичных памятниках. Представляется рациональным использовать его для всей территории Бельского городища и его непосредственного окружения с тем, чтобы получить единую надёжную основу для дальнейших работ и определить не выявленные до настоящего времени объекты.

ЛИТЕРАТУРА

Гавриш 2016

Гавриш П. Більське городище (місто Гелон): реалії і міфи. Полтава, 2016.

Городцов 1911

Городцов В. А. Дневник археологических исследований в Зеньковском уезде Полтавской губернии в 1906 г. // Труды XIV Археологического съезда. 1911. Т. 3. С. 93–161.

Дараган 2011

Дараган М. Н. Начало раннего железного века в Днепровской Правобережной Лесостепи. Киев, 2011.

Кушнір, Кушнір 1999

Кушнір Л. Л., Кушнір Л. М. Про географічне положення Більського городища // Полтавський археологічний збірник. Полтава, 1999. С. 106–120.

Мурзін и др. 1999

Мурзін В., Ролле Р., Супруненко О. Більське городище. Київ ; Гамбург ; Полтава, 1999.

Шрамко 1958

Шрамко Б. А. Отчёт о разведках и раскопках археологической экспедиции Харьковского Гос. Университета. 1958 // НА ИА НАНУ. № 1958/31.

Шрамко 1975

Шрамко Б. А. Крепость скифской эпохи у с. Бельск – город Гелон // Скифский мир. Киев, 1975. С. 94–132.

Шрамко 1987

Шрамко Б. А. Бельское городище скифской эпохи (город Гелон). Киев, 1987.

Шрамко 2006

Шрамко І. Б. Ранній період в історії геродотівського Гелону (за матеріалами розкопок зольника № 5) // Більське городище та його округа (до 100-річчя початку польових досліджень). Київ, 2006. С. 33–56.

Шрамко 2012

Шрамко І. Б. Зольники Западного Бельского городища: планиграфия и хронология // Славяне Восточной Европы накануне образования Древнерусского государства : материалы Междунар. конф., посвященной 110-летию со дня рождения Ивана Ивановича Ляпушкина (1902–1968). СПб., 2012. С. 168–172.

Шрамко, Задніков 2014

Шрамко І. Б., Задніков С. А. Дослідження Більського городища // Археологічні дослідження в Україні 2013. Київ, 2014. С. 225–226.

Svoiski, Romanenko 2013

Svoiski Y., Romanenko E. Ver lo invisible : El levantamiento aéreo con escáner láser y su aplicación práctica para los estudios arqueológicos // Antes de Orellana – Actas del 3er Encuentro Internacional de Arqueología Amazónica. Quito, 2013. P. 451–462.

А. В. Зубова
Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого
(Кунсткамера) РАН, РФ,
Институт археологии и этнографии СО РАН, РФ

А. М. Кульков
Ресурсный центр рентген-дифракционных методов исследований
СПбГУ, РФ

В. Г. Моисеев, В. И. Хартанович
Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого
(Кунсткамера) РАН, РФ

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНОГО 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОДОНТОЛОГИЧЕСКИХ НАХОДОК ЭПОХИ ПАЛЕОЛИТА ИЗ КОЛЛЕКЦИЙ МАЭ РАН¹

Введение

Применение виртуальных 3D-реконструкций в палеоантропологических и биоархеологических исследованиях имеет огромные перспективы. Различные их варианты внедряются в исследовательскую практику уже не первое десятилетие и по достоинству оцениваются специалистами. Основная причина, по которой эти технологии обрели популярность, – это возможность избежать повреждений уникальных палеоантропологических находок при морфометрических исследованиях, экспонировании их на выставках, использовании для демонстрации в учебном процессе. Кроме того, применение различных методов компьютерной томографии позволяет моделировать и изучать внутренние структуры биоархеологических объектов, что существенно расширяет их информационные возможности.

За последние два десятилетия компьютерная микротомография стала обычным исследовательским методом в палеопатологии, остеологии, эволюционной антропологии. Особенно широкое применение она нашла в палеоодонтологических исследованиях, основной задачей которых является определение таксономического статуса популяции, анализ её биологических связей и экологических особенностей на основании характеристик зубов человека, обнаруживаемых на археологических объектах. Наиболее распространённая область применения микротомографии – сканирование для последующей 3D-реконструкции коронки и виртуального удаления слоя стёртой или повреждённой эмали. Это позволяет описать морфологию граничащей со слоем эмали поверхности дентина. Она заменяет внутренний эпителий эмали формирующегося зубного зачатка, и её строение в целом соответствует внешнему рельефу коронки (Martin et al. 2017).

Первоначально морфологическое обследование на границе дентина и эмали методически дублировалось с описанием внешней поверхности зуба. Фиксировались

одни и те же признаки по одним и тем же схемам учёта (см., например, Skinner et al. 2008, Bailey et al. 2011). По мере накопления данных стало ясно, что строение внутренних тканей коронки может также использоваться как самостоятельный источник информации о процессе морфогенеза и эволюционном статусе изучаемых образцов. Соответственно, были выделены новые таксономически значимые маркеры, быстро вошедшие в практику исследований (Benazzi et al. 2011; Benazzi et al. 2013; Zanolli, Mazurier 2013; Martin et al. 2017; Martin-Francés et al. 2017; Ortiz et al. 2017). Но несмотря на то, что в мировой практике анализ морфологии дентино-эмалевой поверхности стал обязательной процедурой при работе с палеолитическими образцами, в России он до сих пор не используется.

В 2017 году отделом антропологии МАЭ РАН и Центром рентгено-дифракционных исследований СПбГУ был начат совместный проект, направленный на изучение изолированных одонтологических образцов эпохи палеолита с помощью компьютерной томографии. В числе прочих были обследованы два постоянных верхних вторых моляра с проблематичным таксономическим статусом, найденные на мустьерских стоянках юга России. Оба зуба происходят из относительно поздних слоёв, и основной задачей стало определение того, принадлежат ли они *Homo neanderthalensis* или *Homo sapiens*. Несмотря на то, что внешняя морфология коронок обеих находок была изучена по всем возможным программам (описание методов см. в: Зубов 2006; Зубов, Халдеева 1995; Turner et al. 1991; Bailey 2002), таксономический статус индивидов, которым принадлежали обследованные моляры, оставался неопределённым из-за того, что эта категория зубов характеризуется повышенной вариабельностью и слабой концентрацией апоморфных признаков, значимых для видовой диагностики.

Материалы и методы

Первый из образцов (рис. 1) был обнаружен в позднемустьерском слое 3 (1) Ахштырской пещерной стоянки, расположенной на черноморском побережье Северного Кавказа. Он представляет собой постоянный верхний правый моляр взрослого индивида в возрасте 25–30 лет. Датировка самого слоя составляет 37 000–32 000 лет до н. э. (Чердынцев и др. 1965), но зуб был обнаружен в верхней его части

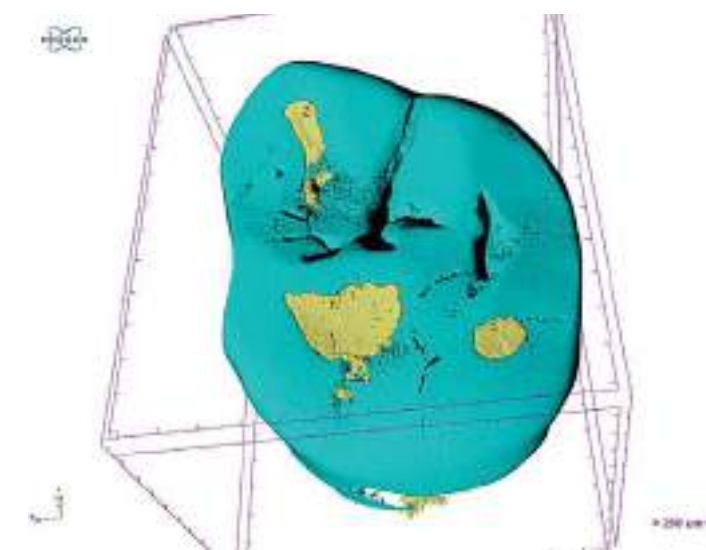


Рис. 1.
3D-реконструкция внешнего вида коронки моляра Ахштырская 1. Рисунок А. М. Кулькова

¹ Исследование выполнено при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН «Памятники материальной и духовной культуры в современной информационной среде».

на пристенном участке пещеры, где мустьерские артефакты смешаны со следами более поздних эпизодов посещения пещеры людьми (Кулаков 2015). находка была найдена при промывке, так что строго связать её с какой-либо группой артефактов невозможно. Внешние характеристики коронки и корней зуба позволили в своё время предполагать его принадлежность ископаемому человеку современного вида – *Homo sapiens fossilis* (Векилова, Зубов 1972).

Дополнительное обследование, проведённое в 2016 году, позволило определить вероятную принадлежность зуба индивиду мужского пола и зафиксировать на нём целый ряд архаичных признаков, сближающих находку из Ахштырской пещеры с более ранними формами в пределах рода *Homo*. Специфические маркеры неандертальского комплекса во внешнем строении коронки отсутствуют, но размеры её мезио-дистального и вестибуло-лингвального диаметра попадают на границу пределов значений, свойственных неандертальским и сапиентным находкам (Зубова и др. 2017).

Вторая находка представляет собой верхний второй левый моляр молодого индивида в возрасте 20–25 лет (рис. 2), обнаруженный Н. Д. Прасловым при раскопках мустьерской стоянки Рожок 1, расположенной в Ростовской области на побережье Таганрогского залива. Зуб был найден в квадрате Z-4 четвёртого мустьерского горизонта (Праслов 1968). В настоящее время памятник изучается Приазовской экспедицией ИИМК РАН (при поддержке РФФИ, проект 17-06-00355), и по результатам работ отмечается, что индустрии 4-го горизонта демонстрируют индустрии среднепалеолитического облика, которые позволяют отнести этот комплекс к микокской среднепалеолитической общности (эпоха МИС 3).

Предварительное обследование находки было выполнено А. А. Зубовым. Он констатировал малое количество архаических черт в строении коронки, без уточнения их состава, и пришёл к заключению, что, по всей видимости, зуб принадлежал *Homo sapiens*. Однако он отметил, что небольшой процент сапиентных зубов встречается и у неандертальцев, поэтому категоричный вывод сделать невозможно (цит. по: Праслов 1968). Дальнейшие исследования показали присутствие значительного количества архаичных элементов в морфологии коронки, не свойственных

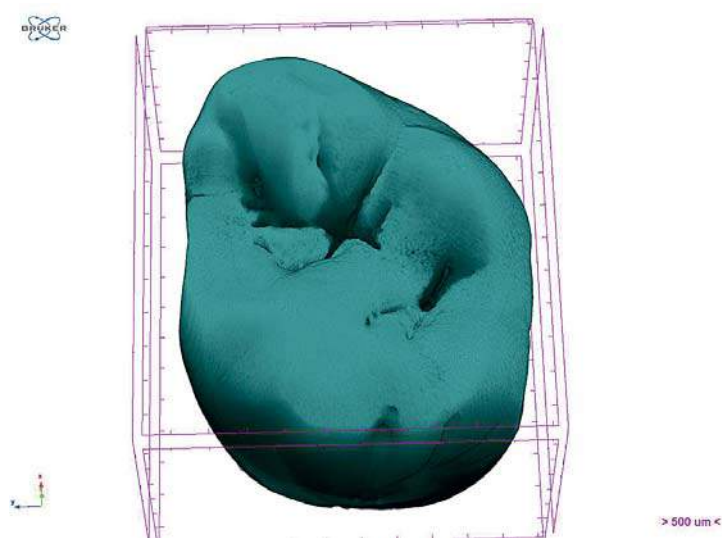


Рис. 2.

3D-реконструкция внешнего вида коронки моляра Рожок 1. Рисунок А. М. Кулькова

современным людям, но не позволяющих точно определить её видовую принадлежность. Метрические характеристики зуба оказались ближе к верхнепалеолитическим образцам, чем к неандертальским. Статистическими методами была определена вероятная принадлежность индивида, которому принадлежал зуб, к женскому полу (Зубова и др. 2017).

Методы

Для обеих находок была выполнена компьютерная микротомография. Зубы сканировались на рентгеновском микротомографе Skyscan-1172 при напряжении на трубке 100 кВ и силе тока 100 мкА без фильтра. Шаг вращения 0,25 градусов, усреднение по трём кадрам. Разрешение 3,45 мкм/пиксель. Реконструкция данных проводилась при помощи программы NRecon (Bruker-microCT). В программе CTAn (Bruker-microCT) была построена цифровая 3D-модель каждого образца и произведено виртуальное разделение дентина и эмали. Визуализация оцифрованной модели проводилась в программе CTVOX (Bruker-microCT).

После реконструкции на каждом зубе определялась форма окклюзивной поверхности и наличие или отсутствие девяти признаков: редукции гипоконуса и метаконуса, передней и задней ямки, плагиокристы (с определением типа по: Martin et al. 2017), эпикристы, C5, бугорка Карабелли, центрального положения вершин рогов дентина. Также фиксировались особенности одонтоглифического узора.

Результаты и выводы

Ахштырская 1

Морфологические признаки, наблюдаемые на реконструкции поверхности дентина моляра Ахштырская 1 (рис. 3), складываются в комбинацию нейтральных морфологических элементов и маркеров общей архаики, так же как и комплекс характеристик внешней поверхности эмали. Признаки неандертальской специализации отсутствуют.

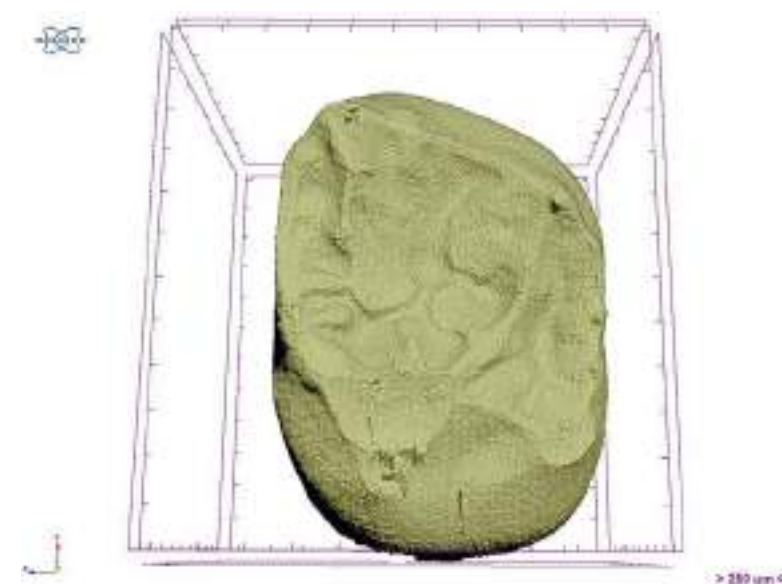


Рис. 3.

3D-реконструкция поверхности на границе дентина и эмали моляра Ахштырская 1. Рисунок А. М. Кулькова

Окклюзальная поверхность имеет трапецевидную форму, удлинённую в мезио-дистальном направлении. Присутствует нередуцированный гипоконус, умеренно редуцированный метаконус, формирующий слабо скошенный дисто-вестибулярный угол, задняя ямка, непрерывный косой гребень (плагиокриста). Тип последнего определить затруднительно, так как точка его соединения с протоконусом попадает в область стёртости. Мезиальный и дистальный краевые гребни пролегают практически по рёбрам коронки, выступание базальной части коронки за их пределы незначительно. Между гипоконусом и метаконусом краевой гребень прерван межбугорковой фиссурой. Одонтоглифический узор очень сложен. Он представлен основными бороздами всех бугорков, включая гипоконус, дублирующими их элементами на протоконусе и параконусе, трирадиусом 1^{ме}, фиссурами, разделяющими осевой гребень протоконуса и параконуса в продольном направлении. Вершины рогов дентина на всех бугорках расположены на краевых гребнях.

Рожок 1

Внутреннее строение коронки этого зуба заметно отличается от внешнего (рис. 4). Окклюзальная поверхность имеет трапецевидные очертания, с сильно скошенным дисто-вестибулярным углом, тяготеющие к ромбовидной форме. Она заметно меньше по площади, чем базальная часть коронки, и окружена системой непрерывных краевых гребней, в дистальном и мезиальном отделах заметно смещённых к центру. Вершины метаконуса, протоконуса и параконуса также сдвинуты центрально, что более типично для неандертальских находок, чем для *Homo sapiens* (Martin et al. 2017). В этот же комплекс укладывается тип II хода плагиокристы, который встречен на 75 % неандертальских M2 и только на 25 % современных образцов (Martin et al. 2017. Tab. 11), скошенность дисто-вестибулярного угла и центральное расположение окклюзивной площадки. Остальные признаки, так же как и у моляра из Ахштырской пещеры, укладываются в нейтрально-архаичный комплекс. В него входит отсутствие сильной редукции гипоконуса, присутствие зачатков C5, дополнительных мезиальных

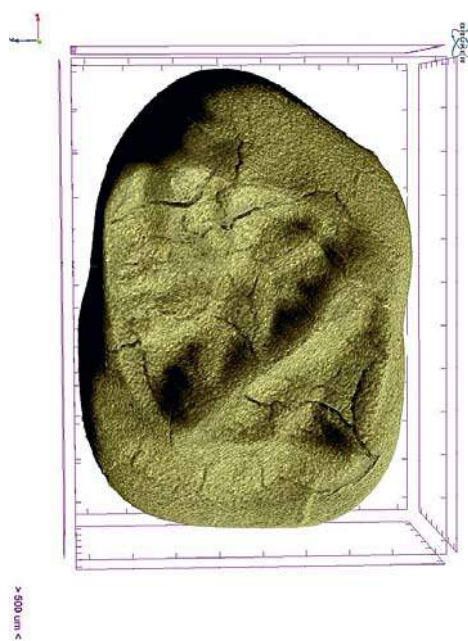


Рис. 4.

3D-реконструкция поверхности на границе дентина и эмали моляра Рожок 1.
Рисунок А. М. Кулькова

бугорков, задней ямки. Одонтоглифический узор коронки представлен основными туберкулярными бороздами всех бугорков, дублирующими элементами на протоконусе, метаконусе и параконусе, фиссурами, разделяющими осевой гребень протоконуса и параконуса в продольном направлении, дополнительными трирадиусами межбугорковых фиссур в мезиальном и дистальном отделах.

Результаты исследования показали, что даже в весьма спорных случаях анализ рельефа дентина на границе с внутренним слоем эмали даёт большие возможности для таксономической диагностики, чем изучение морфологии внешней поверхности. При общей «нейтральной архаичности» внешнего строения эмаливого чехла моляров из Ахштырской пещеры и Рожка, 3D-реконструкция подлежащих тканей наглядно демонстрирует отклонение модели формирования коронки находки Рожок I в сторону неандертальских комплексов, отсутствующее у зуба из Ахштырской пещеры. Это согласуется с археологическим статусом находки, поскольку среднепалеолитическая микокская культурная общность, к которой относятся комплексы из 4-го культурного горизонта стоянки Рожок, традиционно соотносится с распространением представителей вида *Homo neanderthalensis*.

ЛИТЕРАТУРА

Векилова, Зубов 1972

Векилова Е. А., Зубов А. А. Антропологические остатки из мустьерских слоев Ахштырской пещеры // Краткие сообщения ИА АН СССР. 1972. Вып. 131. С. 61–65.

Зубов 2006

Зубов А. А. Методическое пособие по антропологическому анализу одонтологических материалов. М., 2006.

Зубов, Халдеева 1995

Зубов А. А., Халдеева Н. И. Этническая одонтология. М., 1995.

Зубова и др. 2017

Зубова А. В., Моисеев В. Г., Хартанович В. И. Некоторые итоги исследования изолированных одонтологических находок эпохи палеолита из коллекций МАЭ РАН // Радловский сборник : Научные исследования и музейные проекты МАЭ РАН в 2016 г. СПб., 2017. С. 253–262.

Кулаков 2015

Кулаков С. А. Ахштырская пещерная стоянка – «опорный памятник» среднего палеолита Северо-Западного Кавказа // Древние культуры Восточной Европы: эталонные памятники и опорные комплексы в контексте современных археологических исследований : Замятинский сборник / отв. ред. Г. А. Хлопачев. СПб., 2015. Вып. 4. С. 25–39.

Праслов 1968

Праслов Н. Д. Ранний палеолит Северо-Восточного Приазовья и Нижнего Дона. Л., 1968.

Чердынцев и др. 1965

Чердынцев В. В., Алексеев В. А., Кинд Н. В. и др. Радиоуглеродные даты лаборатории Геологического института (ГИИ) АН СССР // Геохимия. 1965. № 12. С. 1410–1422.

Bailey 2002

Bailey S. E. Neanderthal dental morphology: implication for modern human origin : diss. Ph. D. Temple, 2002.

Bailey et al. 2011

Bailey S. E., Skinner M. M., Hublin J. J. What Lies Beneath? An Evaluation of Lower Molar Trigonid Crest Patterns Based on Both Dentine and Enamel Expression // *American Journal of Physical Anthropology*. 2011. Vol. 145. P. 505–518.

Benazzi et al. 2011

Benazzi S., Fornai G., Bayle P. et al. Comparison of dental measurement system for taxonomic assignment of Neanderthal and modern human lower second deciduous molars // *Journal of Human Evolution*. 2011. Vol. 61. P. 320–326.

Benazzi et al. 2013

Benazzi S., Bailey S. E., Mallegni F. Brief Communication: A Morphometric Analysis of the Neandertal Upper Second Molar Leuca I // *American Journal of Physical Anthropology*. 2013. Vol. 152. P. 300–305.

Martin et al. 2017

Martin R. M. G., Hublin J.-J., Gunz P., Skinner M. M. The morphology of the enamel-dentine junction in Neanderthal molars: Gross morphology, non-metric traits, and temporal trends // *Journal of Human Evolution*. 2017. Vol. 103. P. 20–44.

Martin-Francés et al. 2017

Martin-Francés M., Martínón-Torres M., Martínez de Pinillos M. et al. 2D molar tissue proportions in Early Pleistocene Homo antecessor (Atapuerca, Spain) // 17th International Symposium on Dental Morphology and 2nd congress of International Association for Paleodontology. Bordeaux, France, 2017. Bordeaux, 2017. P. 33.

Ortiz et al. 2017

Ortiz A., Bailey Sh. E., Hublin J.-J., Skinner M. M. Homology, homoplasy and cusp variability at the enamel-dentine junction of hominoid molars // *Journal of Anatomy*. 2017. Vol. 231 (4). P. 585–599.

Skinner et al. 2008

Skinner M. M., Wood B., Boesch C. et al. Dental trait expression at the enamel-dentine junction of lower molars in extant and fossil hominoids // *Journal of Human Evolution*. 2008. Vol. 54. P. 173–186.

Turner et al. 1991

Turner C. G., Nichol C. R., Scott R. G. Scoring procedures for key morphological traits of the permanent dentition: The Arizona State University dental anthropology system // *Advances in Dental Anthropology*. New York, 1991. P. 13–31.

Zanolly, Mazurier 2013

Zanolly C., Mazurier A. Endostructural characterization of the H. heidelbergensis dental remains from the early Middle Pleistocene site of Tighenif, Algeria // *Comptes Rendus Palevol*. 2013. Vol. 12 (5). P. 293–304..

Jörg W. E. Faßbinder

Department of Earth and Environmental Sciences,
Ludwig-Maximilians-Universität München,
Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München, Germany

Florian Becker

Ludwig-Maximilians-Universität München,
Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München, Germany

Sarah Abandowitz

Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München, Germany

AERIAL ARCHAEOLOGY, AIRBORNE LASERSCAN AND MAGNETOMETER PROSPECTION AT THE IRON AGE OPPIDUM MENOSGADA, BAVARIA, GERMANY

Introduction

The Iron Age Oppidum *Menosgada* ca. 200 BC already known to Ptolemais and documented in old maps from the 2nd century AD is the northernmost Celtic Oppidum of Bavaria. The site is situated on a natural (geological) monument of Jura sediments, with an extension of ca. 1 km in diameter. The prominent plateau forms a natural “Acropolis” that rises above in the centre of the mountain by 50 m; it consists of reef limestone and dolomite rock and covers an area of ca. 300 × 140 m. This elevated area had been settled and fortified since the Neolithic (ca. 5000 BC), Urn field and Hallstatt periods. During the Celtic and late Iron Age periods an additional large fortification wall enclosed this “natural” Acropolis. After the year 50 BC, the site was entirely abandoned (Abels 1980).

A defence wall of ca. 2800 m long enclosed the Oppidum which had the Acropolis with a further fortification wall, in its entirety of 49 ha. Except for the plateau and a large area in the northeast quarter of the Oppidum, the area was partly terraced and divided by embankments and was thus neither suitable nor available for a large-scale motorized geophysical prospection. Since 1987, we undertook magnetometer prospecting on temporary accessible areas of the Oppidum – by a caesium gradiometer (Varian 101), by a handheld caesium magnetometer (Scintrex SM4G-special) and since 2017, by a (Förster) fluxgate magnetometer in order to gradually complete the prospection and get better knowledge of the hidden archaeological features. Fusing the magnetometer data, with the help of GIS-systems, with aerial photo, satellite image and airborne laser scanning data, enables us meanwhile not only to trace the building complexes in detail but also to understand the organization and the layout of the whole Oppidum.

Results

The first measurements from 1987 focused on the “Acropolis” itself (see fig. 1). Here we found a multitude of pits and postholes that were carved in the dolomite rock of the Acropolis showing a densely settled area. Due to the high magnetic contrast of topsoil and the dolomite and reef limestone, our magnetometer measurements gave a clear and distinct image of human activity on the site, meanwhile a definite dating of the features, however, remains rather impossible.

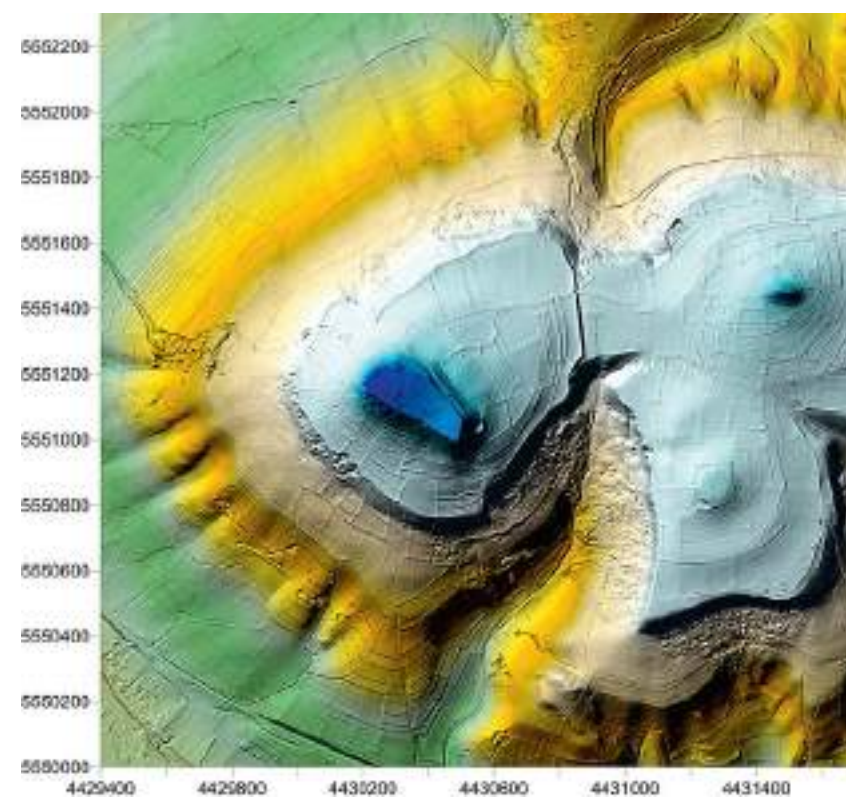


Fig. 1.
Staffelberg. Magnetogram detail of the densely settled "Acropolis".
The linear anomaly is due to an electric power line from the modern church.
Magnetogram: J. W. E. Faßbinder



Fig. 2.
Staffelberg. Satellite image of the Bayerische Vermessungsverwaltung fused
by magnetometer measurements from 1987–2017.
Magnetogram: J. W. E. Faßbinder, F. Becker



Fig. 3.
Staffelberg. Topographic map with magnetogram images.
Dynamics of the magnetogram +/- 5 nT from black to white.
Magnetogram: J. W. E. Faßbinder, F. Becker



Fig. 4.
Staffelberg. Oblique view from the south of Staffelberg fused by magnetograms.
Magnetogram: J. W. E. Faßbinder, F. Becker



Fig. 5.

Staffelberg. Magnetogram detail of the eastern part of the Oppidum. The magnetogram in the western part (inside the fortification wall) reveals some rare pits and ground maps of isolated storehouses, each visible by four postholes. East and outside the fortification wall, we discovered traces of Celtic fields, linear furrows carved into the bedrock. Magnetogram: J. W. E. Faßbinder

The southern slope of Staffelberg reveals scarped ridges of brown Jura claystone (see fig. 2–4). These soft clay stones form small plateaus. In this sloped area, we found typical house foundations and rows of postholes similar to those we found on other archaeological sites of the Celtic and late Latène periods. The dense layout of rather huge houses indicated a prominent area for the Celtic Oppidum.

The eastern part of the site was obviously used as agricultural area. Here we found only more or less isolated storehouses. The ground map of the storehouses forms a square of ca. 3 × 3 m and consists simply of four large postholes.

Outside but also inside the fortification wall we found the traces of “Celtic fields”. These ancient fields consist of large furrows that were carved in the bedrock of the reef limestone (see fig. 5).

Conclusion

Remote sensing, areal archaeology and geophysical prospections serve as a powerful tool for non-destructive archaeological research on such an outstanding archaeological monument. Although the dating of some pits and ground maps of houses particularly at the area of the Acropolis remains partly unclear, our approach delivered new insights into the organization and the construction of the Celtic Oppidum *Menosgada*.

REFERENCES

Abels 1980

Abels B.-U. Neue Ausgrabungen auf dem Staffelberg, Jahresber, Bayer // Bodendenkmalpflege. 1980. Bd. 21. S. 62–77.

Jörg W. E. Faßbinder
Ludwig-Maximilians-Universität München,
Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Germany

Marion Scheiblecker
Institute of Near Eastern Archaeology,
Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany

Florian Becker
Ludwig-Maximilians-Universität München,
Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Germany

Kai Kaniuth
Institute of Near Eastern Archaeology,
Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany

Martin Gruber
Institute of Near Eastern Archaeology,
Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany

ACHAEMENIDS IN THE SOUTHERN CAUCASUS: ARCHAEOLOGICAL SURVEY, GEOPHYSICAL PROSPECTION AND EXCAVATION IN KARAČAMIRLI (AZERBAIJAN) – AN INTERDISCIPLINARY APPROACH TOWARDS INTERPRETATION

Introduction

A major Achaemenid palatial structure near Karačamirli (Azerbaijan, fig. 1), discovered by Ilyas Babaev and Florian Knauss, proved the immense impact and extension of the Achaemenid Empire (539–331 BC). Archaeological survey and geophysical prospection results indicate an extension of the archaeological site that covers an area of more than 4 sq km. In the framework of a DFG-Project entitled “Achaemenid residences and their ‘paradises’: Landscape archaeology between Persia and the Caucasus”, in cooperation with the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) UMR 5133 Archéorient (CNRS/ Université Lyon 2), we undertook a large scale magnetometer survey and complementary Earth’s resistance tomography (ERT) measurements to get a detailed insight into the organization and maintenance throughout the whole site.

The aim of the project was at first to receive the layout of the site, both in the micro region and afterwards in the framework of the surrounding macro region. The aim of the archaeological survey was a detailed but large-scale investigation of the surrounding landscape through archaeological and geophysical means in order to clarify the integration of this palace building complex within the micro-region, both structurally and chronologically, and to examine further possibilities for the verification of the site as a whole. The site was populated during the whole Achaemenid period (end of the



Fig. 1.

Achaemenid sites in the Caucasus region. Image: F. Becker

6th century BC until 330 AD), with earlier components from the Iron Age (Scheiblecker et al. 2017, 212). The primary prospecting areas are located in the north and adjacent to the palace complex. Further prospecting areas were selected simply according to the accessibility and the suitability for a high resolution magnetometer prospecting. For an interdisciplinary approach and wide understanding of the landscape archaeological survey and magnetometer prospecting were applied. In 2017, the project was complemented by electrical resistivity tomography (ERT) measurements, selected trench excavations and by additional geo-archaeological studies and mineral magnetic measurements.

The site of Karačamirli

In northwestern Azerbaijan, the site is located in the Kura valley and covers an area of ca. 4 sq km (fig. 2). More than 45 years ago, an Achaemenid column base was discovered near the village of Karačamirli (Knauss 2007). In 2006, Dr. Florian Knauss (Staatliche Antikensammlung und Glyptothek, Munich) and Prof. Dr. Ilyas Babaev (Azerbaijan Academy of Sciences) initiated excavations first at the central mounds at the site, which turned out to be the Achaemenid palace and its propylon (Knauss 2007; Knauss et al. 2013). Other mounds revealed Achaemenid buildings and there was a mound serving as burial place starting in the Early Bronze Age and lasting to the Islamic period.

Methods

In addition to the excavations at the main mounds, in 2013, an interdisciplinary archaeological survey and a magnetometer prospecting were conducted. Therefore, we

compiled a grid system with squares of 40×40 m both for an extensive field survey as well as for the geophysical prospecting. While the entire area was archaeologically surveyed, the magnetometer survey covers so far “only” more than 1.5 sq km (Scheiblecker et al. 2017; fig. 2). For the magnetometer measurements both, a total field caesium magnetometer (Scintrex Smartmag SM4-G and Geometrics G-858-Special, in duo-sensor-configuration) as well as fluxgate gradiometers (Foerster Ferex 4.032, quadro-sensor-configuration) were applied during four magnetometer survey campaigns. All chosen areas were scanned with a sampling interval of 12.5 respectively 10×50 cm interpolated to 25×25 cm. In 2017, electrical resistivity tomography (ERT, 4pointlight 10W, Lippmann, fig. 3) complemented the investigations. Furthermore, supporting trench excavations and mineral magnetic and susceptibility measurements of typical soil layers were initiated (Scheiblecker et al. 2017, 214). Almost all parts of the site are used for agriculture therefore the results of magnetometry are disturbed by ploughing furrows and irrigation systems.



Fig. 2.

Satellite image overlaid by the magnetogram of all the surveyed areas (8/2017).
Magnetogram: M. Scheiblecker



Fig. 3.

Measurement of electrical resistivity tomography (ERT; instrument: 4pointlight 10W, Lippmann).
Photo: J. W. E. Faßbinder

Results

The geophysical investigations revealed a huge and wide garden architecture that surrounded the palace (fig. 4). The garden was enclosed by a mudbrick wall of exactly 420×420 m. The mudbricks were erected on a foundation consisting of gravels (10–20 cm in size) which are unique and comparably clearly visible due to their strong remanent magnetization and their high magnetic susceptibility (Scheiblecker et al. 2017, 214). This could be proved by a test trench of Martin Gruber, where two walls were crossing, the enclosure wall and a modern field boundary (fig. 5). An alley connects the eastern gate with the palace; it can be traced through the negative magnetic anomalies through the compaction of the soil (Scheiblecker et al. 2017, 214). The entrance area (propylon) was already excavated before the magnetometer survey started (Babaev et al. 2006). In the magnetogram a linear feature (negative anomaly) occurs also in the western part of the palace building, which led to the discovery of a second, western gate, which is extremely destroyed by ploughing. In 2017, this part was excavated by Rémy Boucharlat and revealed a gap in the enclosure wall, accompanied by parallel walls inside and outside, maybe forming a sort of room. The palace was surrounded by the enclosure wall; inside are very rare structures to detect, but several pits and remains of pit houses or storage cellars can be traced (Scheiblecker et al. 2017, 214). The second wall divides the inner area of the garden into a northern and southern part (Scheiblecker et al. 2017, 214). Furthermore natural riverbeds, ancient streamlets, and also ancient irrigation canals indicate that the palace was an Achaemenid garden site, comparable to Pasargadae in Iran (Benech et al. 2012). Outside the garden palace we discovered monumental buildings in the northern and north-eastern area; because of their orientation they are presumably and very likely contemporary with the palace (Scheiblecker et al. 2017, 214).



Fig. 4.

Karačamirli. Excavated garden palace and the inner enclosure of the Achaemenid garden site. Caesium total field magnetometer Scintrex, SMG-4 special in duo-sensor variometer configuration and Ferex Förster, four sensor fluxgate magnetometer, sampling density 25×50 cm resp. 10×50 cm, interpolated to 25×25 cm, dynamics ± 12 resp. 3 nT in 256 grey scales, 40 m grid.
Photo: M. Gruber

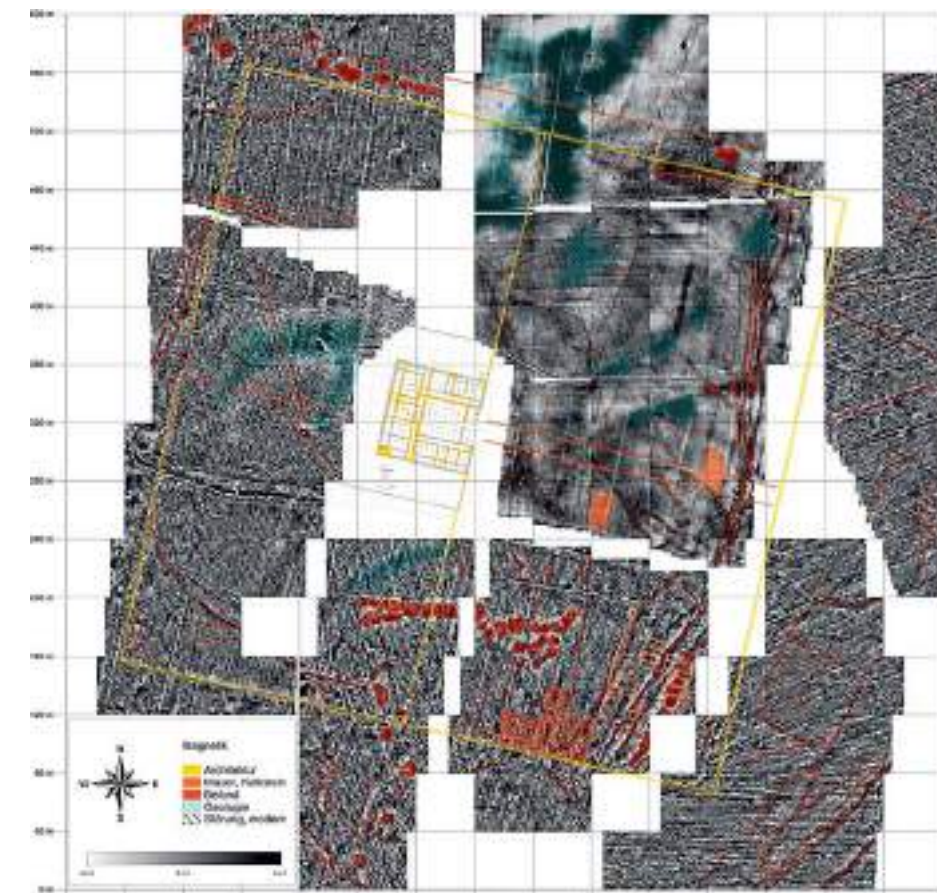


Fig. 5.

Karačamirli. Excavation trench across the surrounding wall of the garden palace.
Magnetogram: M. Scheiblecker

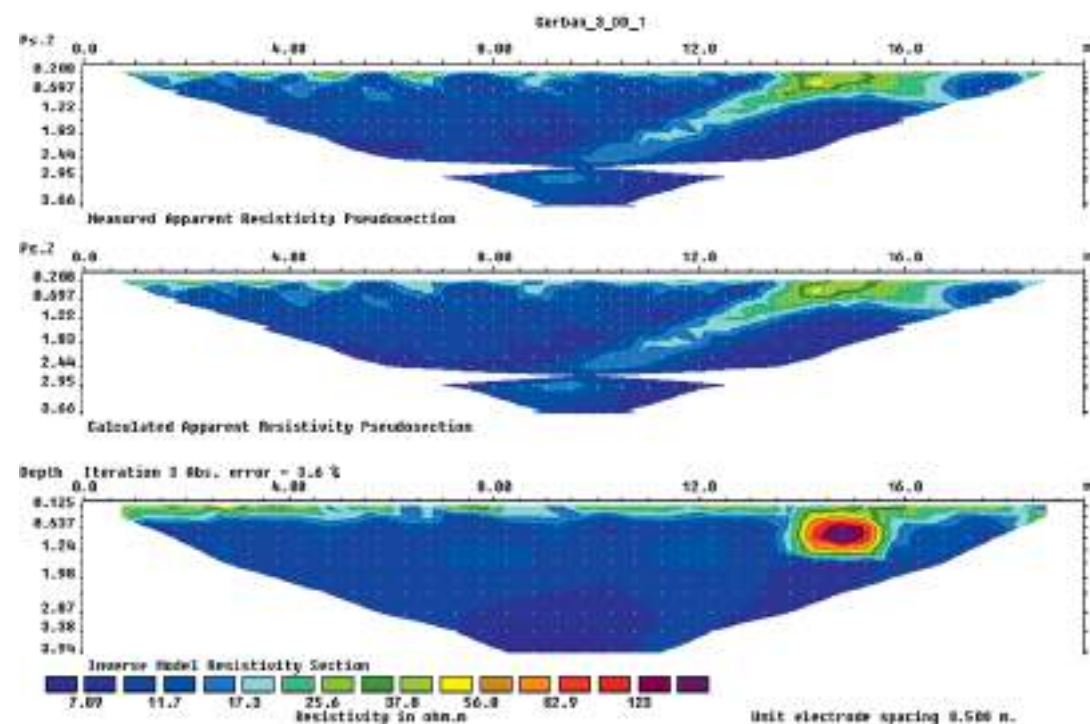


Fig. 6.

ERT-Profile showing clearly the trace of the foundation of the enclosing wall.

Resistogram: J. W. E. Faßbinder

Due to deep ploughing and irrigation canals, which significantly disturbed our magnetogram image, the dividing wall was hardly visible. Therefore we decided to apply Earth's resistance tomography (ERT) to detect and to verify the existence of the wall (see fig. 6). The coarse gravels show up by very high resistance values in the adjacent sub soil and within the natural top soil of the surrounding area.

Summary

The geophysical results presented above reveal not only several archaeological features, but allow us to draw a first ground map of the Achaemenid residence site Karačamirli in the vicinity of the palace. Magnetometer prospecting revealed domestic buildings, workshops and production sites. Further administrative buildings were probably beneath Rizvan Tepe and were actually not accessible for a detailed magnetometer survey. They will be hopefully detected in future prospecting campaigns. The shapes, architecture and layout of possible Achaemenid buildings, that we detected, will furthermore provide basic information, that is likely to be the groundwork for specific architectural studies that have for the moment no parallels in the specialized literature.

Acknowledgement

The authors appreciate funds given from the Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG, from the Ludwig Maximilians University Munich and Fritz-Thyssen-Stiftung.

REFERENCES

Babaev et al. 2006

Babaev I., Gagošidse I., Knauss F. Ein Perserbau in Azerbajdžan : Ausgrabung auf dem Ideal Tepe bei Karačamirli // Erster Vorbericht, Archäologische Mitteilungen aus Iran und Turan. 2006. Bd. 38. S. 291–330.

Benech et al. 2012

Benech C., Boucharlat R., Gondet S. Organisation et aménagement de l'espace Pasargade // ARTA. 2012. T. 003. P. 1–37.

Knauss 2007

Knauss F. Ein Perserbau auf dem Ideal Tepe bei Karacamirli (Aserbajdschan) // ARTA. 2007. T. 2. P. 1–51.

Knauss et al. 2013

Knauss F., Gagošidse I., Babaev I. Karačamirli : Ein persisches Paradies // ARTA. 2013. T. 4. P. 1–28.

Scheiblecker et al. 2017

Scheiblecker M., Fassbinder J. W. E., Becker F. et al. A King and His Paradise? A Major Achaemenid Garden Palace in the Southern Caucasus // 12th International Conference of Archaeological Prospection. 12th – 16th September 2017, The University of Bradford, Oxford / eds. B. Jennings, C. Gaffney, T. Sparrow, S. Gaffney. Oxford, 2017. P. 212–214.

Max Fiederling
Bayerische Gesellschaft für Unterwasserarchäologie e. V., Germany

EXAMPLES FOR STRUCTURE FROM MOTION, 360-DEGREE AND OTHER PHOTO-BASED TECHNIQUES FOR UNDERWATER ARCHAEOLOGICAL DOCUMENTATION AND FOR ON-LAND PRESENTATIONS

The paper is about technological changes, digital tools and new improvements in underwater archaeological documentation methods, which are more than useful and shall become average procedure during any field project, if scientific questioning requires these methods.

It will be shown that these techniques have great potential to improve the quality and effectiveness of Scientific Diving and underwater archaeology. The main focus will lie on the massive economy of time you gain by using different methods, with a focus on affordability and the convenience of use.

The following sub topics will be discussed in detail:

- 360-degree technology, examples, application possibilities, future prospects;
- Structure From Motion technology, examples, focus on time factor and applicability;
- Reflectance Transformation Imaging (RTI), adopted for underwater research (URTI), examples, new approaches, future perspectives and limits.

Beside the need of average usage of the following technologies, it should be discussed, how easy it is to interest people in research projects etc. by using VR technology and to use it for presentations, talks and public relations as well as for conceptions of exhibitions. Some recent field studies in Germany, Croatia, Sicily, Tunisia and Romania and their previous documentations will provide the examples.¹

The 360-degree technology is not new, but still in its first steps of development after it has recently been introduced to a brighter user group by designing affordable 360-degree video action cameras etc. The next generation of these will have the problem of stitching solved, so we all might be able to use it, not only for presentations and for documentation of field work, but also for creating 3D-models, also under water much easier than it is done today. By now, using average 360-degree action cams like the Rico Theta S or Nikon 360 Key Mission is quite good for documentation of your field work, for broadcasting this material later on or directly on field and for creating an exhibition or other usage in a museum context (fig. 1).

As the key mission, for example, already comes with a 40 m deep case and is just $60.6 \times 65.7 \times 61.1$ mm in size, you can carry it easily on any field campaign or underwater excavation, or you place it with a tripod nearby your excavation field. To summarize it, one should use this technology as an archaeologist and also as an underwater archaeologist right now as a standard documentation and presentation method, while waiting for the next generations to solve some initial problems like stitching and bringing up the

¹ Ongoing field campaigns, until now unpublished data and results which have recently been produced by the Bavarian Society for Underwater Archaeology and the Blue Arch GbR, together with cooperation partners: ICUA, LMU Munich, INP, University Tübingen, DFG, ICEM etc.

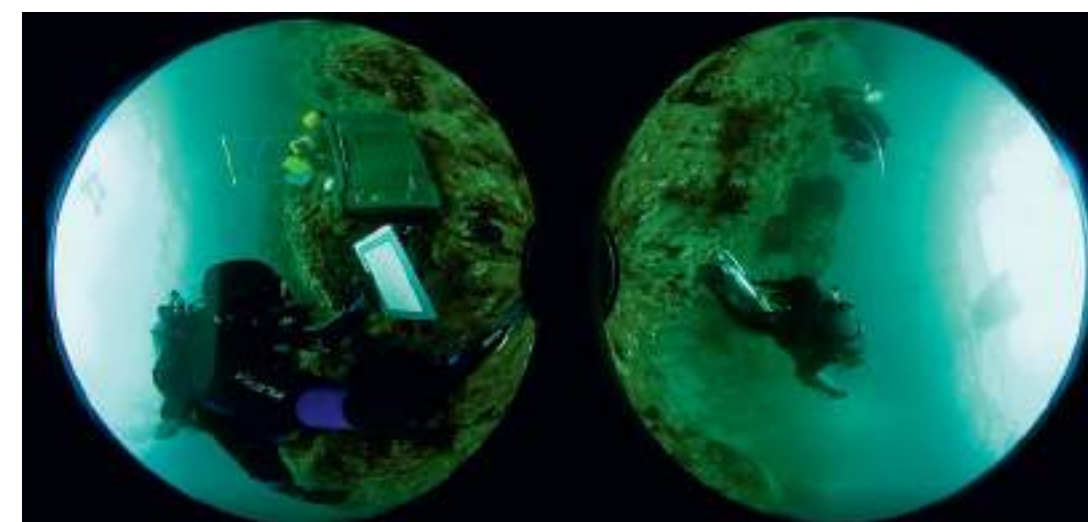


Fig. 1.
360-degree documentation of field work, example Ricoh Theta S. Piruzi project. 2017.
Photo: M. Fiederling

possibility of creating 3D-models without need of photographs and using Structure From Motion technology anymore.

The Structure From Motion technology is also not new, but is becoming more and more affordable and, with software like Agisoft photoscan, it is quite easy to use (fig. 2). Therefore it is not time to focus on the details of technological possibilities and range of methods inside Structure From Motion, but instead it is quite necessary to highlight, how great the possibility of saving time is by using this technology and still producing reliable, reproducible scientific data. We all know that time during a field campaign is often short and influenced by incalculable incidents, so you need to gain proper data in a short time, which can be outlined and overworked later, after the project is finished. As with nearly



Fig. 2.
Orthophoto created out of a 3D-model made by Agisoft Photoscan using action cam screen shots.
Meninx project. 2017. Orthophoto: M. Fiederling

any photo-based technology you can produce pictures after following the instructions of the Structure From Motion manuals and then use these photos for creating 3D-models and also orthophotos, from which you can draw plans and produce georeferenced maps, if you use reading points, for further planning or just as documentation. For these goals you can start with just an action cam or you can go with reflex cameras, which will deliver much better pictures and therefore much better resolution, but are also much more expensive. When it comes to the factor of time and you need, for example, just mainly a map of a submerged structure, it is also quite effective, under some conditions, to use action cams or other affordable cameras. As the examples show, which all were produced not in a time span longer than 45 minutes, sometimes less expensive camera types could also work out adequately.

The Reflectance Transformation Imaging (RTI), recently adopted to the underwater research as URTI, is of the here presented technologies the newest one and the one which is right now still in development. This technology, as shown by the example study which was published in the beginning of 2017 (Selmo et al. 2017), is very useful for underwater documentation and has proved, also in our recent field work, that it is conformed to the experiences of RTI used in terrestrial settings (fig. 3). It is quite interesting that the problems of the environment are not impeding the ability of gaining usable data sets, by using the same polynomial texture maps algorithm as on land.

URTI demonstrates that it is not only working in clear water conditions, but also in turbid conditions, and can render an object in turbid water with greater accuracy than a digital image. This should be highlighted, because underwater archaeology has often to deal with turbid conditions. Turbidity does not have an impact on the efficacy of URTI up to ca. 0.5 m visibility, but the limits are floating particles and strong current, which we faced in some of our field work.



Fig. 3.

Limits of URTI when encountering too strong currents or too many floating particles.
Rose Island. 2018. Photo: M. Fiederling



Fig. 4.

Canon G7X Mark II producing proper URTI data sets, with the WP-DC55 case up to 40 m depth.
Rose Island. 2018. Photo: M. Fiederling

We tried to go on with tests and found out that not only using different types of cameras, like, for example, the Canon G7X Mark II (fig. 4), shooting single photos, are proper tools, but also using video cameras, also action cams is not only possible, but brings up some advantages in the manner of time saving. This is explained by the fact that you just need to build the setting and change the light positions. You can later extract single pictures out of the videos and don't need to press the release button for each different light position. This not only saves time, but also prevents the setting from being moved in any manner and prohibits the possibility of picture processing errors in the later stages.

We improved and reduced the costs you need for the URTI equipment, for example, using black spheres you can buy in any interior design shop, combined with nontoxic soldering wire, with which you can change easily the height of the sphere from the ground and also bring a proper weight for stabilizing the sphere in its position. Many more improvements and ideas like this should be detected in future, to make this technology again easier to be used by anyone during a field campaign.

The free-form methodology makes URTI immediately available, user-friendly, and affordable. As with RTI there are no software costs to use this technology. RTIBuilder software, RTIViewer software, and Hewlett-Packard's PTMViewer and PTMFitter are free for download and use (Reflectance 2018). That makes it a rapid, affordable and easily deployable in situ documentation method, which can, for instance, detect faintest remnants of carpenter tool marks etc., no bigger than a few cm in diameter.

Even with cold water conditions, which could bring restrictions of mobility by using dry suits, strong currents, moving by sediment and low visibility around 1.5 – 0.5 m, it is possible to conduct a successful URTI of a chosen object in a short time.

Future improvements should focus on the capture methodology as well as on accuracy and should test more different settings, cameras and improvement technologies. As mentioned and brought out by the authors of the first field study for URTI from the beginning of 2017, LED torches are better than HID dive torches and any underwater light system which is producing non-focused light spots, but brighter light cones are more useful. Actual configurations best suit documentation of objects <1 m in size. Equipment should be developed for producing ca. 70 pictures with the same number of different light positions under water on sets by constructing new light domes or other constructions, but also a set of 30 RTI pictures could produce a first data set.

The accuracy of normal calculations for URTI could be improved by adopting new algorithms that are evaluated by the procedure involving calibrated targets (outline by: Giachetti et al. 2015).

Other internet sources and continuing links as a point of interest:
[http://www.regione.sicilia.it/beniculturali/archeologiasottomarina/sez_eventi/mo-
zia_2017.htm](http://www.regione.sicilia.it/beniculturali/archeologiasottomarina/sez_eventi/mo-
zia_2017.htm)
bgfu.de
<https://www.facebook.com/bluearchgbr/>
<http://icua.hr/en>
<https://www.kickstarter.com/projects/vyu360/vyu360tm-4k-procam?lang=de>
<https://www.vive.com/de/>
<https://www.kickstarter.com/projects/1616707907/virtual-prehistoric-worlds>

REFERENCES

Giachetti et al. 2015

Giachetti A., Daffara C., Reghelin E. et al. Light Calibration and Quality Assessment Methods for Reflectance Transformation Imaging Applied to Artworks' Analysis // Optics for Arts, Architecture, and Archaeology V : Proceedings of SPIE, Munich, Germany. 2015. Vol. 9527.

Selmo et al. 2017

Selmo D., Sturt F., Miles J. et al. Underwater Reflectance Transformation Imaging: a Technology for In Situ Underwater Cultural Heritage Object-Level Recording // Journal of Electronic Imaging. 2017. Vol. 26 (1).

Reflectance 2018

Reflectance Transformation Imaging (RTI) // Cultural Heritage Imaging. 2018. URL: <http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/> (date accessed: 28.03.2018).

Anton Gass

Prussian Cultural Heritage Foundation, Germany

Jörg W. E. Faßbinder

Geophysics Department, Ludwigs-Maximilians-University München, Germany

Hermann Parzinger

Prussian Cultural Heritage Foundation, Germany

Sergei Demidenko

Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation

Alexei Pryamukhin

Regional Research and Production Center for the Preservation of Monuments of History and Culture of the Cultural Committee of the Volgograd Region, Russian Federation

Ina Hofmann

Geophysics Department, Ludwigs-Maximilians-University München, Germany

EARLY IRON AGE KURGANS AND THEIR PERIPHERY IN THE TRANS-VOLGA REGION: PRELIMINARY RESULTS OF MAGNETOMETER PROSPECTION

Introduction

The geographical situation of the Lower Volga steppe region in the district of Volgograd between the Eastern European Rivers Volga and Don and the Asiatic steppe of Western Kazakhstan forms a highly interesting corridor between Asia and Europe. The steppe and landscape of the Lower Trans-Volga holds thousands of visible kurgans from the Early Iron Age. Many of these kurgans were built by the tribes of the Scythian-Sakish culture and their Sarmatian successors.

The Scythian-Sakish culture in this region involved also the culture of the Sauromats, who populated the Trans-Volga steppe from the 6th – 4th BC (Смирнов 1984, 10, fig. 1; Скрипкин 2013, 8–9). The Sauromats were mentioned as the most eastern neighbours of the Scythes. Herodot described them in the book IV of his history as population of the steppe between the Rivers Don and Volga (Herodot IV, 102), with a similar subsistence strategy and lifestyle as those of the Scythes. After Herodot their origin was Scythian and Amazonian and their language was even similar but “with mistakes from ancient times since they haven’t learnt this language in the right way” (Herodot IV, 117). Hippocrates and Diodorus Siculus had another idea of the origin of the Sauromates (Hippokrates, 203–212; Diodorus Bibliothecae, 43, 6). Archaeological research has revealed, however, that the Sauromats and Early Sarmatian tribes populated the areas from the Lower Volga to the Southern Urals during the Scythian period (Parzinger 2007, 46; Скрипкин, Клепиков 2013, 86–98).

Further to the east and south-east in the Asiatic steppe Sakian tribes inhabited the area. The Sakes, also called Asiatic Scyths, are known from readings and written records of Persia (Jacobs 2007). Settlement areas of the Sakes are situated between Lake Aral in the west and the north of the Tien-Shan mountains in the east. The Sakian tribes of the 1st millennium BC also were both in close contact with the Achaemenid Empire and the Chinese Empire (North-Western China) (Parzinger 2007, 45). Even in the territory of the Lower Trans-Volga and namely in the Don-Volga after the 4th century BC the Sarmatian tribes gained more and more power and replaced or accumulated the Sauromatian tribes almost completely (Клепиков 2002, 133–140; Скрипкин 2013, 9).

The historic development of this region during the Early Iron Age led to the formation of a singular situation in the scenery. On the one hand, the territory was regarded as a peripheral area, both of the European and Asiatic culture of the Early Iron Age horse riding nomads; on the other hand, the steppe of the Lower Volga represents a natural borderland between Europe and Asia, which played an important role as a transit-corridor during which time multiple waves of migration of the ancient horse riding nomads went from east to west (Rau 1927, 79; Клепиков 2002, 5; Мозолевский, Полин 2005, 19–20, 207–211, 411–412; Маслов 2011, 51; Faßbinder et al. 2015, 86; Парцингер и др. 2017a, 15).

Most of the “great” kurgans of the Lower Volga have a height of 1.5–4.5 m and diameter of 30–65 m (Grakov 1928, 27; Смирнов 1964, 76). Compared to the great kurgans of other regions, like Siberia, Kazakhstan, the Northern Caucasus or the Lower Dnieper in the Ukraine, those of the Lower Volga are small (cf. Gass 2016, 76–85). Only a few burial grounds and great kurgans of the Trans-Volga in the Volgograd region were investigated archaeologically (Rau 1927, 12–14; Rau 1929, 82; Grakov 1928, 27; Сеницын 1959, 106–112; Смирнов 1959, 209–213; Сеницын 1960, 13–19; Смирнов 1964, 76; Засецкая 1977; Ляхов 1994, 112–113; Железчиков, Фалалеев 1995, 23–27, 40; Дворниченко и др. 2008; Очир-Горяева 2012). Moreover, pure Sauromatian burial sites in this landscape are extremely rare. Most necropolises reveal a wider spectrum of burials. Very often the Sauromates also preferred to use existing burial sites for their funerals, even inside existing kurgans (Смирнов 1964, 75). Research on Early Iron Age kurgans started here at the end of the 19th to the beginning of the 20th century (Rau 1927, 5–6) and is still ongoing (Соколов 2011). Although in spite of long lasting investigations so far no archaeological researches have included the periphery of the great kurgans of the Trans-Volga. Only ring-ditches in the periphery of the great kurgans were sometimes mentioned or erratically analysed by trench excavations (Сеницын 1959, 106; Засецкая 1977, 214). A large scale geophysical prospection on Early Iron Age kurgan fields and necropolises never took place in this region.

Archaeological research questions

The resulting lack of knowledge leads to the following questions:

How far was the communication network of the Lower Trans-Volga included in the network of the martial horse riding nomads of the Eurasian steppe from Siberia in the east to the Danube in the west during the Late Iron Age? What was the role of this region? What were the funeral rites and which constructions and findings characterize necropolises of the Scythian and Sauromatian burials in this landscape? Would it be possible to find here, similar to the Scythian-Sakish culture, the traces of offering places, ritual complex features, offering pits and secondary burials or architectural remains around these Sauromatian kurgans as they were found in many great kurgans of southern Siberia (Čugunov u. a. 2010), Kasachstans (Гасс 2011, 67–68; Faßbinder et al. 2013; Парцингер и др. 2017b, 218–228), in the Northern Caucasus (Faßbinder et al. 2015; Парцингер и др. 2017b, 228–238) and the Ukraine (Полин, Дараган 2010)? Are there some parallels to the usage of the periphery

during the Early Iron Age in the neighbouring areas of Asia in the east or to Eastern Europe in the west? Are the funeral rites of the Trans-Volga region singular and unique?

To solve some of these research questions we started in 2015 a large scale geophysical prospecting project in the framework of common Russian-German cooperation with the support of the Exzellenz Clusters Topoi (Berlin), program B-2-4.

Magnetometer prospection

For non-destructive and large scale archaeological prospecting, geophysical science provides us with a multitude of different ground based methods. The most common among them are: magnetic prospecting, resistivity prospecting and radar prospecting. Magnetic prospecting is a “passive” method, measuring an existing physical (magnetic) field, while all other methods are “active” methods by which one generates a physical signal and measures a response to it. The active methods are regarded as reasonable methods for the search of stone buildings. They also can be applied very close to modern and technical constructions, inside a modern city or even inside a building. The application of these methods, however, is time consuming and restricted to the search of stone structures. Furthermore these active methods depend on temporary weather conditions. Radar prospecting is limited by the high content of clay in the sub soils. Clay, however, is almost abundant in the kurgans of the steppe. Therefore in this situation magnetic prospection is the best suitable method for a large scale prospection of archaeological sites in open landscape and undisturbed environment, such as the sites of the Trans-Volga steppe.

For the survey we applied a total field caesium magnetometer in the so-called duo-sensor configuration. This instrument is tolerant towards tilting of the sensor which occurs frequently in uneven terrain; another advantage is that the resulting image gives us more information of the site but at the same time also of the deeper parts of the archaeological structures. Geological features and very narrow technical installations can be removed by the application of a high-pass filter, but give us supplemental information on the type of the anomalies. The visualization as a grey scale image (magnetogram) allows us to trace even smallest anomalies that are caused by the shade of single posts and palisades beneath the surface (Faßbinder 2009; Faßbinder 2015; Faßbinder 2017). The later results are hence displayed by a second magnetogram image.

Results

The archaeological sites we choose locate on the eastern side of the Volga in the Volga region. Here we present the results of two sites in more detail. The burial ground of Prigarino [Пригарино] is in the steppe between the villages Prigarino and Romashki in the Pallasovka Rayon at a distance of ca. 3 km from both villages. Two of the kurgans are visible above the ground and are oriented in the northwest-southeast direction. North-western kurgan no. 1 has a height of 0.6 m and a diameter of 22 m. Adjacent to the south-eastern border of this kurgan we found a depression of the half-circular shape. 53 m southeast of kurgan 1 is a second great kurgan no. 2 which has a height of 1.2 m and diameter of 23 m. This kurgan shows a rounded pyramidal shape with a slightly flat dome. The slopes are rather shallow, only in the northeast the slopes are steeper. The former ring ditch is only visible as shallow depression in the north and south. Southeast at a distance of 18 m, we discovered a faint elevation of ca. 6 × 15 m. Its orientation could be northwest-southeast but is not very clear. Further anomalies in the topography are not visible.

The magnetogram image (fig. 1a, 1b) revealed old ploughing furrows and proved that this part of the steppe had once been used as agricultural land. Both kurgans were enclosed by a ditch. Inside kurgan no. 1, we detect a square-shaped feature (ca. 9 × 9 m) with

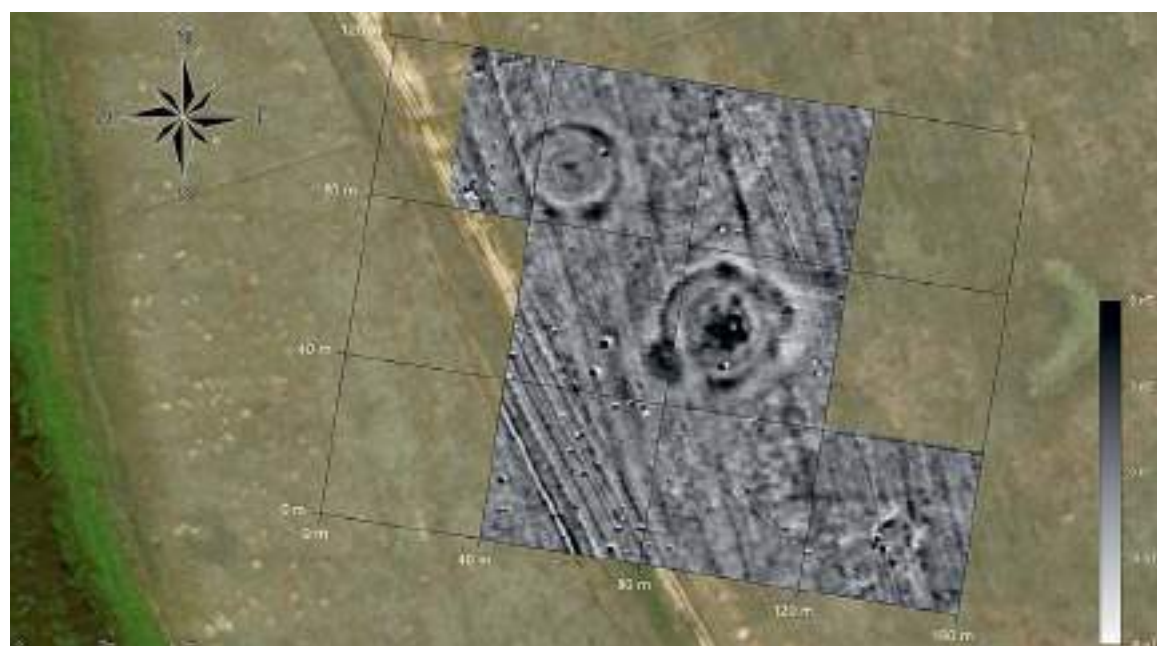


Fig. 1a.

Satellite image overlaid by the magnetogram of the Early Iron Age necropolis Prigarino. Magnetometer survey with a Smartmag SM4G-Special caesium-magnetometer, sensitivity ± 10 nT, variometer (duo-sensor) configuration, 40×40 m grid, spatial resolution 12.5×50.0 cm, interpolated to 25×25 cm, intensity of the total Earth's magnetic field at the site in May 2017: ca. 50.480 ± 10 nT, dynamics ± 8 nT, grey shade plot in 256 greyscales from positive (black) to white (negative). Processed by reduction to a square mean value. Magnetogram: J. W. E. Faßbinder, I. Hofmann

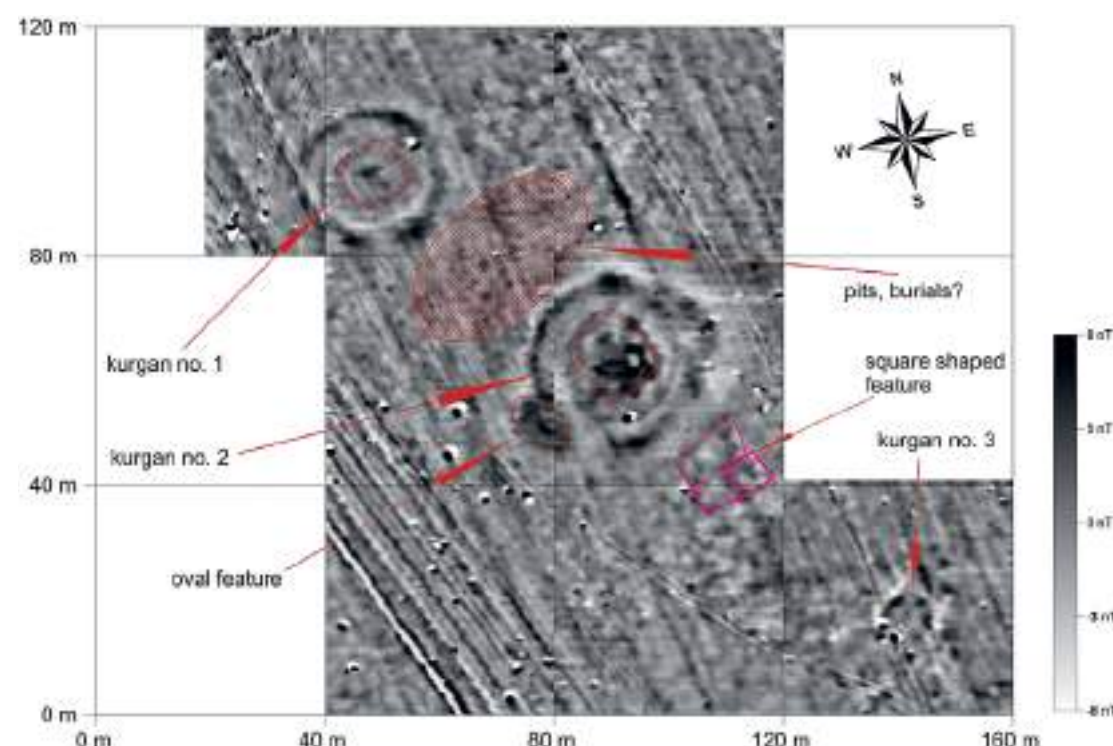


Fig. 1b.

Geophysical interpretation of the Early Iron Age necropolis Prigarino. Magnetogram: J. W. E. Faßbinder

a burial pit, while the structures inside kurgan no. 2 are more complex. Kurgan no. 2 has also a similar square-shaped feature and a burial but it seems to be disturbed by at least six secondary burial pits.

The ring ditch around kurgan no. 2 has a clear interruption. In the southwest we found an oval-shaped ditch and inside it another pit or burial. Beneath the rectangular elevation in the southeast of kurgan no. 2 we detect three somewhat more or less rectangular features. If they are of anthropogenic or of another origin has to be proved by an archaeological excavation. Another so far topographically invisible kurgan no. 3 with a diameter of ca. 15 m we found ca. 54 m southeast of kurgan no. 2. Kurgan no. 3 contains four burial pits and is aligned to the necropolis in the same northwest to southeast direction. The magnetogram of the whole survey area revealed furthermore a multitude of pits, some of them only of 1 m in diameter. If these pits are additional secondary burials or offering pits can be proved by an excavation. This is also valid with respect to the chronology and the dating of the site.

The necropolis of Verkhne-Vodyansky [Верхне-Водянский] is situated in the steppe ca. 2.5 km west-northwest of the village Verkhnyaya-Vodyanka in the Rayon Staraya Poltavka. Here the steppe forms an extensive hilly landscape with morphological depressions and median valleys between the kurgans. The necropolis consists of nineteen topographically visible kurgans and forms two to three rows of burial mounds. The area of the burial ground encloses ca. 200×360 m, the greatest kurgan has a height of ca. 1.8 m and a diameter of 32 m and is situated in the southwestern area of the necropolis. All the other kurgans have heights of ca. 0.4 to 1.1 m, some kurgans have ring ditch enclosures.

The greatest kurgan of the necropolis has a rounded and flat platform-like construction with a flattened dome, except for the northern part shallow slopes. The enclosing ring ditch is ca. 7 m wide. In the east of the kurgan, we found a rectangular depression (ca. 6×10 m), which is oriented in the east-west direction. Similar depressions can be found in the middle of the necropolis. These depressions were one of the reasons why we chose this site for a large scale magnetometer survey.

The magnetogram image (fig. 2a, 2b) revealed three kurgans with ring ditches. In the northern part of our survey area, we found quite complex constructions within the great kurgans. One of them showed a rather square feature, with a square annex inside, another one seems to be composed of three overlaying burial mounds. Inside the depressions between the topographically visible kurgans, we detected ring ditches and pits. Hence these depressions were definitely not of geological origin but rather anthropogenic and were very probably relicts of the horse riding nomads. Such types of features had so far been never detected nor recognized in previous excavations or surveys.

The topographically visible rectangular depressions, however, do not show any further features nor were they visible in the magnetogram image. This interpretation is hence an open problem. In the depression in the northern part of the area we traced a ring ditch (diameter 7–8 m) but without a pit or burial inside. In the middle of our survey area we found a horseshoe-shaped ditch (entrance in the west) with a pit inside. Such constructions in the periphery of Scythian kurgans we discovered so far only on Scythian great kurgan sites in necropolises at Vinogradny-1 and Bi-Tyube in the Northern Caucasus (Парцингер и др. 2017b, fig. 8 and fig. 21; Parzinger et al. (in press)).

We have to mention that the ^{14}C analysis dates the horseshoe-shaped feature from Vinogradny-1 to the 6th – 4th century BC but the construction is also much larger than the object in Verkhne-Vodyansky. If these findings can be compared in all details with the findings in the Northern Caucasus will be definitively solved only by an archaeological excavation.



Fig. 2a.

Satellite image overlaid by the magnetogram of the Early Iron Age necropolis of Verkhne-Vodyansky. Magnetometer survey with a Smartmag SM4G-Special caesium-magnetometer, sensitivity ± 10 nT, variometer (duo-sensor) configuration, 40×40 m grid, spatial resolution 12.5×50.0 cm, interpolated to 25×25 cm, intensity of the total Earth's magnetic field at the site in May 2017: ca. 50.460 ± 10 nT, dynamics ± 8 nT, grey shade plot in 256 greyscales from positive (black) to white (negative). Processed by reduction to a square mean value. Magnetogram: J. W. E. Faßbinder, I. Hofmann

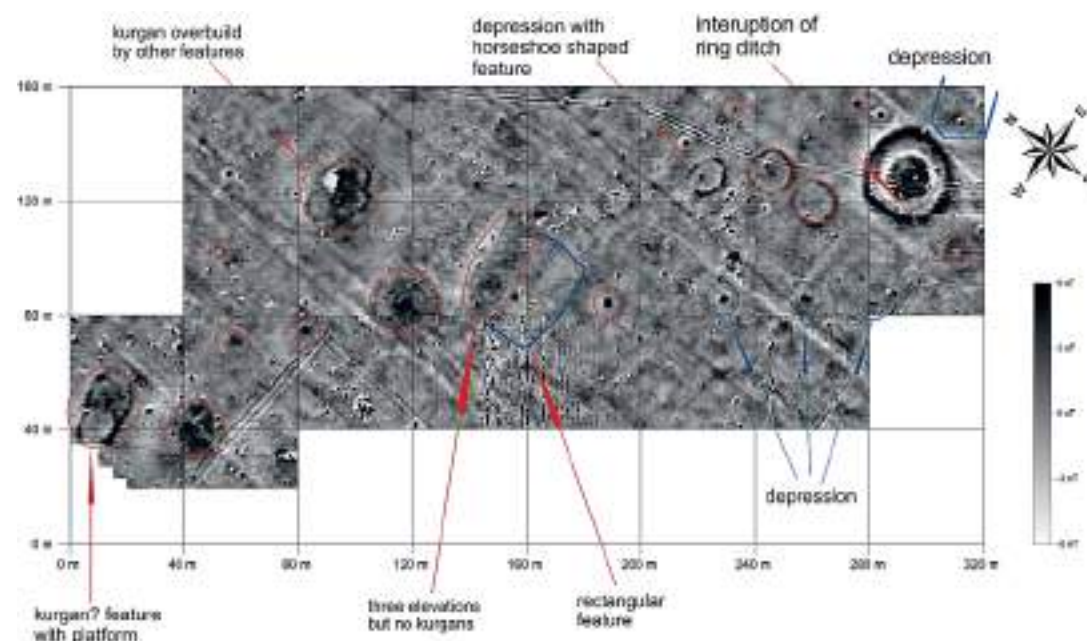


Fig. 2b.

Geophysical interpretation of the Early Iron Age necropolis Verkhne-Vodyansky. Magnetogram: J. W. E. Faßbinder

Our archaeological geophysical research shows not only that the Sauromatian kurgans are enclosed by ring ditches, but also that the archaeological spectrum of findings is much broader than it was previously expected. First and foremost the results of the necropolis' survey in Verkhne-Vodyansky reveals new and so far unknown constructions and features such as depressions with pits enclosed by ditches. Besides this, the ring ditches without any features inside and with horseshoe-shaped features resemble and have their parallels in the Northern Caucasus. If they are, in point of fact, of the same period and have the same chronology cannot be decided yet. But if so, they could serve as an indication that the communication network and the rituals of the Early Iron Age horse riding nomads of the Volga steppe, can be compared to those of the central Northern Caucasus.

REFERENCES

Гасс 2011

Гасс А. К проблеме изучения памятников раннего железного века Юго-Восточного Семиречья в свете данных геоархеологических исследований // Археология, этнография и антропология Евразии. 2011. Вып. 3 (47). С. 57–69.

Дворниченко и др. 2008

Дворниченко В. В., Демиденко С. В., Демиденко Ю. В. Савроматское погребение с бронзовым зеркалом из Северного Прикаспия // Нижневолжский археологический вестник. 2008. Вып. 9. С. 247–253.

Железчиков, Фалалеев 1995

Железчиков Б. Ф., Фалалеев А. В. Раскопки у с. Лятошинка // Археолого-этнографические исследования в Волгоградской области. Волгоград, 1995. С. 23–61.

Засецкая 1977

Засецкая И. П. Савроматское погребение у с. Никольское в Нижнем Поволжье // Скифы и сарматы. Киев, 1977. С. 214–220.

Клепиков 2002

Клепиков В. М. Сарматы Нижнего Поволжья в IV–III вв. до н. э. Волгоград, 2002.

Ляхов 1994

Ляхов С. В. Нижневолжские дромосные могилы эпохи раннего железа // Проблемы скифо-сарматской археологии Северного Причерноморья: тезисы докладов Междунар. конф., посвящ. 95-летию со дня рождения профессора Б. Н. Гракова, II. Запорожье, 1994. С. 111–114.

Маслов 2011

Маслов В. Е. К вопросу о происхождении курганов с «шатровым» перекрытием на Северном Кавказе // Переход от эпохи бронзы к эпохе железа в Северной Евразии. Материалы круглого стола 23–24 июня 2011 года. СПб., 2011. С. 49–53.

Мозолевский, Полин 2005

Мозолевский Б. Н., Полин С. В. Курганы скифского Герроса IV в. до н. э. Киев, 2005.

Очир-Горяева 2012

Очир-Горяева М. А. Древние всадники степей Евразии. М., 2012.

Парцингер и др. 2017а

Парцингер Г., Белинский А. Б., Фассбиндер Й. В. Е., Гасс А. Большие курганы РЖВ и их периферия: результаты исследований северокавказских могильников с применением магнитометрии (на примере некрополя Зункарь-2) // Археология и геоинформатика. 2017. Вып. 8.

Парцингер и др. 2017б

Парцингер Г., Гасс А., Фассбиндер Й. Археолого-геофизические исследования могильников раннего железного века на территории Казахстана и Северного Кавказа // Мультидисциплинарные методы в археологии: новейшие итоги и перспективы: материалы Междунар. симпозиума, 22–26 июня 2015 г., Новосибирск. Новосибирск, 2017. С. 216–239.

Полин, Дараган 2010

Полин С. В., Дараган М. Н. Работы на Александропольском кургане в 2008 г. // *ΣYMBOLA 1 : Античный мир Северного Причерноморья : Новейшие находки и открытия.* М. ; Киев, 2010. С. 187–205.

Синицын 1959

Синицын И. В. Археологические исследования Заволжского отряда (1951–1953 гг.) // *Материалы и исследования по археологии СССР.* 1959. Т. 1 (60). С. 39–205.

Синицын 1960

Синицын И. В. Древние памятники в низовьях Еруслана // *Материалы и исследования по археологии СССР.* 1960. Т. 2 (78). С. 10–168.

Скрипкин 2013

Скрипкин А. С. Волгоградский край в контексте древней и средневековой мировой истории // *Археологическое наследие Волгоградской области.* Волгоград, 2013. С. 7–10.

Скрипкин, Клепиков 2013

Скрипкин А. С., Клепиков В. М. Ранний железный век // *Археологическое наследие Волгоградской области.* Волгоград, 2013. С. 81–136.

Смирнов 1959

Смирнов К. Ф. Курганы у сел Иловатка и Политотдельское Сталинградской области // *Материалы и исследования по археологии СССР.* 1959. Т. 1 (60). С. 206–322.

Смирнов 1964

Смирнов К. Ф. Савроматы : Ранняя история и культура сарматов. М., 1964.

Смирнов 1984

Смирнов К. Ф. Сарматы и утверждение их политического господства в Скифии. М., 1984.

Соколов 2011

Соколов П. М. К вопросу о начале раннесарматской миграции в Нижнее Поволжье // *Нижеволжский археологический вестник.* 2011. Вып. 12. С. 105–113.

Čugunov u. a. 2010

Čugunov K. V., Parzinger H., Nagler A. Der skythenzeitliche Fürstenkurgan Aržan 2 in Tuva // *Archäologie in Eurasien* 26. Steppenvölker Eurasiens 3. Mainz am Rhein, 2010.

Diodorus Bibliothecae

Diodorus Siculus. Bibliothecae historicae. Libri qui supersunt (interprete Laurentio Rhodomano). Amstelodami, 1746. Т. 2.

Faßbinder 2009

Faßbinder J. W. E. Geophysikalische Prospektionsmethoden – Chancen für das archäologische Erbe // *Tocare – Non Tocare, ICOMOS, Hefte des Deutschen Nationalkomitees / ed. by E. Emmerling.* München, 2009. Bd. 47. S. 10–32.

Faßbinder 2015

Faßbinder J. W. E. Seeing Beneath the Farmland, Steppe and Desert Soil : Magnetic Prospecting and Soil Magnetism // *Journal of Archaeological Science.* 2015. Vol. 56. P. 85–95.

Faßbinder 2017

Faßbinder J. W. E. Magnetometry for Archaeology // *Encyclopedia of Geoarchaeology, Encyclopedia of Earth Sciences Series.* Berlin, 2017. P. 499–514.

Faßbinder et al. 2013

Faßbinder J. W. E., Gorka T. H., Nagler A. et al. Prospecting of Kurgans by Magnetometry : Case Studies from Kazakhstan, Siberia and North-Caucasus // *Virtual Archaeology : Nondestructive Methods of Prospections, Modeling, Reconstructions : Proceedings of the First International Conference Held at the State Hermitage Museum* 4–6 June 2012. St Petersburg, 2013. P. 50–57.

Faßbinder et al. 2015

Faßbinder J. W. E., Gass A., Hofmann I. et al. Early Iron Age Kurgans and their Periphery: Latest Findings and Interpretations from the northern Caucasus // *Virtual Archaeology (Methods and Benefits) : Proceedings of the Second International Conference held at the State Hermitage Museum, 1–3 June* 2015. St Petersburg, 2015. P. 81–88.

Gass 2016

Gass A. Das Siebenstromland zwischen Bronze- und Früheisenzeit : Eine Regionalstudie // *TOPOI : Berlin Studies of the Ancient World.* Vol. 28. Berlin ; Boston, 2016.

Grakov 1928

Grakov B. Monuments de la culture scythique entre le Volga et les monts Oural // *Eurasia Septentrionalis Antiqua.* 1928. Т. 28. P. 25–62.

Herodot IV

Herodot. Neun Bücher der Geschichte / Übersetzung von H. Stein. Essen, 1984.

Hippokrates

Hippokrates von Kos. Hippocrates Werke / Übersetzung von J. F. K. Grimm. Bd. 1 : Hippokrates Buch von der Luft, den Wassern und den Gegenden. Glogau, 1837. S. 186–213.

Jacobs 2007

Jacobs B. Saken und Skythen aus persischer Sicht. Im Zeichen des goldenen Greifen. Königsgräber der Skythen Ausstellungskat. Berlin 6. Juli bis 1. Oktober 2007, München 26. Oktober 2007 bis 20. Januar 2008, Hamburg 15. Februar bis 25. Mai 2008. München ; Berlin ; London ; New York, 2007. S. 158–161.

Parzinger 2007

Parzinger H. Die Reiternomaden der eurasischen Steppe während der Skythenzeit. Im Zeichen des goldenen Greifen. Königsgräber der Skythen. Ausstellungskat. Berlin 6. Juli bis 1. Oktober 2007, München 26. Oktober 2007 bis 20. Januar 2008, Hamburg 15. Februar bis 25. Mai 2008. München ; Berlin ; London ; New York, 2007. S. 30–48.

Parzinger et al. (in press)

Parzinger H., Gass A., Faßbinder J. W. E., Belinskij A. Interdisziplinäre Erforschung von Früheisenzeitlichen Gräberfeldern mit Großkurganen im Nordkaukasus // *Materialien der Internationalen Fachtagung für die Archäologie und Humboldt-Kolleg* (5.–8. Oktober 2015, Sankt Petersburg). Sankt Peterburg (in press).

Rau 1927

Rau P. Die Hügelgräber der Römischer Zeit an der unteren Wolga. Pokrowsk, 1927.

Rau 1929

Rau P. Die Gräber der frühen Eisenzeit im unteren Wolgagebiet : Studien zur Chronologie der skythischen Pfeilspitze. Pokrowsk, 1929.

Irina Grevtsova
CETT-UB, Spain

Joan Sibina
JOANSIBINA&partners, Spain

AUGMENTED, MIXED AND VIRTUAL REALITY. TECHNIQUES OF VISUALIZATION AND PRESENTATION OF ARCHAEOLOGICAL HERITAGE

Introduction

In the year 1994 Paul Milgram and Fumio Kishino defined Virtual Reality (VR) as opposite to Real Environment and, between these both extremes, introduced the whole world of different types of realities that they called *Mixed* (Milgram, Kishino 1994). Twenty years later, it is interesting to observe how this vocabulary is used nowadays to define virtual environments and how they evolved with the development of digital technologies. Many people do not know that the concept of Virtual Reality is closely linked to digital technologies and that, by definition, it only can exist in the computer, and that it is possible to say that we experience it in real time, with the use of screens and VR accessories (gloves, cloth, etc.).

The tourism or leisure field is unlike other fields where the “virtual” concept is widely applied, such as in medicine, commerce or education, in which there is a clear difference between the use of VR or AR. In the tourism or leisure field, when we talk about “the realities” related to cultural tourism products, we find a couple of aspects on which we propose a reflection.

Firstly, we find the concepts of Virtual, Augmented or Mixed Reality to be used erroneously or in a confusing way with reference to the description of touristic-cultural products such as visits.

Second, the vocabulary used in marketing campaigns and cultural dissemination strategies, often offer *virtual visits* when, in fact, it is a series of photographs or 360-degree video recordings of exhibition spaces and halls or archaeological sites.

To avoid these confusions, we propose a conceptual review of different types of existing realities and structure them with the use of a table. This format allows the technical process of designing of tourist-cultural products to be shown by starting with the realities and their dimensions, then passing through the type of images, the visualization techniques and finally archiving a certain cultural tourism product.

1. Structuring and defining the ICT terms

We started the work by briefly defining the main terms of ICT, widely known in the professional field of heritage, whose revision we consider necessary to construct a table that will show the main variables of use of ICT in the design process of tourism products.

1.1. Visible or Real Reality (RR)

Jorge Wagensberg, said that “the visible reality is a tiny part of the whole reality, either too close (the Earth), too distant (Saturn), too large (the Cosmos), too small (an atom), too

transparent (the air), too opaque (the human body), too slow (the growth of a tree) or too fast (the outbreak of a soap bubble) ...” (Wagensberg 2014).

It is evident that if we accept the fact that there is a visible reality, we have to accept that there are realities that are invisible to our eyes, and that many of them are because there is no interface between these realities and our vision. This is where ICTs, information and communication technologies, come into play, allowing us to access some of these invisible realities. Some call them new technologies, but the truth is that they were introduced for the first time many years ago, as early as the late 60s of the last century.

1.1.1. Types of visualization. The three-dimensional vision of the RR

Before entering into the world of these technologies, it is necessary to mention that our vision of VR is three-dimensional, and that our movements and displacements in this 3D world are possible in each of its three dimensions. Continuing, if we accept that there is a three-dimensional world, we must accept that there may be realities of more dimensions. In fact, architectural studies work mathematically with realities of four or more dimensions, through matrices, but it is difficult to formalize them, not to say impossible. In the world of cultural tourism products, it is quite common to hear slogans and advertising messages promoting audiovisual or *virtual visits* in 3D, 4D or even 5D.

Once Real Reality (RR) has been defined, we are able to talk about its opposite extreme, Virtual Reality (VR) and all intermediate realities: Augmented Reality (AR), Mixed Reality (MR) and Augmented Virtuality (AV). All these realities are what we call the digital world.

1.2. Virtual Reality (VR)

Sussmann and Vanhegan (2000) define VR as a system that has as its goal to complete replication of elements of the physical world with synthesized 3D material. Due to this exact replica, the users essentially find themselves within the data, and complete immersion is achieved. Guttentag defines VR by stating that “VR is defined as the use of a computer-generated 3D environment – called a ‘virtual environment’ (VE) – that one can navigate and possibly interact with, resulting in real-time simulation of one or more of the user’s five senses” (Guttentag 2010).

We understand Virtual Reality as the reality created artificially by means of digital technologies in which absolutely all graphics have been created by the computer or portable device. In other words, it only exists digitally. The user can move and interact with it in real time, and this generates the feeling of complete immersion. Examples are the use of a VR interface or device such as glasses or a HMD (head-mounted display), or a sense of touch with the use of complementary devices such as gloves or special suits. The user can design their virtual image as an “avatar”, and can access and participate in a virtual reality with other users and interact with them.

1.2.1. Experience and reproduction of the VR

Depending on the degree of immersion, we can distinguish two types of VR, immersive and non-immersive and depending on the number of users: individual and grouped.

1.2.1.1. Immersive and non-immersive VR

The difference between immersive and non-immersive VR is that in the first case, the user loses contact with reality and immerses himself in the virtual world through devices. In the second case, only the interface screen displays the image of the virtual environment.

In the virtual space, the sensation of immersion depends largely on the quality of the graphics and control. Modern viewers include very precise motion sensors, so that if we

move our heads in any direction, we can see environment that surrounds us exactly as in real life, without any space limitation imposed by a monitor. In addition, controls can be moved in the virtual environment in order to manipulate three-dimensional objects.

1.2.1.2. Non-immersive VR

The non-immersive approach has several advantages over the immersive approach such as low cost, and quick and easy acceptance by the users. The high price of immersive devices has generalized the use of simpler devices, such as the increased number of video consoles or games in which many users interact through the Internet.

1.3. Augmented Reality (AR)

Augmented Reality is the one that offers, in real time, complementary information for the visible real world in which we move and interact. AR consists of generating virtual information about real images. It has a high potential both for leisure and at the professional level. In the professional world, augmented reality viewers allow, for example, that a mechanic can perform repairs following the instructions that appear on his smart glasses screens.

AR technology is currently used in various fields, such as medicine, education, simulation, urban planning, architecture, entertainment and cultural heritage (Yu et al. 2010; Noh et al. 2009; Zollner et al. 2009). In tourism, AR is a useful tool to achieve many objectives: it helps organizations and tourism professionals reach a wider audience by offering attractive multimedia content and mobile applications, adjusted to various levels of knowledge. It is the technology that encourages engagement and allows access to valuable information and increases knowledge about a tourist attraction or a destination with a high degree of interactivity and offers higher levels of entertainment throughout the process (Fritz et al. 2005). The most important thing is that such information systems are able to personalize the user experience according to their needs and motivations and the context of use, which supports their implementation with various scenarios.

One of the first guides for archaeological sites *Archeoguide* (Vlahakis et al. 2002) offers a personalized augmented tour that allows sites to be reconstructed, simulating ancient life and at the same time, keeping the user in the real world.

In world of leisure, a good example of AR is a videogame *Pokémon Go*, which superimposes virtual creatures on real scenes. However, it reveals some limitation of augmented reality. For example, virtual objects are unable to interact with real ones: a virtual Pokémon cannot hide behind a real tree. On the other hand, its lower immersion has the advantage that it requires less processing power and consumption, so the AR is very suitable for mobile phones.

1.4. Augmented Virtuality (AV)

Just as AR basically consists of generating virtual information about real scenes, in Augmented Virtuality (AV) real elements are augmented in virtual reality (VR).

In AV objects and people are dynamically integrated and can interact with the virtual world in real time. This integration is achieved through the transmission of videos or through the three-dimensional digitalization of physical objects.

An example of AV is the teaching of Spanish program, which was developed at the Carlos III University of Madrid. It is based on the concept of "mirror worlds" in which the reality is reproduced virtually. In this case, avatars interact through a mobile application with GPS.

1.5. Mixed Reality (MR)

MR is the combination of RV, VR and AR. This combination allows creating new spaces in which both real and virtual objects and/or people interact. It is about the union of the three technologies, so that virtual objects on the scene can interact with environments. For example, a person in a room can be replaced by an avatar in alien shape who is capable of sitting naturally on a chair, holding a glass of water or lying on the bed.

Another type of interaction can be created in an adventure game. In this case, the MR would allow transforming our living room into one in a wine cellar of the same dimensions, with all real objects inside replaced by other virtual ones, so that the furniture and accessories would be barrels and bottles.

The viewers of MR use integrated cameras to capture characteristics of environment and display them on the screen. Thanks to these characteristics, they can also show virtual contents as if they were an RV viewer. In this case, they fulfil both functions. In addition, their cameras allow the space of the room to be defined, so they do not require installing external sensors such as the current VR viewers.

1.6. Image display format

The classification that we present below was made in terms of 35mm (full-frame) photography, which is the size of reel films. Although, in digital photography not all sensors have the same size and to know what the equivalent focal length is in terms of 35mm we need to carry out a simple conversion operation.

If, for example, in our digital camera we have set a 12–60mm lens and a multiplication factor for our sensor is 2, we must multiply the focal length by this factor. That is, we are actually shooting with a 24–120mm in terms of 35mm. This will help us to know the real angle of vision of our objective.

1.6.1. Normal objective

A *normal objective* is that which usually gives an angle of vision very similar to a human eye, that is, about 45°. In addition, it does not produce any distortion in the lines. The normal thing is that they are 50mm.

1.6.2. Fish eye

Fish eyes are objectives that have the widest angle of vision, reaching 220° or more. They tend to distort straight lines considerably, so they tend to be used for the characteristic effect they produce.

1.6.3. Wide angle

Wide angle usually refers to focal objectives between 18 and 35mm, with viewing angles ranging from 180° to 63°.

They are targets that produce distortion in the margins, but depending on their quality this can be more or less accentuated. They offer a lot of realism since practically everything can be done with great clarity. That is, they have a lot of depth of field. They are usually used in open spaces for landscape photography, architecture or in interior spaces, and are usually quite bright objectives.

1.6.4. Aerial 360° spherical image

The *aerial 360° spherical image* is an image corresponding to a half-sphere cap that can be zenithal or low angle. In the case of the image that has been taken simultaneously with two cameras, properly spaced, we will obtain a three-dimensional 360° image, that is, in 3D.

If instead of photography, we are talking about a 360° spherical video, it refers to a video recording with an omnidirectional camera or with different recording equipment, achieving the panoramic effect of the place where the action takes place. Once post-processed, the user can control the 360° video viewing experience with the movement of the cursor.

1.6.5. Macro

Macros are usually specifically prepared targets to be able to photograph from close up. It is normal that the objectives require a minimum distance to be able to focus. Macro allows focusing up to one centimetre of the objective, getting to photograph really small objects. These are widely used in nature photography.

1.6.6. Telephoto

Telephoto lenses are mainly used to bring the image closer to the photographer, to take pictures from a distance, for example in sports photography. The angle of vision is inferior to 30°, with focal lengths that can go from 70mm onwards.

Unlike the angular ones, the telephoto lenses usually compress the planes showing us unrealistic photographs in which the distances between the objects are reduced considerably. They are usually used for portrait photography, since one of its great features is the ability to make sharp selective focus with a blurred and unfocused background (bokeh effect).

1.6.7. 360° panoramic image

We define the panoramic image as that resulting from turning the camera a full 360° on its vertical axis. In the case of a photograph, we will obtain the panoramic in 2D or 3D depending on whether we have used a single camera or two cameras separated by the distance between the eyes. In the case of video recording, the process is exactly the same with the difference being that the panoramic will be seen in movement in 2D or 3D, according to whether the recording has been taken with one or two cameras. To see panoramas made in 3D, we obviously have to use 3D glasses.

1.7. Display technologies

1.7.1. Cave Automatic Virtual Environment (CAVE).

CAVE is an immersive virtual reality environment, in which 3D images are projected onto the walls of a cube-shaped room. The user can view 3D objects with stereoscopic glasses.

1.7.2. Head-Up Display (HUD).

In HUD a device allows the visualization of AR by projecting information on a transparent surface, which is in front of the user, and visualizing it without having to move the head.

1.7.3. Head-Mounted Display (HMD)

The HMD is a visualization device similar to a helmet, which allows for images created by computer to be reproduced on a display very close to the eyes, or directly on the retina of the eyes. This technology allows the user to enter an environment of VR, AR or MR, since in having the device so close to the eyes, projected virtual objects seem to be a part of the user's environment.

1.7.4. PC, tablet or smartphone display

This display technology consists of visualizing of images through a computer screen, tablet or smartphone.

1.8. Variables that define a virtual cultural tourism product visualized with display

We present the table in which four variables that define the different virtual tourist products of the "Visit" typology are outlined (tab. 1).

Table 1



A definition of the product varies according to the type of reality on which it was initially based, 2D or 3D dimensions, size, type of recording, broadcast and reception angle of view of images, and the technology used for the visualization of these images.

2. Analysis of virtual tourist-cultural products with display

It is necessary to distinguish two types of virtual visits according to the type of reality that is used. Very often in the cultural tourism market the products that are sold as "virtual tour" are video or photographic recordings of the Real Reality (RR). Below we detail these differences.

2.1.1. Virtual visit based on Virtual Reality (VR)

As explained above, *virtual visits* are those that can be carried out in real time in a virtual world that was artificially generated by digital technologies and that only exists in the computer. This means that the user can decide at any moment what he wants to visit to achieve his goal (see tab. 2).

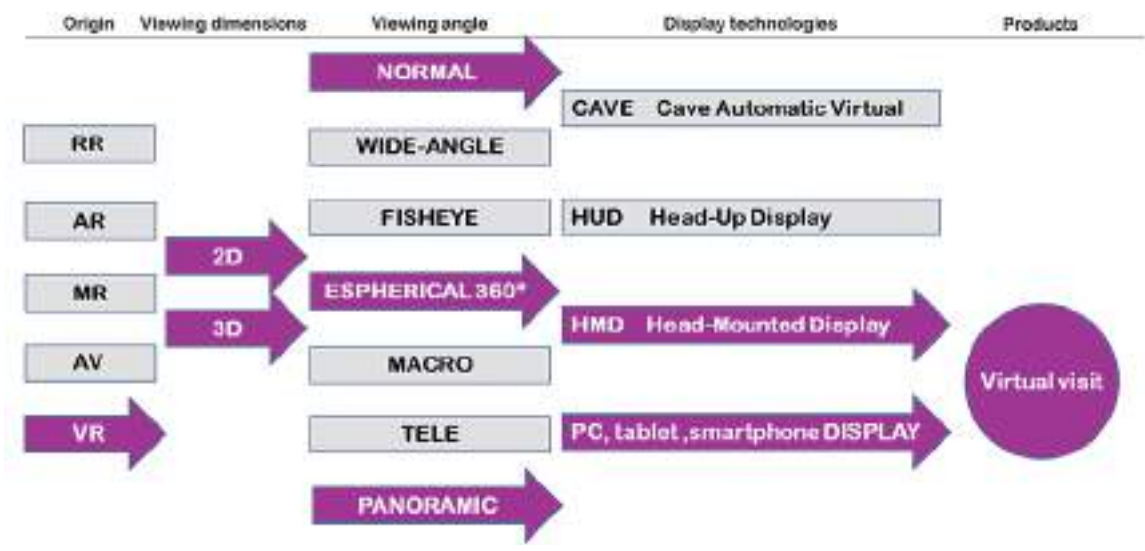
For this, VR must be all in the computer and to interact with it, the user must have the monitor interface with a 2D visualization, glasses or two-screen helmet for a 3D visualization. With a screen, the user can be involved in a non-immersive VR or with glasses or a helmet with two screens in an immersive VR (tab. 2).

2.1.2. Virtual visit based on Real Reality (RR)

Nowadays there are many archaeological excavations, museums, interpretation centres and exhibitions that name photos or video recordings of specific spaces of Visible or Real Reality *virtual visits* in 360°. These images and videos allow the user to navigate freely and walk around on the screen in 2D or 3D. The most basic virtual visits allow 2D visualization on the computer screen, tablet or smartphone. The path that corresponds to this type of

Table 2

Technological variables path that defines the product “Virtual visit”, based on Virtual Reality (VR)

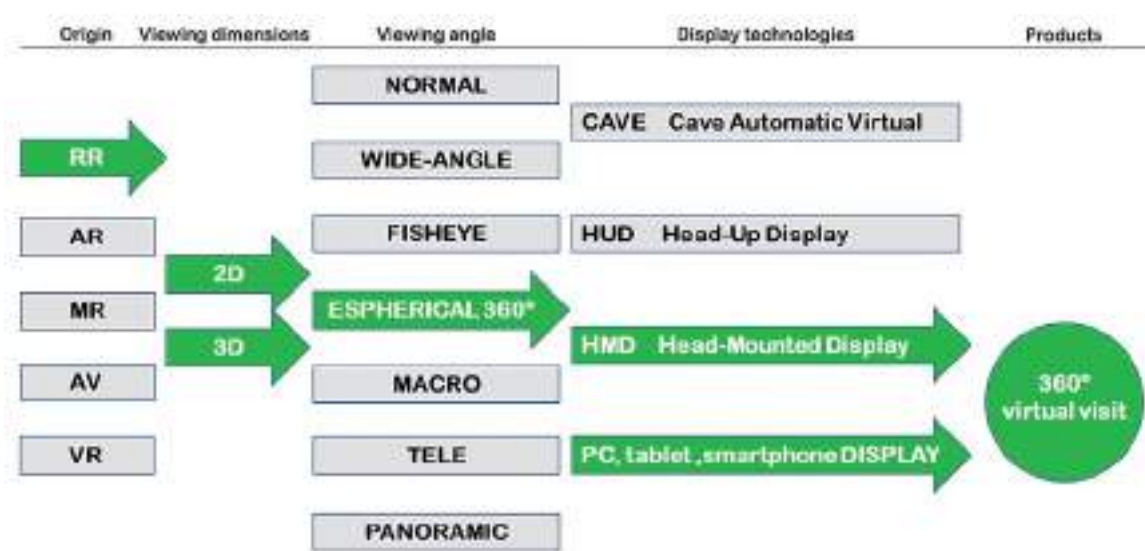


product is indicated in tab. 3 that is completely different to the path of the virtual visit based on Virtual Reality.

We understand that this type of product is called *virtual visit* because it does not represent *in situ* experiences. Also, at the marketing level it has advanced technological connotations, but the term is confusing because it is not part of a Virtual Reality. Therefore, the appropriate name is *360° virtual visits*.

Table 3

Technological variables path that defines the product “Virtual visit”, based on Real Reality (RR)



2.2. Analysis of the products “virtual visit” based on RR

These are products called *virtual visit*, which contain a number of points of interest (POI) with a 360° spherical photographs. They are usually referenced on an area plan and sometimes contain links to additional information, audio and indications to other points.

2.2.1. 360° virtual visit of the exhibition Romanorum Vita

The 360° *virtual visit* of the itinerant exhibition *Romanorum Vita* (fig.1) shows the daily life of the inhabitants of the Roman Empire city in the year 79 AD. This exhibition takes place in many cities in Spain (Merida, Zaragoza, Gijon, Cordoba, Malaga and others). On the official website, the user can access a *virtual tour*, an interactive tour that allows him to walk along a Roman street and visit a domus. In this case, the connection and transition between successive rooms is indicated by an arrow that appears on the screen. The virtual tour has complementary information that can be found by clicking on pictograms on the walls that allow access to graphic and audio documentation (see tab. 3).



Fig. 1.

Virtual access to the exhibition with an arrow that indicates the link to the next room and a pictogram with additional information. Print screen from the official web-site

2.2.2. 360° virtual visit of the British Museum

The virtual tour of the British Museum also presents a 360° *virtual visit* (fig. 2). It is an interactive 360° experience with the option of using VR glasses and VR headphones to increase the immersion experience. The menu of the visit is presented in the first photograph in 360° and is organized by themes and rooms.

The transition between rooms can be done by zooming. The user can access other spaces by consulting the indications of text boxes with pictograms. The route has four pictograms that show the direction, ascent, audio and image, allowing access to additional information (see tab. 3).

2.3. Analysis of the products “virtual visit” based on Augmented Virtuality (AV)

2.3.1. Barcino 3D

Barcino 3D (fig. 3, 4) is a multi-platform project developed by the City Council of Barcelona that can be accessed through a mobile application, online or by downloading it to the computer. It is a 3D reconstruction of the Roman city of the 3rd century of Barcelona. In this project, we can highlight three main types of virtual visits.

- *Walk*. Firstly, through the menu *walk*, you can visit streets freely or in automatic way.
- *360° Visualization*. The second option is to visit the Roman city by clicking one of the seven points on the 3D model by means of an aerial tour recorded of the model or by



Fig. 2.

Entrance to the virtual visit with the menu of each theme presented in different areas, which suggest views with 360° photographs. Print screen from the official web-site

means of a time bar of three positions. The first position allows to see the 360° image of the virtual model. The second is a mixed view between the current 360° image with the virtual elements. The last type is a current 360° photo. In each position, the user can see the 360° image manually or automatically.

- *Routes*. This menu promotes urban itineraries that can be done on site by foot. There are three guides promoted by the Museum of History and signposted in the streets of the old town.

2.3.2. Imageen. Reliving history

Imageen (fig. 5) is a project that virtually reconstructs different ancient cities of Spain (Tarraco, Cartagena, L'Esplugu, Cambrils). It is based on 3D models of monuments and urban structures that can be viewed through different devices: mobile, tablet and glasses. There are three main modes of visits that are offered.



Fig. 3.

Virtual panoramic walk in which the points with more information are shown. Print screen from the official web-site



Fig. 4.

360° image of the virtual tour. Print screen from the official web-site

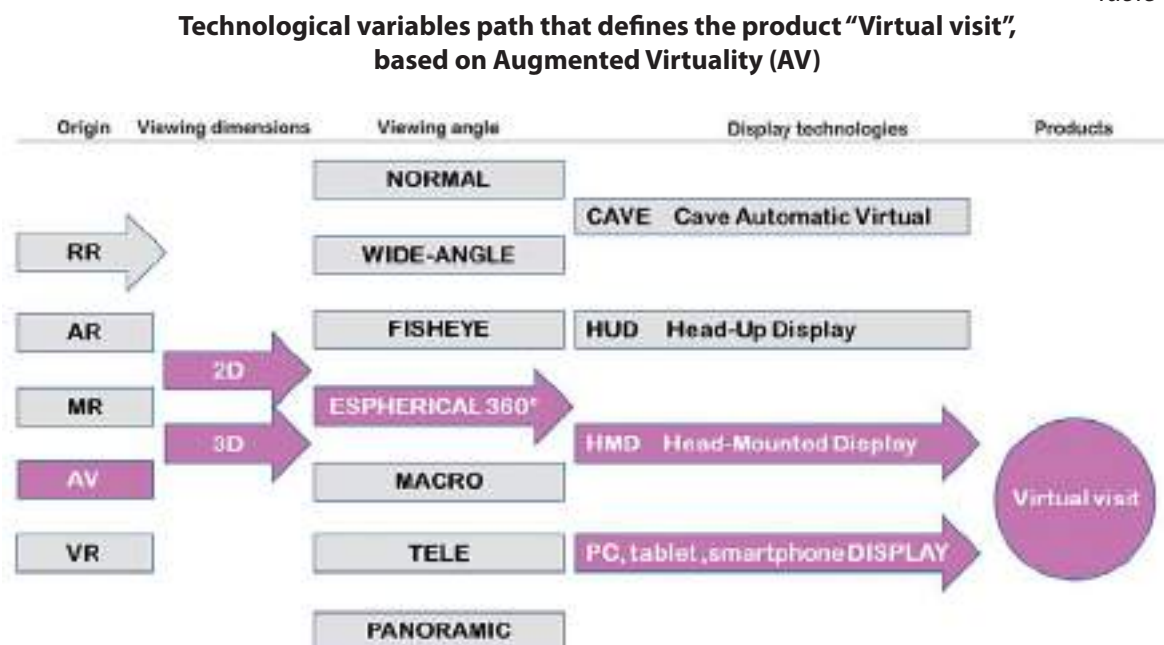
- *360° visualization*. View 360° slider allows choosing between view in “the past” and in “the present”, according to the position of the user (virtual point of view). It offers not only the architectural reconstruction, but all the vital atmosphere that was breathed there (chariots galloping at full speed in the circus, gladiators fighting in the amphitheatre, the audience screams, etc.). This technology allows comparing the views which makes this tool one of the most didactic.

- *Avatar*. Through a virtual guide, an avatar explains changes that took place in a certain place. The environment is progressively transformed so that the viewer easily understands the previous and present configuration of the place or a virtual point of view.
- *Pills*. The application incorporates different explanatory videos of short duration that allow the visitor to know the original layout of the city using bird's eye views and placing a virtual model within the old city.

2.3.3. Ara Pacis. The Ara as it was

In this project, Augmented Virtuality and Augmented Reality are used. The Ara Pacis project has nine stops or Points of Interest that can be visited with the use of the glasses (Samsung GearVR). In the first of two points with the reduced angle, visitors are immersed in a 360° Augmented Virtuality environment through the combination in virtual reality of live video, 3D reconstructions and computer graphics. The scenes include reconstructions of the main monuments such as the Campo Marzio and thematic scenes such as sacrifices made in 3D, through graphic computing and with theatrical representations with real actors. POIs 3–9 reveal details of Ara Pacis through Augmented Reality with the use of a 3D tracking system, recognizing the three-dimensional nature of the basreliefs of the sculpted objects, tracking them in real time. This recognition system causes the augmented contents like people, gestures, divinities and animals to be turned into 3D animations, appearing as an overlay on top of the real objects. This enhances the impact, immersivity and magic of the entire experience (tab. 4).

Table 4



2.4. Analysis of the products "virtual visit" based on VR

2.4.1. Ullastret 3D

The Ullastret Iberian site is considered to be the largest Iberian city in Catalonia (fig. 6). 3D reconstruction was done using a video game construction tool *Unreal Engine*. Two cultural tourist products have been created.



a



b

Fig. 5.

Print screens from the official web-site:
a – "The past" and "the present" views of Tarraco city;
b – an avatar who guides a virtual tour

The 180° audio-visual projection. The six-minute video is projected on three walls in a 10 m² museum room. The video recorded from the 3D model tells the story of a character who lived at that time and who recalls dramatic moments of his life in the city. The video is accompanied by audio effects and with original sound recordings of the natural environment and the site.

Scheduled virtual visit. It is the virtual tour with several stops with 360° images that can be viewed through HTC Vive glasses. The tour takes place through the places of the Iberian city of which the character speaks in the audio-visual (tab. 5).

Table 5

Technological variables path that defines the product “Virtual visit”, based on Virtual Reality (VR)

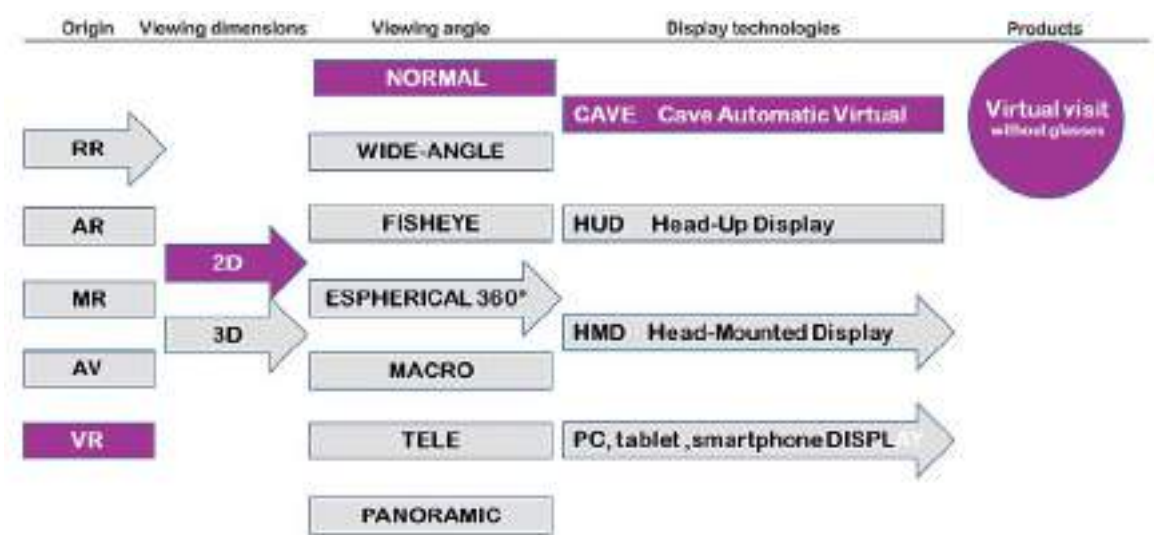


Fig. 6.

Virtual visit of the Ullastret Iberian site with the use of HTC Vive glasses.
Photo: I. Grevtsova, J. Sibina

Conclusions

In this study, we have discussed the use of ICT in cultural tourism products “visits”, called in many cases *virtual*, for the dissemination and communication of cultural heritage. These technologies allow us to visualize and experience all the realities of cultural heritage, ranging from the visible to the virtual, through the augmented and mixed.

The analysis shows that during the last years, a great variety of ICTs have been incorporated for heritage development of products in the tourism-cultural market, which opens a wide range of ways to improve audience experiences and contact with the past.

The study has led us to identify the main variables of the technological paths used. The summarizing table helps to establish a vocabulary that allows to technologically distinguish different types of products, verify the rigor of the recently launched proposals, and establish a consultation tool to define necessary technological characteristics for heritage development of new cultural products.

Nevertheless, the analysis shows that these types of technologies, which in fields such as medicine, education or leisure are well established products, have a long way to go in terms of tourism-cultural, as we have seen the limited variety of their use in archaeology heritage sector. The positive point of this observation is that it gives us an opportunity to develop new and original proposals.

REFERENCES

- Fritz et al. 2005**
Fritz F., Susperregui A., Linaza M. Enhancing Cultural Tourism Experiences with Augmented Reality Technologies // The 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST). Pisa, 2005.
- Guttentag 2010**
Guttentag D. Virtual Reality : Applications and Implications for Tourism // Tourism Management. 2010. Vol. 31. P. 637–651.
- Milgram, Kishino 1994**
Milgram P., Kishino F. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays // IEICE Transactions on Information Systems. 1994. Vol. E77-D, 12.
- Noh et al. 2009**
Noh Z., Sunar M. S., Pan Z. A Review on Augmented Reality for Virtual Heritage system // Learning by Playing. Game-Based Education System Design and Development. 2009. P. 50–61.
- Vlahakis et al. 2002**
Vlahakis V., Ioannidis N., Karigiannis J. et al. Archeoguide: An Augmented Reality Guide for Archaeological Sites // IEEE Computer Graphics and Applications. 2002. Vol. 22 (5). P. 52–60.
- Zollner et al. 2009**
Zollner M., Keil J., Wust H., Pletinckx D. An Augmented Reality Presentation System for Remote Cultural Heritage Sites // Proceedings of the 10th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST. 2009. P. 112–116.
- Yu et al. 2010**
Yu D., Jin J. S., Luo S. et al. A Useful Visualization Technique : A Literature Review for Augmented Reality and its Application, limitation and future direction // Visual Information Communication / eds. M. L. Huang, Q. V. Nguyen, K. Zhang. 2010. P. 311–337.
- Wagensberg 2014**
Wagensberg J. Ciencia y sociedad en el siglo XXI // Blog de la Cátedra de Cultura Científica. 2014. URL: <https://culturacientifica.com/2014/04/12/ciencia-y-sociedad-en-el-siglo-xxi-pot-jorge-wagensberg/> (date accessed: 26.04.2018).

А. М. Кульков

Ресурсный центр рентген-дифракционных методов исследований СПбГУ, РФ

М. А. Кулькова

РГПУ им. А. И. Герцена, РФ

ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ 3D-МИКРОТОМОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ АРТЕФАКТОВ

Введение

Рентгеновская 3D-микротомография является современным неразрушающим методом исследования внутреннего строения вещества. В основе микротомографии лежит принцип получения теневых картин распределения физической плотности объекта за счёт фиксации проходящего через этот объект частично поглощённого рентгеновского излучения. Этот принцип известен более ста лет и применяется при флюорографии, рентгеноскопии (фиксация двумерной теневой картины; объект, источник и приёмник излучения неподвижны) и медицинской томографии (объект исследования неподвижен, трёхмерная картина формируется за счёт синхронного движения источника и приёмника излучения).

В отличие от традиционной медицинской рентгеновской томографии, в микротомографах происходит вращение исследуемого образца в пучке рентгеновского излучения. Это позволяет увеличить пространственное разрешение метода до 0,2–5,0 мкм (в зависимости от прибора и размера образца), в то время как разрешение медицинских томографов ниже. По сути, микротомография представляет собой своеобразный рентгеновский микроскоп, позволяющий получить цифровую модель объёма образца, визуализировать и детально изучить внутреннее строение образца в 3D, производить геометрические расчёты и т. д.

Описание метода

Микротомографическое исследование включает в себя несколько процедур. Обязательные процедуры – это собственно сканирование образца и последующая реконструкция теневых изображений с построением базы изображений, перпендикулярных оси вращения образца. После этого возможно визуализировать полученные данные для качественного изучения внутреннего строения объекта и вывода необходимых изображений для дальнейшего использования. Также можно построить цифровую модель внутреннего строения образца для количественных измерений, виртуального препарирования и подготовки цифровой модели к 3D-печати.

Авторы работы пользовались сервисными программами фирмы Bruker, которые работают с открытыми форматами изображений типа .bmr, .jpg, .tiff. Реконструкция проводилась в программе NRecon. Для получения данных о геометрических параметрах образца, построения цифровой модели и работе с ней использовалась программа CTAn. Визуализация базы данных проводилась в программах CTVox (3D-визуализация) и DataViewer (2D-визуализация).

Несмотря на ограничения в максимальных размерах исследуемого образца (до 25,0 мм), метод микротомографии активно применяется в самых разных областях науки. В данной работе рассмотрены три основных направления микротомографических

исследований в области археологии и музейного дела и приведены примеры создания 3D-моделей.

Построение 3D-модели

Исследование было проведено для изготовления увеличенной работающей выставочной модели сирикса (голосового органа) вороны в рамках проекта «Art in Science» (образец предоставлен куратором работы Н. Егоровой, Петрозаводск). Перед сканированием сирикс был извлечён из спирта и просушен на воздухе в течение 30 минут. Сканирование проводилось на приборе SkyScan 1172 при напряжении на трубке 85 кВ, силе тока 116 мкА с 0,5 мм Al фильтром. Шаг сканирования 0,2 градуса, усреднение по 4 снимкам. Разрешение изображения 6,83 мкм/пиксель. После реконструкции при помощи программы CTVox были получены изображения объекта целиком (рис. 1, а), с полупрозрачной мышечной тканью (рис. 1, б), отдельно взаимоположение хрящей, составляющих сирикс (рис. 1, в).

Затем в программе CTAn хрящевая ткань была виртуально разделена на отдельные хрящи (рис. 1, г) и мембраны, для которых были построены цифровые 3D-модели для дальнейшей распечатки на 3D-принтере. Подобное представление отдельных деталей биологических объектов является наглядным для изучения анатомических объектов.

Определение породы древесного угля (древесины)

Определение породы древесного угля при помощи метода микротомографии проводилось на приборе SkyScan 2011, позволяющем проводить сканирование с разрешением 0,2–5,0 мкм/пиксель, так как для визуализации внутреннего строения угля (древесины) необходимо разрешение не менее 0,8 мкм/пиксель, в отдельных случаях требуется повысить разрешение до 0,3–0,4 мкм/пиксель. Для сканирования выбирался образец угля диаметром около 0,8–1,0 мм и вырезался так, чтобы удлинение образца совпадало с вертикальной осью дерева. Точность в размерах и ориентации образца не имеет существенного значения, но в дальнейшем облегчает исследование. Сканирование проводилось при напряжении на источнике 50 кВ, силе тока 0,4 мкА с усреднением по 4–5 снимкам и шагом сканирования 0,3 градуса.

Было отсканировано два образца древесного угля (предоставлены А. Мурашкиным, СПбГУ). На рисунке 2 показаны объёмные изображения визуализированной структуры угля (рис. 2, а, г), поперечные (трансаксиальные) (рис. 2, б, д) и тангенциальные (рис. 2, в, е) срезы. Верхние изображения (рис. 2, а, б, в) соответствуют образцу 1, нижние (рис. 2, г, д, е) – образцу 2.

Для образца 1 были выявлены морфологические признаки (взаиморасположение, форма и размер сосудов, размеры и тип радиальных лучей и т. д.), соответствующие дереву рода *Populus* (Бенькова, Швейнгрубер 2004). Аналогично второй образец был идентифицирован как уголь из древесины рода *Pinus*.

3D-визуализация порового пространства археологической керамики

Метод рентгеновской микротомографии позволяет получить данные о морфологии и происхождении пор, визуализировать отпечатки выгоревших при обжиге органических примесей и провести статистические исследования размеров и форм объектов, составляющих поровое пространство.

Для исследования пористости после реконструкции результатов сканирования в программе CTAn строится виртуальная цифровая модель порового пространства, в которой поры представляются как объекты исследования. Визуализация полученной модели в программе CTVox позволяет разделить поры, образовавшиеся при выгорании

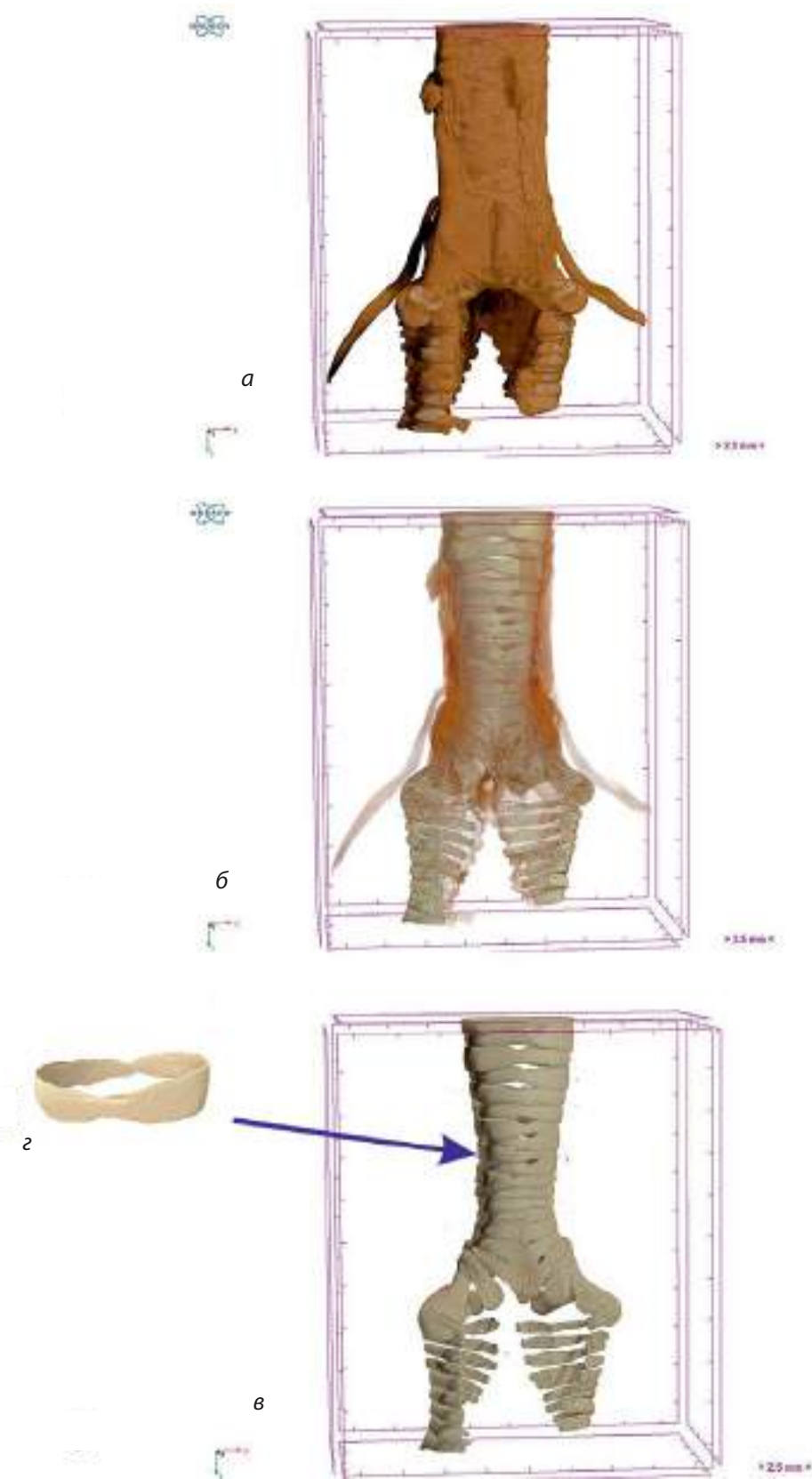


Рис. 1.

3D-реконструкция сирикса вороны: а, б – 3D-визуализация мышечной и хрящевой ткани; в – 3D-визуализация хрящевой ткани; г – 3D-модель виртуально препарированного хряща

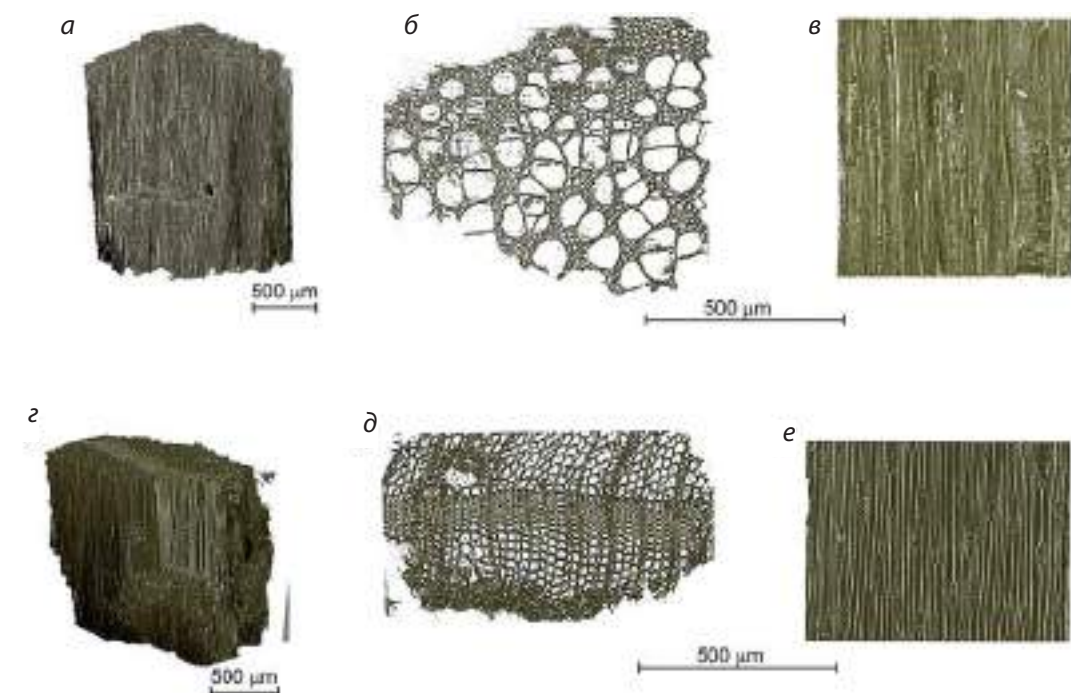


Рис. 2.

Результаты визуализации образцов древесного угля. Верхний ряд – структура древесного угля покрытосеменного растения (род *Populus*): а – 3D-визуализация строения образца; б – поперечное сечение; в – тангенциальное сечение. Нижний ряд – структура древесного угля голосеменного растения (род *Pinus*): г – 3D-визуализация строения образца; д – поперечное сечение; е – тангенциальное сечение

растительных остатков и поры, образовавшиеся при образовании трещин. Кроме того, можно выделить и рассмотреть отдельные поры. В ряде случаев это даёт возможность по морфологическим признакам определить органические примеси, добавленные в керамическое тесто или попавшие туда случайно вместе с глинистой составляющей.

На рисунке 3 представлены результаты визуализации отпечатков органических примесей в образце керамики (предоставлен Т. М. Гусенцовой), обнаруженной при раскопках памятника «Подолье» (4000 лет до н. э.).

Сканирование проводилось на приборе SkyScan 1172 при напряжении на трубке 100 кВ, силе тока 100 мкА, с усреднением по 4 снимкам и шагом сканирования 0,3 градуса.

Анализ порового пространства (рис. 3, а) показал, что поры в образце представлены преимущественно трёхмерными отпечатками примеси органического происхождения, причём их количество, формы и размеры (до 9,0 мм в выбранном образце) позволяют сделать обоснованное предположение о специальной добавке измельчённой растительности. Виртуальное препарирование некоторых 3D-отпечатков показало, что помимо стеблей и листьев в керамическое тесто попали семена растений (рис. 3, б–д, з) и фрагмент колоса (рис. 3, е). По внешнему виду семян и фрагментов растений был сделан вывод о принадлежности флористических примесей к семейству злаковых или осоковых. Кроме того, был обнаружен отпечаток (рис. 3, ж), представляющий собой, предположительно, усик коленчатого типа неопределённого насекомого.

К сожалению, не всегда имеется возможность идентифицировать растительность по оставшимся отпечаткам, так как попадающая в керамическое тесто растительность

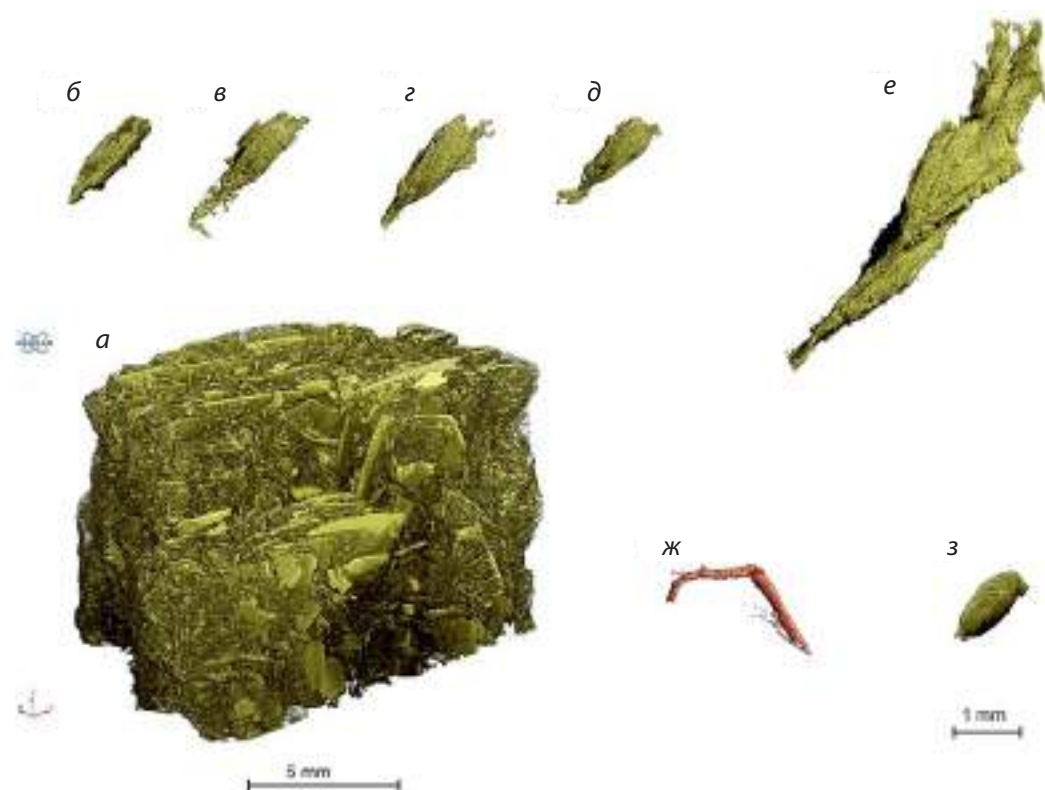


Рис. 3.

Визуализация порового пространства археологической керамики: *а* – 3D-визуализация порового пространства; *б, в, г, д, з* – виртуально препарированные отпечатки семян (зёрен); *е* – виртуально препарированный отпечаток части колоса растения; *ж* – виртуально препарированный отпечаток усика насекомого

может быть частично разложившейся (случайно попавшие корни и стебли водных растений из прибрежных глинистых отложений) или отпечатки не выявляют морфологических диагностических признаков.

При исследовании пористости археологической керамики методом рентгеновской томографии следует иметь в виду, что отсутствует возможность изучить поры размерами менее пространственного разрешения сканирования.

Заключение

Изучение внутренней структуры артефактов методом рентгеновской 3D-микротомографии является неразрушающим методом, позволяющим выявить особенности их строения, построить виртуальные цифровые 3D-модели, провести морфологические и статистические исследования.

На сегодняшний день рассматриваемый метод является уникальным для 3D-визуализации порового пространства артефактов. Кроме того, применение рентгеновской микротомографии позволяет упростить определение пород древесных углей и изучение анатомии древесины.

ЛИТЕРАТУРА

Бенькова, Швейнгрубер 2004

Бенькова В. Е., Швейнгрубер Ф. Х. Анатомия древесины растений России. М., 2004.

Ф. С. Малков

Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН, РФ

А. В. Харинский

Иркутский национальный исследовательский технический университет, РФ

ВОССОЗДАНИЕ МАЛЫХ НЕДОСТАЮЩИХ ФРАГМЕНТОВ КЕРАМИЧЕСКИХ СОСУДОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ И 3D-ПЕЧАТИ

В лаборатории археологии, палеоэкологии и систем жизнедеятельности народов Северной Азии ИРНТУ (ЛАПиСЖНСА, далее – лаборатория археологии ИрГТУ) с 2012 года начаты работы по трёхмерному сканированию археологического материала (Малков 2013). За прошедшее время было отсканировано немало археологических артефактов, в том числе и керамических сосудов.

В 2014 году была предложена методика, состоящая из четырёх различных вариантов виртуальной реконструкции сосудов (Малков 2014), которая основывается на выделении профиля сосуда из трёхмерной модели, реконструкции профиля сосуда (по возможности) и получения тела вращения с помощью профиля. В результате виртуальной реконструкции сосуда по профилю получается идеальное тело. Как известно, все керамические сосуды, изготовленные вручную и значительное время находившиеся в земле, не имеют полностью симметричной формы. Поэтому при сравнении идеальной симметричной модели сосуда с его реконструкцией, сделанной посредством склеивания отдельных фрагментов, можно заметить некоторые несостыковки при наложении модели на графическое изображение реконструированной ёмкости, особенно по её краям. Результаты такой реконструкции можно использовать для последующей трёхмерной печати, но только после её доработки и приближения полученной идеальной модели сосуда к неидеальной форме реконструированного оригинального сосуда.

Ввиду всего вышеперечисленного было решено разработать методику воссоздания малых недостающих фрагментов по результатам трёхмерного сканирования или фотограмметрии (Зайцева 2014) с последующей трёхмерной печатью недостающих фрагментов и их вставкой в те места керамических сосудов, где они отсутствуют.

Для выполнения данной задачи была предложена следующая последовательность этапов и действий:

Этап I. Подготовка модели:

1. Подготовка трёхмерной модели сосуда к реконструкции, а именно заливка всех отверстий полигональной сетки сосуда (геометрия сколов должна остаться без изменений) и удаление текстуры (при наличии).
2. Экспорт исходного объекта в отдельный файл.

Этап II. Заливка отверстия (реконструируемого фрагмента):

1. Выделение внутренней кромки отверстия.
2. Удаление полигонов трёхмерной модели выделенной кромки отверстия.
3. Создание твёрдой поверхности (заливка реконструируемого отверстия).
- 3а. Если происходит реконструкция венчика, необходимо обозначить с помощью инструмента «Мост» верхнюю границу венчика.
4. Экспорт новой модели в отдельный файл.

Этап III. Подготовка к выделению реконструируемой керамики в программе Meshmixer:

1. Импорт оригинальной модели без отверстий и модели с залитым отверстием.
2. Использование режима «Sculpt» с комбинацией кистей «Flatten», «Drag», «Attract» и «Robust smooth» для выделения границ реконструкции от оригинала.
3. Экспорт полученной модели в отдельный файл.

Этап IV. Подготовка к 3D-печати с помощью программы Autodesk Netfabb:

1. Импорт полученной модели сосуда с реконструированным отверстием в программу.
- 1а. Заполнение отверстий в модели с целью получения сплошной поверхности сосуда.
2. Импорт оригинальной модели сосуда.
3. Вычитание оригинальной модели сосуда из модели сосуда с реконструированным фрагментом с помощью инструмента «Логические операции».
4. Обрезка полученного фрагмента и удаление лишних элементов полигональной сетки.
5. Обрезка острых граней на модели на стороне внутренней стенки фрагмента. Подразумевается, что реконструируемый фрагмент будет вставляться от внешней стенки, а донышко – из самого сосуда.
6. Исправление отверстий в полигональной модели до получения сплошного фрагмента керамики без отверстий.
7. Экспорт полученной модели в файл.

Этапы со второго по четвёртый повторять до тех пор, пока не будут реконструированы все необходимые фрагменты.

Трёхмерная печать изготовленных фрагментов на принтере по технологии FDM выполнялась с разрешением 0,2 мм соплом 0,4 мм следующими пластиками российского производства:

- ABS, PLA и Watson (SBS Glass) компании BestFilament;
- PLA, ABS и SBS Glass компании FDplast;
- PLA компании VolPrint.

Материал Pet-g, как и другие материалы, из-за высокой сложности для постобработки и высокой цены не рассматривался.

Задача подготовки фрагмента керамики для трёхмерной печати и выбор материала для печати заключается в изготовлении такого фрагмента, который можно будет вставить в реконструируемый сосуд без его разборки. Какое-либо физическое изменение самого сосуда, в том числе подпиливание граней оригинального сосуда для вставки реконструируемого фрагмента, не допускается.

Все фрагменты печатались с поддержками модели. Плотность заполнения моделей была установлена в 20 %.

Материал PLA от всех трёх производителей показал одинаковое качество печати и некоторую сложность при вставке полученных деталей в реконструируемый сосуд.

Механическая постобработка, заключающаяся в подпиливание граней реконструируемого фрагмента и удалении напечатанных поддержек модели, имела некоторую трудность.

ABS-пластик от рассматриваемых производителей показал хорошее качество печати. Поддержки удалялись гораздо лучше, чем в случае с PLA-материалом. Механическая обработка, заключающаяся в обработке граней фрагмента, также не вызвала проблем.

Watson (SBS Glass, прозрачный) от компании Bestfilament, как и SBS Glass цвет «дымчатое стекло» от FDplast, показали нормальное качество печати. По сравнению с материалами ABS и PLA, SBS Glass можно обрабатывать механически с помощью канцелярского ножа, если имеется необходимость дополнительной корректировки при вставке фрагмента в сосуд.

При подготовке к печати все фрагменты располагались внутренней стороной вниз (стороной, где должна быть поддержка). Все фрагменты печатались в масштабах по X/Y (высота/ширина) от 93,5 % (PLA) до 98 % (SBS Glass), где масштаб по X всегда должен быть равен масштабу по Y. Масштаб по координате Z (толщина фрагмента) не изменялся и был равен 100 % для всех материалов. Как показала практика, нет единого способа вычислить необходимый масштаб для печати фрагментов. Всё зависит от внутренней структуры сколов реконструируемого фрагмента, а также свойств усадки материала.

В итоге можно сделать вывод, что нельзя назвать конкретный материал и конкретного производителя пластика, которые идеально подходят для задач реконструкции фрагментов керамики. Исследователь волен использовать тот материал, который больше подходит по цвету, свойствам текстуры, опыту работы с материалом для трёхмерной печати и наличием технической возможности (ABS, SBS требуют наличия нагреваемого стола) и самого материала.

Стоит отметить, что если планируется печать больших фрагментов керамики, которые должны выполнять несущую функцию, следует использовать твёрдые материалы, такие как PLA и ABS. Для материала ABS не следует забывать, что если необходимо изготовить очень большой фрагмент сосуда, то в случае с ABS возможен отрыв от стола изготавливаемого фрагмента и нарушение его геометрии.

При изготовлении реконструкций сосудов, а также фрагментов сосудов с экспозиционными задачами, можно рассмотреть использование различных декоративных пластиков, таких как Ceramo-tech компании Filamentarno, или SBS Glass флуоресцентный (светится под ультрафиолетом), или же любых других пластиков. Если требуется скрыть оставшиеся щели между керамикой и реконструируемым фрагментом, можно воспользоваться 3D-ручкой. С её помощью щели заполняются жидким пластиком, который через некоторое время твердеет. Правда, при этом появятся трудности при обратном извлечении реконструируемого фрагмента из сосуда. Помимо прочего, цвет реконструируемого фрагмента может быть специально подобран, для этого он может быть загрунтован и раскрашен акриловыми красками.

При печати отсутствующих фрагментов керамики для других сосудов процентное соотношение отверстия и заполняющего его пластикового фрагмента могут быть совершенно другими. Для решения обратной задачи, а именно воссоздания форм сосудов по малым фрагментам, масштаб изготавливаемого фрагмента должен быть наоборот увеличен.

Оценивая временные трудозатраты на трёхмерную реконструкцию и изготовление одного фрагмента керамики с помощью трёхмерной печати, можно привести следующие значения:

- Подготовка сосуда к реконструкции (этап 1) – от 20 до 60 минут.
- Полная трёхмерная реконструкция одного фрагмента:
 - большой фрагмент – от 60 до 90 минут, с учётом времени на компьютерные вычисления;
 - малый фрагмент – от 30 до 60 минут, с учётом времени на компьютерные вычисления.
- Трёхмерная печать одного фрагмента с толщиной слоя 0,2 мм:
 - малые фрагменты – от 5 до 15 минут;
 - большие фрагменты – от 30 до 80 минут.
- Вставка фрагмента в сосуд – от 2 до 10 минут.

Трёхмерная печать одного фрагмента может потребоваться несколько раз, пока не будет подобран его оптимальный масштаб, позволяющий вставить этот фрагмент в сосуд. В результате общее время реконструкции одного фрагмента, без учёта времени на подготовку сосуда к реконструкции, составляет около двух часов.

Для реализации метода полной реконструкции керамических ёмкостей при помощи распечатки недостающих фрагментов на 3D-принтере было решено использовать сосуд, обнаруженный в первом культуросодержащем слое городища-святилища Байкальское 1 (рис. 1), расположенного на северо-западном побережье озера Байкал (Харинский 2015; Харинский 2016). Во время раскопок остатки сосуда были обнаружены недалеко друг от друга. Они были представлены крупными фрагментами, что позволило реконструировать практически всю ёмкость. До полной реконструкции не хватало нескольких фрагментов на тулове и дне сосуда. Отсутствующие фрагменты решено было напечатать на 3D-принтере и вставить их в незаполненные отверстия. После изготовления недостающих фрагментов керамики они были вставлены в сосуд (рис. 1, 2). При необходимости вставленные в сосуд фрагменты из пластика можно было из него извлечь и хранить отдельно (рис. 3).



Рис. 1.

Керамический сосуд из первого культуросодержащего слоя городища-святилища Байкальское 1. Фотография А. В. Харинского



Рис. 2.

Сосуд с городища-святилища Байкальское 1 со вставленными реконструированными фрагментами. Фотография А. В. Харинского



Рис. 3.

Реконструированные фрагменты керамических сосудов разных размеров и из разных материалов. Фотография Ф. С. Малкова

Методика изготовления недостающих фрагментов керамических сосудов на 3D-принтере была апробирована на ёмкостях железного века и показала определённые преимущества перед традиционными методами реконструкции керамики. Сделанные из пластика фрагменты в случае необходимости можно извлекать из сосудов. При этом не происходит разрушения ни стенок сосудов, ни пластиковых фрагментов. Также можно поменять одни пластиковые фрагменты на другие, например, изменив их окраску, что бывает необходимо сделать при разных условиях демонстрации артефактов.

ЛИТЕРАТУРА

Зайцева 2014

Зайцева О. В. 3D-фиксация и визуализация результатов археологических рископок: сравнение методик трёхмерного сканирования и наземной фотограмметрии // Труды IV (XX) Всероссийского археологического съезда в Казани. 2014. Т. 4. С. 300–302.

Малков 2013

Малков Ф. С. 3D-формат в археологических исследованиях и новые возможности представления результатов работ // Археология, этнология и антропология АТР : Междисциплинарный аспект : материалы докладов LIII Региональной (IX Всероссийской с международным участием) археолого-этнографической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 24–30 марта 2013 г., Владивосток. Владивосток, 2013. С. 37–39.

Малков 2014

Малков Ф. С. Виртуальное восстановление сосудов на основе 3D-сканирования // Древние культуры Монголии и Байкальской Сибири : материалы V Междунар. научн. конф. : в 2 ч. Кызыл, 15–19 сентября 2014 г. 2014. Ч. 2. С. 157–161.

Харинский 2015

Харинский А. В. Городища-святилища в структуре сакральных представлений древнего населения Предбайкалья // Изв. Иркут. гос. ун-та. 2015. Т. 13. (Серия «История»).

Харинский 2016

Харинский А. В. Городища-святилища северо-западного побережья озера Байкал: размещение, структура и конструктивные элементы // Древние культуры Монголии, Байкальской Сибири и Северного Китая : материалы VII Междунар. научн. конф. : в 2 т. Т. 1. Красноярск, 2016.

Maria Cristina Manzetti

Laboratory of Geophysical-Satellite Remote Sensing & Archaeo-Environment,
Foundation for Research and Technology Hellas (F.O.R.T.H.), Greece

Panagiotis Parthenios

Department of Architectural Engineering, Technical University of Crete, Greece

A NEW METHODOLOGY FOR ANCIENT THEATRE ARCHITECTURE HYPOTHESES VERIFICATION

Introduction

The analysis of visibility in archaeology has found widespread application, above all in landscapes' studies, since the '80s. In particular, this kind of analysis has been considered useful to investigate the distribution of sites and relationships between them (Wheatley 1995, 173–185), to understand defensive techniques of ancient populations (Loots et al. 1999), to study the likely rituals connected to prehistoric monuments and to examine the connection between monuments/sites and astronomical events (Fisher et al. 1997, 581–594).

The important information obtained through the application of visibility analysis in archaeological contexts has encouraged the archaeologists to use it more frequently, above all with the advent of GIS technology (Lake, Woodman 2003, 659–695). On the other hand, during all these years, a large part of archaeologists has left behind the other fundamental senses of the human perception: the hearing, the smell and the touch. David Wheatley has efficiently resumed the critique, developed in the last fifteen years, to the common concept that the sight is the main sense of our body and then the most widely investigated in order to understand our past culture and ancient civilizations (Wheatley 2014, 121–127).

In addition, limiting visibility studies to the landscapes and to urban-social environments (as it has been done till now) means underestimating the potentiality of this instrument. Visibility analysis can also be useful in order to interpret the architecture of ancient monuments and buildings, especially with the help of digital tools and 3D models, which allow the specialists to give a full three-dimensional shape, although virtual, to the archaeological remains. In the same way, also virtual acoustics analysis can prove helpful in enhancing hypothetical reconstructions of monuments and buildings.

The aim of this paper is to present a methodology which combines 3D visibility analysis and virtual acoustics analysis to study one of the three Roman theatres at Gortyna, the one located at Kazinedes, in order to propose a more reliable hypothesis about its original structure. In particular: through the 3D visibility analysis, the visibility of the stage from the seating area will be verified; through the virtual acoustics analysis, the comprehension of speech or music by the spectators will be taken into account.

Visibility and acoustics analysis in archaeology

During the years, several approaches have succeeded one another in order to achieve a high degree of reliability and to obtain as much archaeological information as possible through visibility analysis: isovist (Benedikt 1979, 49–65), visibility graph (Turner et al. 2001, 106–118), viewshed analysis (Fisher 1996, 1298–1301) and texture viewshed that sees the combination of GIS analysis and 3D modelling (Earl 2005; Paliou et al. 2011, 380–385).

Indeed, since the beginning of the 21st century, the main issue of visibility analysis is the need to work in a full 3D environment, in order to consider also vertical faces (for example trees and buildings), and therefore to have a more exact approach and to obtain more reliable results. In the very last years, a faster methodology has been applied in the *insula V* of Pompeii (Landeschi et al. 2015, 356–358), which consists in the possibility to calculate lines of sight (trajectories showing through different colours if the observer sees or not the target) directly within the 3D model, through the visibility toolbox of ArcGIS, in order to verify the visibility of an alphabetical inscription and of a political announcement.

Luckily, in the last years, the interest toward the hearing has been increased also among the archaeologists (and not only) as demonstrated by the word “archaeoacoustics” (Till 2014, 24–27), which indicates a multidisciplinary approach in the study of the sound of the past and its effects on our ancestors. Obviously, many acoustics analyses have been done already, in particular in ancient theatres (Canac 1967, 19–179), but very rarely these works were conducted by archaeologists. Mainly, the acoustics measurements were taken in order to know the acoustics properties of historical buildings and not really to reconstruct the history of those buildings, with very few exceptions (Chourmouziadou, Kang 2008, 514–529; Gugliermetti et al. 2008, 157–165).

Finally, Paliou and Knight proposed to combine visual data and acoustics data, in order to obtain more information about the sensations the worshippers were feeling and the stimuli they were receiving, within the Church of San Vitale in Ravenna (Italy), during the liturgy (Paliou, Knight 2013, 233–234). They created a combined map (visual data obtained by the visibility analysis, plus acoustics data derived from the in situ measurements) indicating the sensory catchment in the area of the church, in order to study which are the privileged positions in the building to assist the liturgy; in particular they wanted to examine the social differences between men and women, according to the area they occupied in the church (floor and *matroneum*).

The recent development of software, which enables to simulate acoustics measurements in a virtual environment, has allowed specialists to investigate the original acoustics properties of ancient theatres through their 3D reconstructions, with the advantage to consider all their architectural elements and not only those that have been preserved and/or modified during the centuries (Iannace et al. 2011; Lisa et al. 2006, 20–25).

Methodology

The methodology sees the use of several software, because there is not only one that combines 3D modelling, visibility analysis and acoustics analysis.

First and foremost, all the information (descriptions, plan, section and aerial image) regarding the chosen theatre has been collected, studied and analysed. A 3D model of the reconstruction hypothesis of the theatre, proposed by the archaeologist Gilberto Montali (Montali 2006, 237–289), has been created, tracing his plan and section in AutoCAD and then modelled in 3D Studio Max.

In AutoCAD, a grid of observer points (representing the spectators) has been made as well. The grid consists of four rows formed by 124 observer points located 75 centimetres higher than the corresponding seat in order to simulate the average eye-level of a seated man/woman. Four rows of points are sufficient to verify the quality of visibility, considering that from the central area of the theatre the stage is probably visible. In particular, it is important to examine the visibility conditions of the spectators seating at the sides of the cavea (the observer points here are placed 80 centimeters far from the converging walls to take into account the space occupied by the probable stepladders), where the converging walls of the

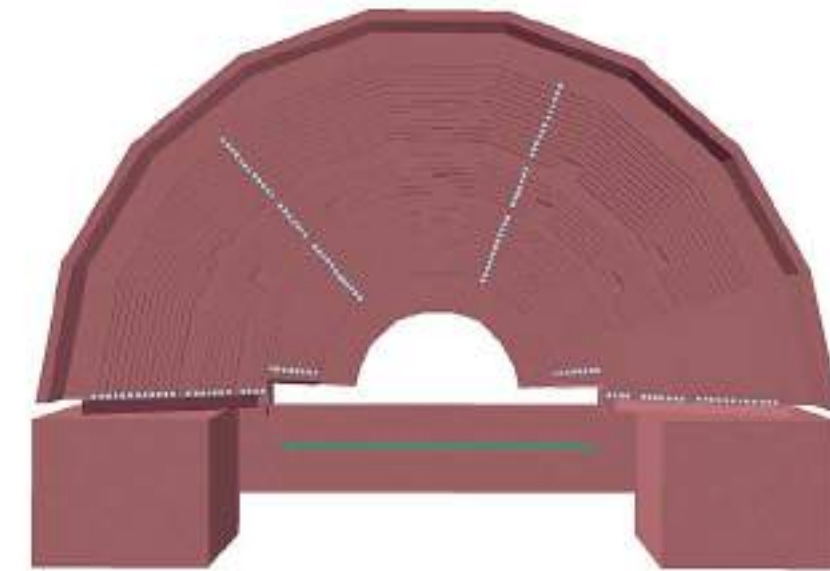


Fig. 1.
3D model of the theatre of Gortyna, at Kazinedes, plus grid of observer points and target line.
Image: M. C. Manzetti

analemma, or the basilicas, can be an obstacle. However, two rows of points are placed also in the central area to compare the results among the different locations, and to check the visibility from the first rows in case the stage would be too high, impeding the view.

The simplified 3D model and its grid have been then imported in ArcScene, the 3D visualization application of ArcGIS. A line (the target) has been drawn at the centre of the stage (almost as long as it), 160 centimetres higher than its floor with the purpose to represent the possible position of the actors/actresses (fig. 1).

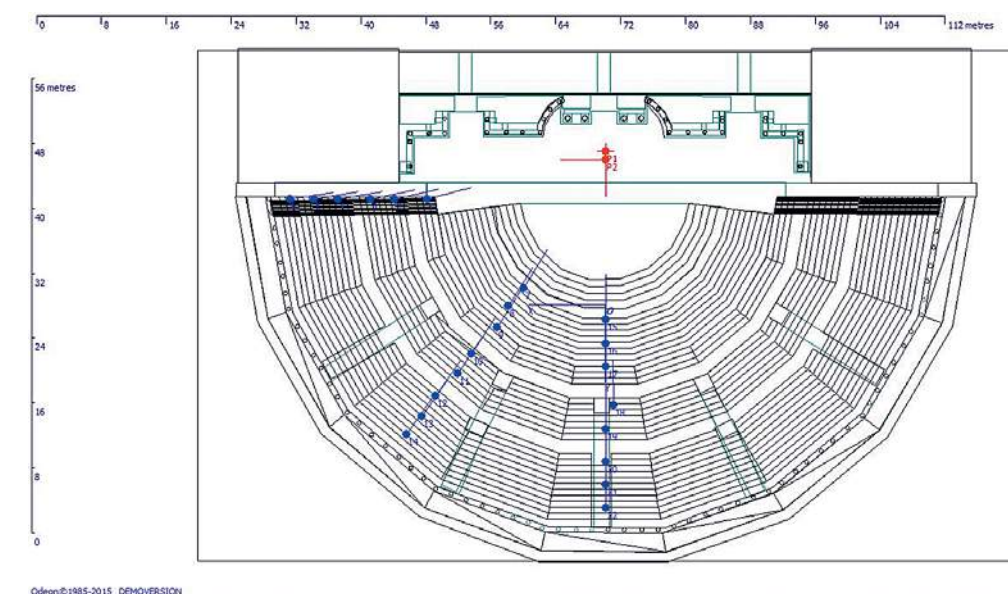


Fig. 2.
3D model of the theatre of Gortyna at Kazinedes, plus source and receivers.
Image: M. C. Manzetti

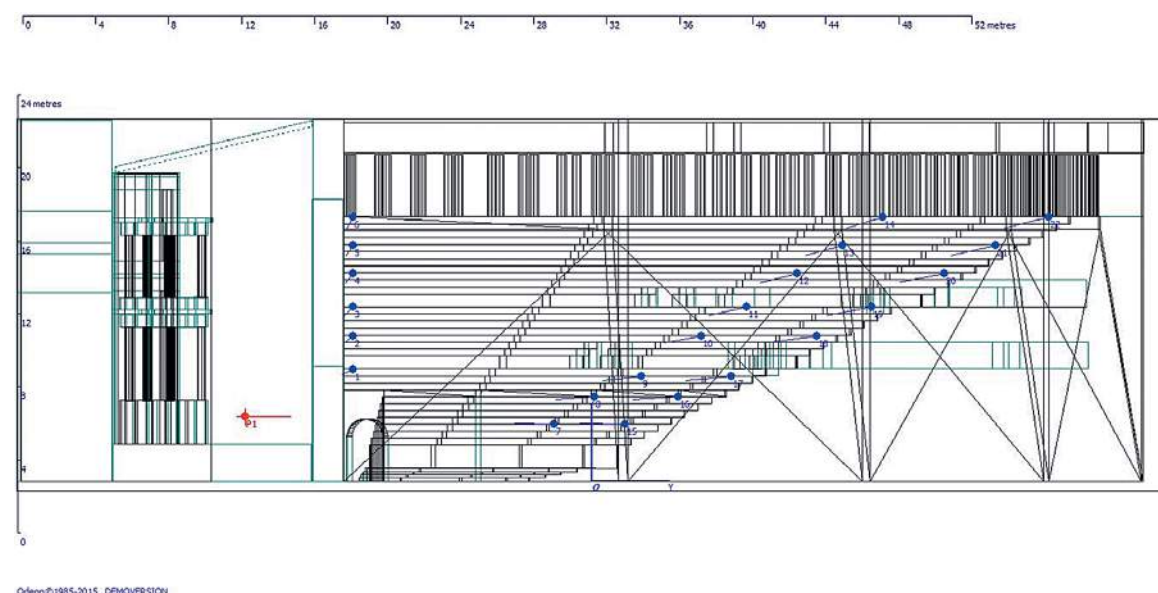


Fig. 3.

Section of the 3D model of the theatre of Gortyna at Kazinedes, plus source and receives.
Image: M. C. Manzetti

Lines of sight have been built between the grid and the line; they show through two different colours which spectators can see the actor/actress in one or many positions across the stage (green lines) and those that have no visibility (red lines) of him/her in one or more positions. Even more interesting is the identification of the obstruction points, that is the exact localization of the elements that obstruct the visibility; therefore they allow us to hypothesize which architectural parts might be wrongly reconstructed or misfit. In addition raster maps have been produced too, in order to visualize the frequency of visibility from the observer points: these maps make possible to visualize how many observer points see the stage or part of it (Manzetti 2016, 39–42).

Afterwards, the 3D model has been imported in the software Odeon Room Acoustics; a source has been placed at the centre of the stage (again 160 centimetres higher than the floor) assigning to it an overall gain of 60 dB, and 22 receivers (75 centimetres higher than the seats) have been placed in three radial lines in one half of the cavea (being this specular there is no need to place receivers also on the opposite side) (fig. 2, 3).

The appropriate materials (bricks, marble and stone), alongside the relative absorption coefficients, have been assigned to all the surfaces of the 3D models, including the seating area, where a material simulating the presence of the audience has been set. The scattering coefficient (that indicates the decrease of the intensity of a signal, due to the discontinuities the signal encounters when it reaches the surfaces and their material) has also been assigned, in order to describe the physical properties of the surface. Once all the settings have been modified and the correctness of the 3D model checked, the software can measure the impulse response for each receiver and consequently it gives the values of several parameters useful to judge the quality of the acoustics: reverberation time (T60), clarity (C80), definition (D50) and speech transmission index (STI) are the ones considered in this study.

The reverberation time is the time a sound takes to decrease after it stops; the ideal value for the speech is around one second, the ideal one for the music is around two seconds. The clarity represents the level of comprehension of single sounds in a complex signal; we have

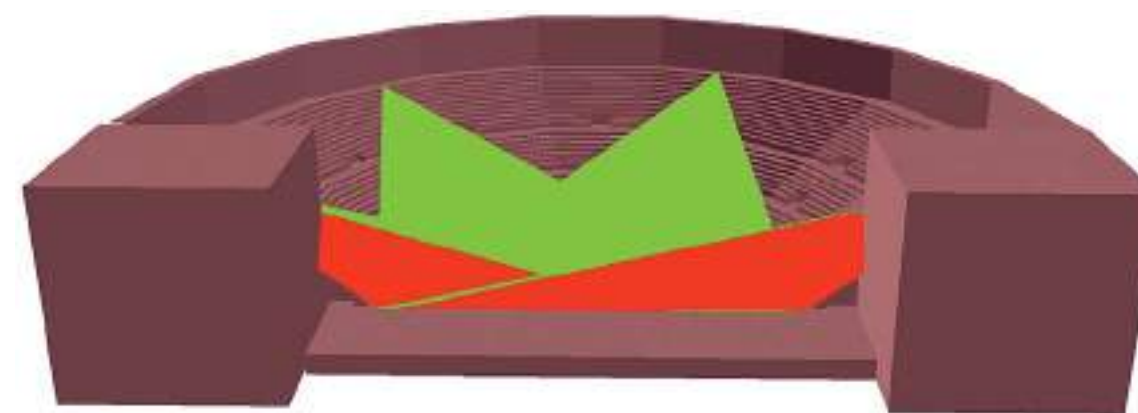


Fig. 4.

Lines of sight in Montali's hypothesis. Image: M. C. Manzetti

an appropriate acoustics for speech when the value of C80 is equal or greater than 3 dB, while for music the value should be under 3 dB. The definition indicates the level of clarity of the speech, the easiness for the listener to understand the message of the speaker; in order to have an acceptable quality of the acoustics for the speech, the value of D50 has to be higher than 0.50 (by definition it is included within 0 and 1). The Speech Transmission Index establishes objectively the quality of level spoken, calculating the combined effect of background noise and reverberation on the intelligibility of the speech; values of STI above 0.60 means a good and excellent intelligibility, under 0.60 is fair and bad (Spagnolo 2014, 760–807).

Case study and results

The theatre of Gortyna (Crete), in locality Kazinedes, is the monument chosen for application of this combined methodology. The theatre is partially visible on the surface, but it has not been excavated yet, so it is very challenging to try to reconstruct its original structure.

The first descriptions of the theatre are dated to the 16th century, but till the end of the 20th century it was confused with an amphitheatre by many scholars. Finally, when the real amphitheatre was discovered, the correct interpretation was made (Di Vita 1991). This theatre has been investigated recently only by Gilberto Montali, who has proposed his own hypothetical reconstruction, based on his archaeological knowledge and on analogies with other Roman theatres. In his reconstruction, the cavea is divided into three sectors, plus four rows for the *proedria* on the orchestra, overlooked by a portico at its very top. The *scaenae frons* is composed by two storey, a central semi-circular niche and two rectangular niches at the sides (the niches correspond to the entrances reserved to the actors) and it is flanked by two basilicas.

The resulting lines of sight obtained from the 3D model representing Montali's hypothesis, show that 15 % of these lines indicate not visible trajectories (fig. 4). It is clear, from the location of the obstruction points, that the basilicas are the main obstacle to the visibility of the stage for the spectators seating on the sides (fig. 5).

The visibility map shows that only the very frontal part of the stage is visible to everyone (blue colour), while we may suppose that the actors were playing mainly in the central area of the stage, which is visible by around 100 spectators out of 124 (fig. 6).

The results of the virtual acoustics analysis gives the following values (considering all 22 receivers and the range of frequencies between 125 and 2000 Hz): T60 between 1.10

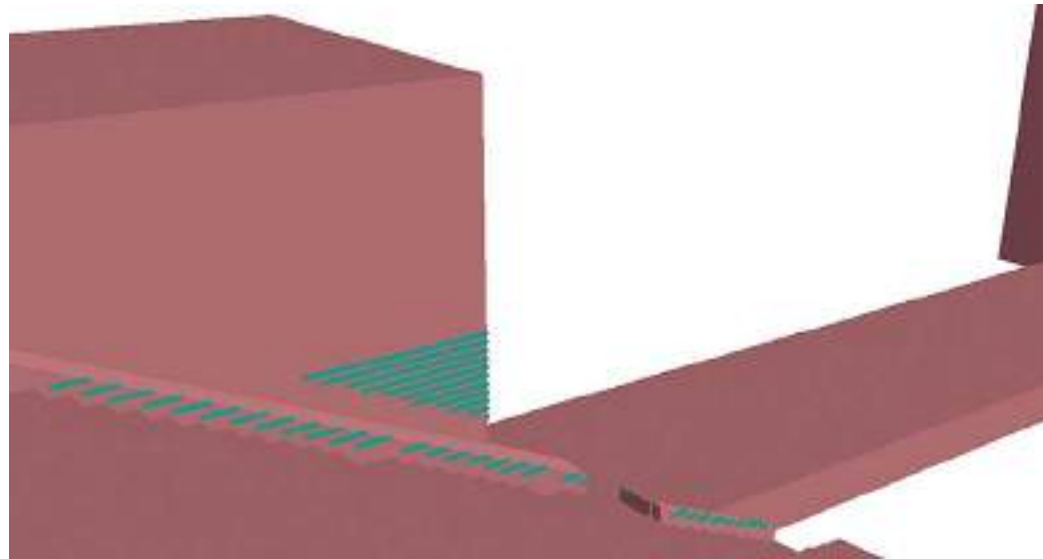


Fig. 5.
Obstruction points of Montali's hypothesis.
Image: M. C. Manzetti

and 1.97 seconds, C80 between -4.5 and 9.9 dB, D50 between 0.23 and 0.88, and STI between 0.56 and 0.76. The results show an acoustics quality that is not acceptable: even if the reverberation time can be considered good, the clarity and the definition, in numerous receivers, do not achieve values suitable for a comprehension of the speech and neither for listening to a music performance (25% of the values of the clarity are under 3 dB and 15% of the values of definition are under 0.50).

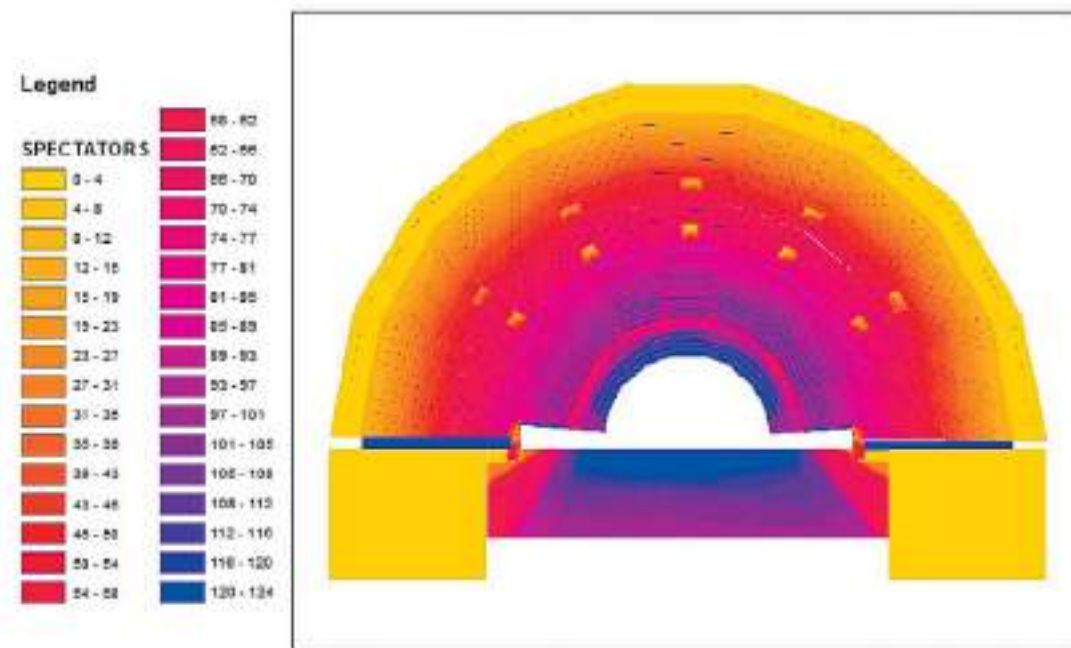


Fig. 6.
Visibility map of Montali's hypothetical reconstruction of the theatre of Gortyna, at Kazinedes.
Image: M. C. Manzetti



Fig. 7.
Satellite images of the site of the theatre of Gortyna at Kazinedes (from Google Earth).
Image: M. C. Manzetti

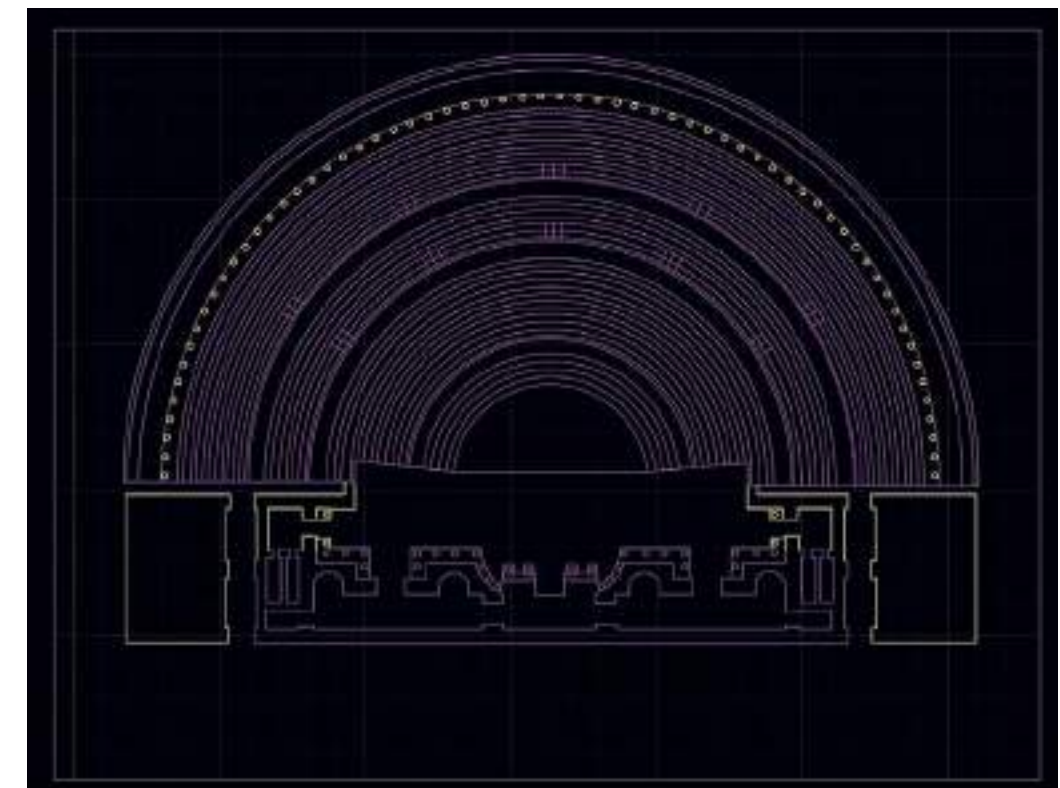


Fig. 8.
Representation of the plan of the hypothetical reconstructions proposed by Montali. The purple lines indicate the architectural parts according to the author's views and the yellow lines indicate the architectural parts that have been modified in the second model analysed.
Image: M. C. Manzetti

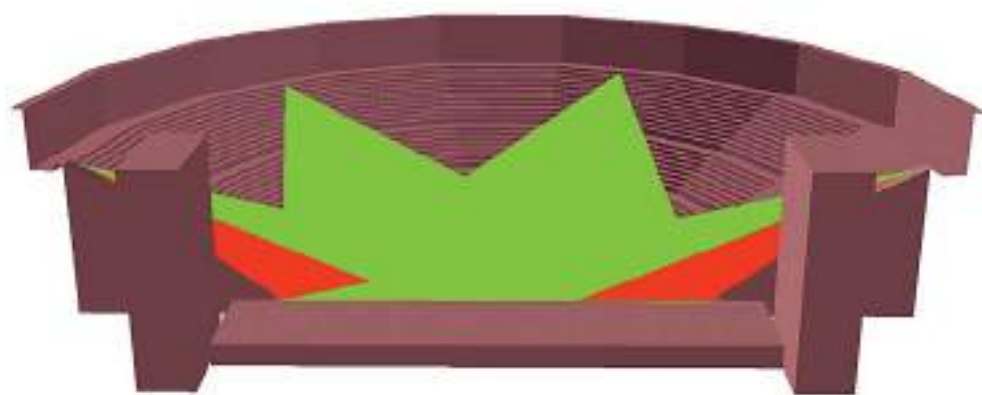


Fig. 9.

Lines of sight of the alternative reconstructive hypothesis of the theatre of Gortyna, at Kazinedes.
Image: M. C. Manzetti

Another 3D model, with some modifications in the architectural structure, has been tested. Comparing the plan drawn by Montali and the satellite image of the site (fig. 7), we have noticed some incongruities that are shown in fig. 8. It seems there are no remains between the cavea and the scene building. There actually appears to be a corridor between the two structures. Therefore, the second 3D model has been constructed with an open corridor between the seating area and the scene building, moving back and reducing the size of the basilicas that are the main obstacles to the visibility. The portico in *summa* cavea hypothesized by Montali, has been removed as well, because it generally produces late reflections which influence the quality of the acoustics, and because there are not clear proofs of it.

The 3D visibility analysis shows that 8% of the lines of sight are not visible trajectories (fig. 9) and the visibility map presents a stage, whose central area is visible by all the spectators (fig. 10).

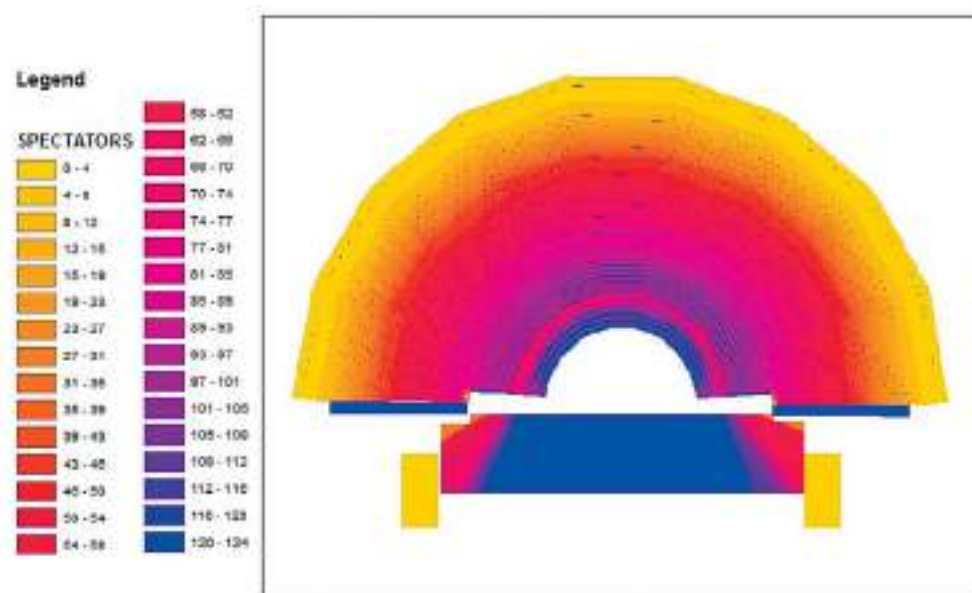


Fig. 10.

Visibility map of the second hypothetical reconstruction of the theatre of Gortyna, at Kazinedes.
Image: M. C. Manzetti

The virtual acoustics analysis of this model revealed a better quality than the previous one, for the comprehension of the speech. The values obtained are the following: T60 between 0.62 and 1.73; C80 between 1.2 and 10.9 dB; D50 between 0.48 and 0.85; and STI between 0.66 and 0.73. About the clarity and definition, respectively, only 7% and 1% of the receivers present a value under 3 dB and under 0.50. The results for all the parameters demonstrate that the architectural structure of the second model is suitable to have a speech performance.

Conclusion

This study demonstrates two main aspects which are expected to be further developed in the future and be applied more frequently to the archaeological research.

First, digital instruments and 3D models have proved to be essential in the study and analysis of archaeological sites. Without the opportunity to virtually reconstruct the theatre at Kazinedes, we could not probably have so many possibilities to know something more about it. Of course, archaeological excavations, even better if preceded by geophysical prospections, are still the best method to discover the history and the characteristics of an ancient site. Most of the time, however, it is not possible to conduct archaeological excavations in a specific site, or the remains are so scarce that do not allow specialists to formulate reliable hypothesis regarding the full structure of the buildings. It is already recognized that virtual reconstructions give the possibility to verify the correctness of a structural hypothesis, but this research manifests that the 3D models can be further analysed (and not only visualized), in order to propose more accurate architectural reconstructions.

The second aspect that is worth to be underlined is that the combination of 3D visibility analysis and virtual acoustics analysis, for monuments reserved to performances, is a more advanced approach which can raise new questions and bring forward new theories and hypotheses. It is time to focus on all the senses that were (and still are) involved in the everyday life of our ancestors, so to reach a deeper knowledge of the past. Furthermore, this approach can lead to the creation of virtual applications much more immersive than in the past and provide an engagement that will facilitate the learning and the memorization.

Acknowledgments

Part of this work was financially supported by the Stavros Niarchos Foundation within the framework of the project ARCHERS ("Advancing Young Researchers' Human Capital in Cutting Edge Technologies in the Preservation of Cultural Heritage and the Tackling of Societal Challenges").

REFERENCES

Benedikt 1979

Benedikt M. L. To Take Hold of Space: Isovists and Isovist Fields // *Environ Plann B Plann Des* 6. 1979. P. 47–65.

Canac 1967

Canac F. L'acoustique des théâtres antiques : Ses enseignements // *Centre National de la Recherche Scientifique*, Paris. 1967.

Chourmouziadou, Kang 2008

Chourmouziadou K., Kang J. Acoustics Evolution of Ancient Greek and Roman Theatres // *Applied Acoustics*. 2008. Vol. 69. P. 514–529.

Di Vita 1991

Di Vita A. L'anfiteatro e il grande teatro romano di Gortina // *Atti della Scuola di Archeologia ad Atene*. 1991. Vol. 64–65. P. 327–347.

Earl 2005

Earl G. Wandering the House of the Birds : Reconstruction and Perception at Roman Italica // Proceedings of the 2005 Conference on Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage, Short Papers : Presented at the The 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST, CNR Pisa. Pisa, 2005.

Fisher 1996

Fisher P. F. Extending the Applicability of Viewshed in Landscape Planning // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1996. Vol. 52. P. 1297–1302.

Fisher et al. 1997

Fisher P., Farrelly C., Maddocks A., Ruggles C. Spatial Analysis of Visible Areas from the Bronze Age Cairns of Mull // Journal of Archaeological Science. 1997. Vol. 24. P. 581–592.

Gugliermetti et al. 2008

Gugliermetti F., Bisegna F., Monaco A. Acoustical Evolution of the Roman Theatre of Ostia // Building Acoustics. 2008. Vol. 15. P. 153–168.

Iannace et al. 2011

Iannace G., Maffei L., Trematerra P. The Acoustics Evolution of the large Theatre of Pompeii // Proceedings of the Acoustics of Ancient Theatres Conference. Patras, 2011.

Lake, Woodman 2003

Lake M. W., Woodman P. E. Visibility Studies in Archaeology : A Review and Case Study // Environ Plann B Plann Des 30. 2003. P. 689–707.

Landeschi et al. 2015

Landeschi G., Dell'Unto N., Ferdani D. et al. Enhanced 3D-GIS : Documenting Insula V 1 in Pompeii // Proceedings of the 42nd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Presented at the CAA2014 21st century Archaeology, Concepts, Methods and Tools. Oxford ; Paris, 2015. P. 349–360.

Lisa et al. 2006

Lisa M., Rindel J. H., Gade A. C., Christensen C. L. Acoustical Computer Simulations of the Ancient Roman Theatres // ERATO Project Symposium, Istanbul. Turkey, 2006. P. 20–26.

Loots et al. 1999

Loots L., Nackaerts K., Waelkens M. Fuzzy Viewshed Analysis of the Hellenistic City Defence System at Sagalassos, Turkey // Archaeology in the Age of the Internet : CAA97 : Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology : Proceedings of the 25th Anniversary Conference, University of Birmingham, April 1997 / ed. by L. Dingwall et al. Oxford, 1999.

Manzetti 2016

Manzetti M. C. 3D Visibility Analysis as a Tool to Validate Ancient Theatre Reconstructions: the Case of the Large Roman Theatre of Gortyn // Virtual Archaeology Review. 2016. Vol. 7. P. 36–43.

Montali 2006

Montali G. Il teatro romano di Gortina // Studi di Archeologia Cretese, Bottega D'Erasmus, Padova. 2006.

Paliou, Knight 2013

Paliou E., Knight D. J. Mapping the Senses : Perceptual and Social Aspects of Late Antique Liturgy in San Vitale, Ravenna // Proceedings of CAA 2010, Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, International Conference, Granada 6–9 April, 2010 : Presented at the Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Granada, 2013. P. 229–236.

Paliou et al. 2011

Paliou E., Wheatley D., Earl G. Three-Dimensional Visibility Analysis of Architectural Spaces: Iconography and Visibility of the Wall Paintings of Xeste 3 (Late Bronze Age Akrotiri) // Journal of Archaeological Science. 2011. Vol. 38. P. 375–386.

Spagnolo 2014

Spagnolo R. Manuale di acustica applicata. Torino, 2014.

Till 2014

Till R. Sound Archaeology : An Interdisciplinary Perspective // Proceedings from the 2014 Conference in Malta, Presented at the Archaeoacoustics, The Archaeology of Sound, The OTS Foundation, Myakka City. Florida, 2014. P. 23–32.

Turner et al. 2001

Turner A., Doxa M., O'Sullivan D., Penn A. From Isovists to Visibility Graphs : A Methodology for the Analysis of Architectural Space // Environ Plann B Plann Des 28. 2001. P. 103–121.

Wheatley 1995

Wheatley D. Cumulative Viewshed Analysis : A GIS-Based Method for Investigating Intervisibility, and its Archaeological Application // Archaeology and GIS : A European Perspective. Routledge ; London, 1995. P. 171–186.

Wheatley 2014

Wheatley D. Connecting Landscapes with Built Environments : Visibility Analysis, Scale and the Senses // Spatial Analysis and Social Spaces : Interdisciplinary Approaches to the Interpretation of Prehistoric and Historic Built Environments. Boston, 2014. P. 115–134.

Chisako Miyamae, Fujiko Yoshimura
Tokyo Institute of Technology, Japan

Atsushi Noguchi
University Museum, University of Tokyo, Japan

Hiroyuki Kamei
Tokyo Institute of Technology, Japan

EVALUATION METHOD FOR SMOOTHNESS OF THE SURFACE OF STONE TOOLS

1. Introduction

Many archaeological artifacts have been recorded as digital data. A huge amount of those data is kept in a storage called digital archives. Since 2006, the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology in Japan started to hold a research group for digital museums (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology 2007). They tried to make digital museums that were based on digital archives of cultural properties. It caused the expansion of making digital archives even though there were so many museums, universities, local governments, and private companies that had already started to digitize their artifacts with cutting edge technologies before. Okamoto says that it is a chaotic situation (Okamoto, Yanagi 2015). In fact, each researcher has a different idea of how to make digital archives. And so many organizations were established with different policies.

These digitalized data were often used for visualization of artifacts to explain themselves. For example, K. Ikeuchi and D. Miyazaki (Ikeuchi, Miyazaki 2008) explain how to create an exhibition based on digital archive data. Miyamae shows a digital exhibition using two different types of reproductions derived from the digital data at a museum, along with an exhibition of the real artifact. This digital exhibition demonstrated a performance using a virtual reality image manipulated by a human navigator combined with a hands-on experience of handling a replica (Miyamae 2013). These objects derived from the digital 3D objects were sometimes called digital heritage or 3D e-Heritage (Oishi 2015), and it is usable for exhibitions in museums and publishing information via the internet.

Those digital data have been used in museums though it is a chaotic situation. Miyamae (Miyamae 2016) discusses multi usage of 3D scanning data. The author proposes that 3D scanning data should be used not only in museums but also and even more in research area. This paper considers the usage situations about the 3D scanning data in archaeological research area.

The study that combines archaeology and computer science is sometimes called cyber archaeology or 3D archaeology (Waseda university 2017). Archaeologists have started to use digital technology for their research. Especially, the technology called SfM and MVS gave us an easier way to make 3D digital data. Kaneda said that the technology would be useful for recording archaeological monuments (Kaneda 2016). Usually, the method of comparing the external shape is to select the edge and make a contour map (Yokoyama 2017) or make cross section images (Mizuno 2015). Archaeologists focus on characteristic marks that are traces and signs of being used on the artifacts. The marks are sometimes observed on digital data. Also, computers can easily compare the external shape of the artifacts through those 3D

digital data. But the condition of the surface of the artifact is seldom defined quantitatively. For example, it is difficult to compare the smoothness or roughness of the surface of stone tools in a quantitative way. Although there are some devices for measurement of the surface roughness, it is difficult to apply the devices to archaeological artifacts. Almost all of the devices are adopted contact type sensors. Sensitive artifacts have to avoid those types of sensors to protect themselves. Surface condition has some parameters. This article focuses on surface smoothness this time. Smoothness is difficult to recognize on 2D photograph image. Color information is always preventing from finding the convex. But, 3D data consists of many elements. Smoothness may be evaluated with the 3D data. This article examines the approaches to quantify the surface smoothness of archaeological artifacts, such as stone tools, with the digitalized data.

2. Evaluation method for surface smoothness

2.1. Surface smoothness

Surface roughness is one of the parameters of the surface texture. The appearance of the surface such as slipperiness, glossiness and unevenness is defined by the surface roughness parameter (Keyence 2018). Surface smoothness may also be defined by measuring the surface roughness. But the measurement tools for surface roughness are often of contact type and can measure line by line. When archaeologists need to observe the whole external shape, it is difficult to analyze the surface smoothness without touching it. This article discusses methods of using digital data that are often stored in the digital archives and tries to find the way to quantify the surface condition.

2.2. Roughness parameter deriving process defined by ISO

Evaluation methods of surface roughness for industrial products are defined by some standards including ISO (International Organization for Standardization) as common rules (Yoshida 2012). According to ISO, surface roughness can be evaluated by three curves. Profile curve, Roughness curve and Waviness curve are basic curves for evaluation of roughness. These curves are separated by frequency and include some noises. Figure 1 shows the basic process for deriving roughness parameter defined by ISO. This article tries to apply the workflow to quantify the surface smoothness on archaeological artifacts.

2.3. Applying to the mesh data

This section shows examination result when we apply the workflow to the digitalized 3D data. Usually, digitalized 3D data is a point cloud data set. It is often visualized and displayed as a polygon mesh object. In this section, the digitalized artifact will be considered as a mesh data. For applying the ISO method to the mesh data, the following techniques were used on each step.

- Making the cross section (measurement curve).

The cross section line was selected from the polygon mesh data. This cross section line means a measurement curve in fig. 1.

- Finding the profile curve of the true value.

For removing the shape noise from the measurement curve, the true value of the external shape had to be found. Instead of this value, fitting functions technique was applied. Then, quadratic function was used this time.

- Calculating the profile curve.

The different value between the measurement curve and the value from the quadratic function was the profile curve.

- Calculating the roughness curve and waviness curve.

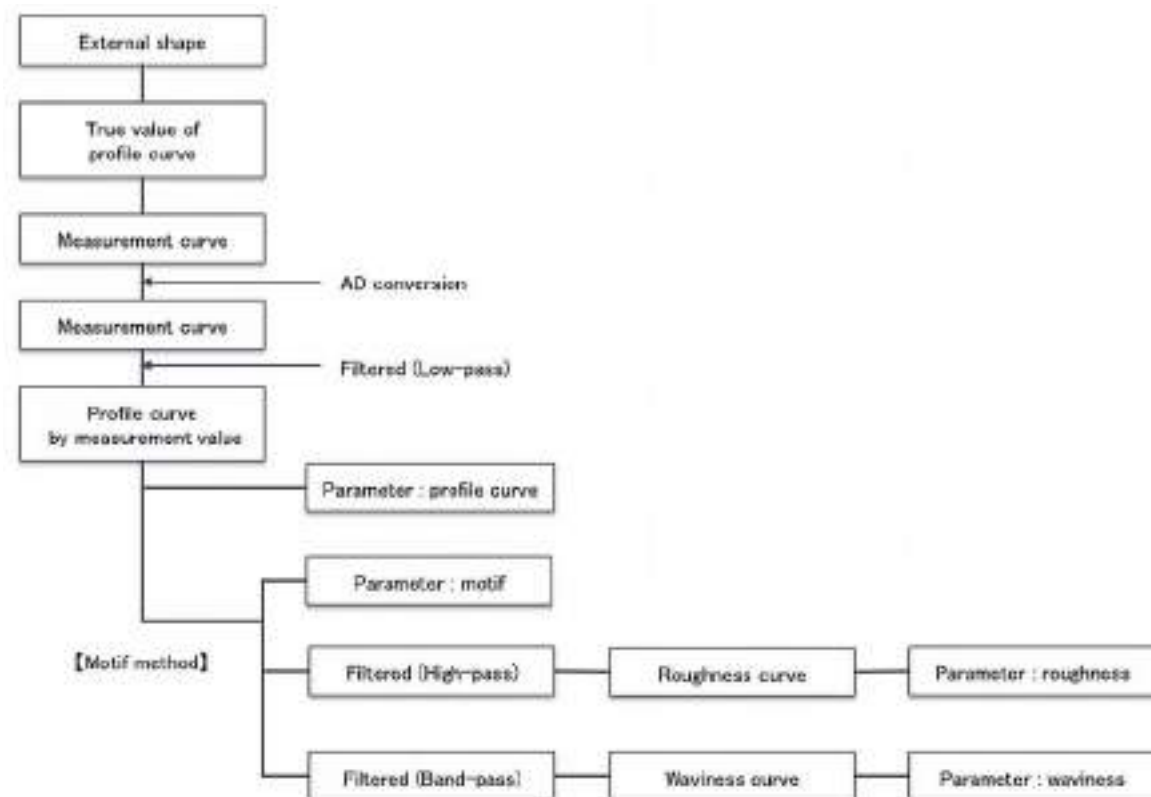


Fig. 1.
Roughness parameter deriving process defined by ISO

For industrial products, cut-off frequency was a known quantity. It is possible to separate the roughness curve and the waviness curve. For archaeological artifacts, the cut-off frequency was unknown. It will be impossible to separate those two parameters. But some characteristics may be found to quantify the smoothness on the profile curve.

Figure 2 shows the result of an example. The test mesh data was created to examine this method. One mesh data is a small part selected from a columnar object without concave and convex. This mesh data is called Data A. Another is a small part selected from a columnar object with uneven surface. This data is called Data B. The third images from the top show a difference between the measurement curve and the shape noise. The difference of Data B contains noises. Then, the author applied FFT (Fast Fourier Transform) algorithm to the measurement curve. Noises in high frequency area on Data B were also found. So this feature must become a parameter for smoothness even though roughness parameter and waviness parameter can not be separated. The next section will explain applying this method to the real data.

3. Applying to the archaeological artifact

Figure 3 shows a photographic image, a surveyed drawing and 3D digitalized data of an axe-shaped stone tool. The stone tool has a length of 7.12 cm, a width of 7.43 cm and a thickness of 2.64 cm (Kawashima, Onishi 2004). The measurement data was taken by a low cost 3D scanner (Next Engine 2017). The data size is 276,089 points and 542,164 faces. Following is the explanation about the artifact.

A fragment of an axe-shaped stone tool, uncovered from Musashi-dai-nishi site neighboring the Musashi-dai site at Tokyo, about 34000 cal yr BP. Made of fine-grained tuff.

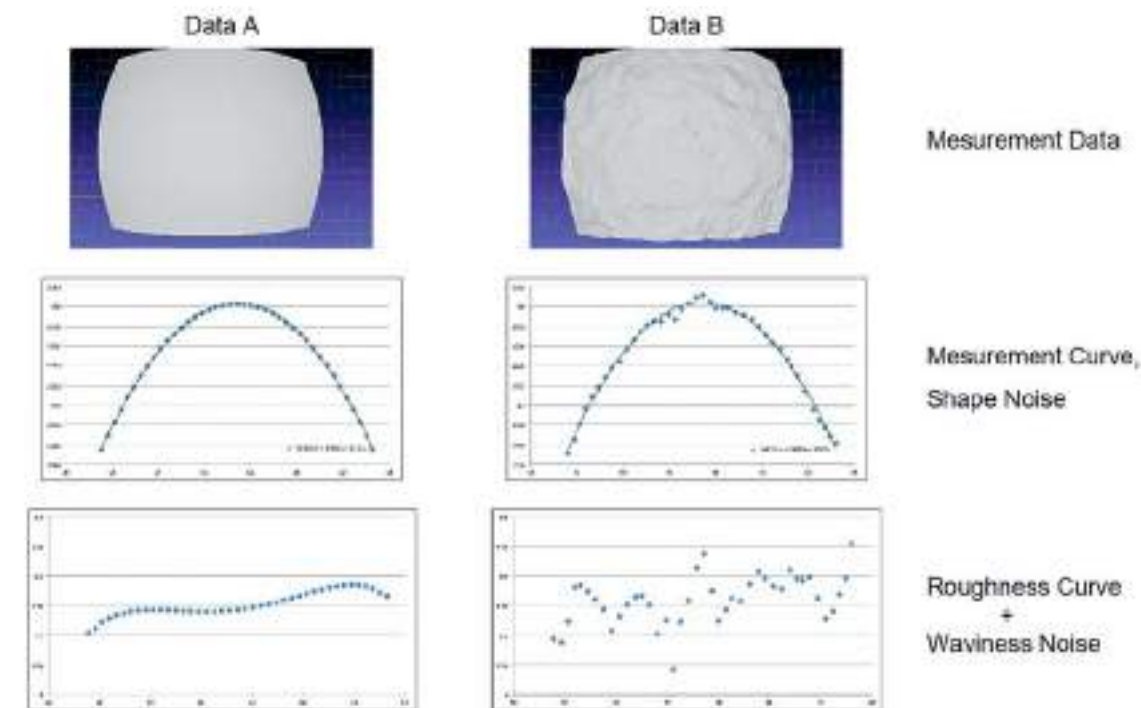


Fig. 2.
Results of the test mesh data. Image: C. Miyamae

Nearly one quarter part of its distal end has survived. Its flat planer large flake is trimmed into an oblong shape by circumferential chipping. Symmetry in the distal end view with a straight edge. Profile of the edge shows a thin wedge shape. Well ground along the distal edge.

Figure 4 shows the results of application of the above method. The mesh data called Real Data A is a small part which is a well-ground area on the stone tool. The surface looks glossy and it is defined as a polished surface by archaeologists by touch. The mesh data called Real Data B is a small part which has uneven surface. It is said that the part is flaked and still remains some natural part. Removing the shape on Real Data A noise must fail. Another removing method will be considered. For example, using the measurement drawings will be effective. Although it is said that the area is well-ground, the area may contain some features. So, it is difficult to define surface smoothness clearly from this data.

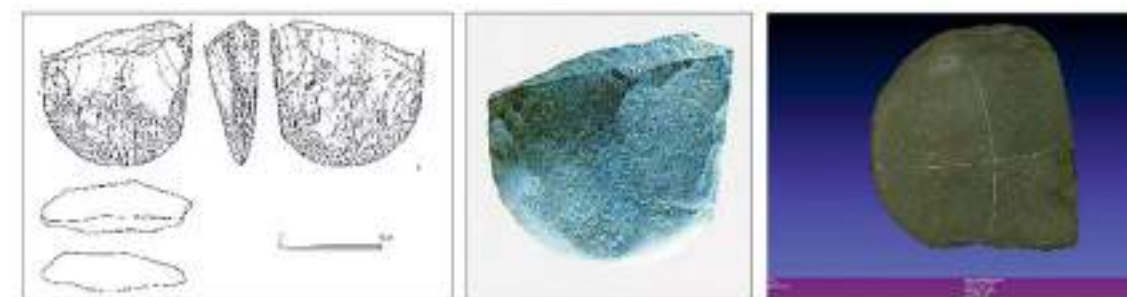


Fig. 3.
Axe-shaped stone tool. Image: C. Miyamae

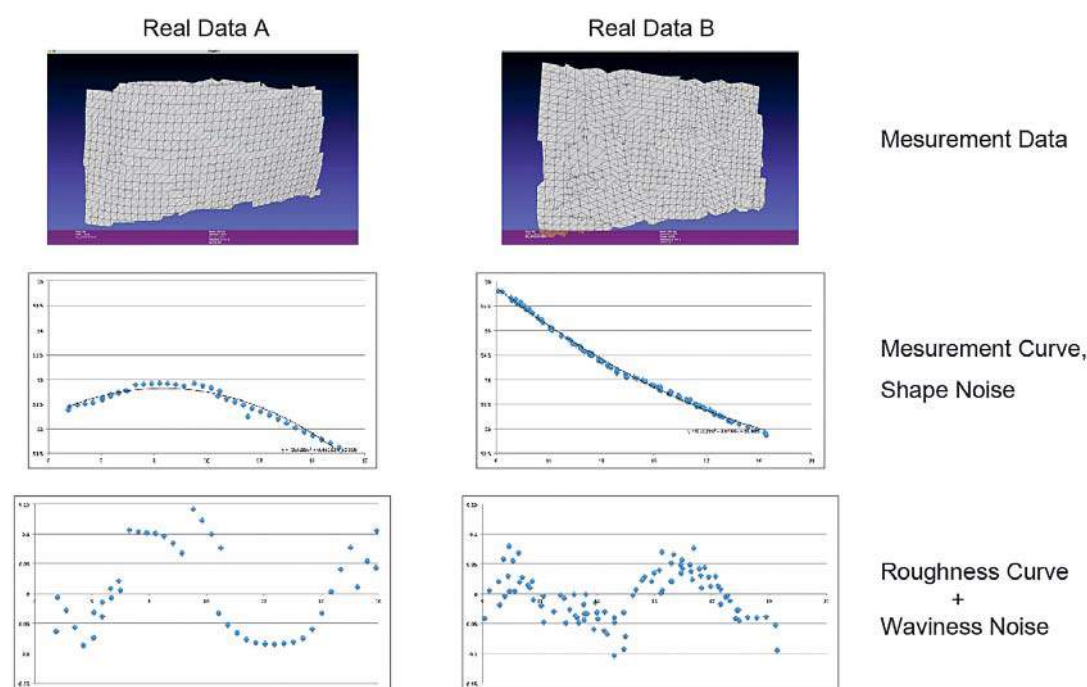


Fig. 4.
Results of the archaeological artifact. Image: C. Miyamae

4. Conclusion

This article examines the approaches to quantify the surface smoothness of archaeological artifacts, such as stone tools, with the digitalized data. The way to quantify the smoothness must be examined in more detail. The author would like to try to invent a method using other types of data from digitalized data in the storage. Then utilization of digitalized data would be expanded. For the next step, the author would like to try whether the method can recognize the difference between natural polishing surface and artificial surface. Also the visualization method for surface smoothness such as contour map will be developed.

REFERENCES

Ikeuchi, Miyazaki 2008

Ikeuchi K., Miyazaki D. Digitally Archiving Cultural Objects. New York, 2008.

Kaneda 2016

Kaneda A. 3D Measurements for Cultural Heritage by Using SfM/MVS // Bunkazai no Tsubo. 2016. Vol. 4. (Nara National Research Institute for Cultural Properties).

Kawashima, Onishi 2004

Kawashima M., Onishi M. Report No. 149 : The Archaeological Site Relating to Musashikokubunji. Tokyo, 2004.

Keyence 2018

Keyence : Surface Roughness. URL: <https://www.keyence.co.jp/ss/3dprofiler/arasa/line/> (accessed 24.01.2018).

Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology 2007

Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. About the Research Group for Digital Museums. URL: http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/sonota/002/toushin/07062707/001.htm. (accessed 24.01.2018).

Miyamae 2013

Miyamae C. Digital Exhibition as a Bridge to the Real Collection – VR and Replicas Based on 3D Data Acquisition // Digital Heritage International Congress. 2013. Vol. 1. P. 399–403.

Miyamae 2016

Miyamae C. Multi-Class Production Framework Based on 3D Scanning Data // Archaeological and Anthropological Sciences. 2016. Vol. 8. Iss. 4.

Mizuno 2015

Mizuno T. Study of Gamontai Shinjukyo Excavated Homkanmakikudo No. 3 Tomb by Means of 3D Measurement // The 32nd Annual Meeting of the Japan Society for Scientific Studies on Cultural Property. 2015.

Next Engine 2017

Next Engine. 3D Scanner. URL: <http://www.nextengine.com> (accessed 24.01.2018).

Okamoto, Yanagi 2015

Okamoto M., Yanagi Y. What is a Digital Archive – Theory and Practice. [S. l.], 2015.

Oishi 2015

Oishi T. 3D e-Heritage and the Cloud Museums. URL: https://repository.nabunken.go.jp/dspace/bitstream/11177/6276/1/BB22691369_064_071.pdf (accessed 24.01.2018).

Waseda university 2017

Waseda university : 3D archaeology 2nd – new perspectives and challenges for digital documentations in archaeology. Tokyo, 2017.

Yokoyama 2017

Yokoyama S. Precise 3D Measurement and Applied Research Visualization of Archaeological Materials by PEAKIT Algorithm // Archaeology Quarterly N 140. 3D Technology in Archaeology. 2017.

Yoshida 2012

Yoshida I. Surface Roughness – the Industrial Standards and Tips on the Measuring Method // Journal of the Japan Society for Precision Engineering. 2012. Vol. 78. N 4. P. 301–304.

Franco Niccolucci
PIN, Italy

Nicola Amico
PRISMA, Italy

IMPLEMENTING THE LONDON CHARTER IN VIRTUAL RECONSTRUCTIONS

1. Introduction

The use of virtual reconstruction is very popular in archaeology and architectural history to describe the past appearance of objects or, more frequently, buildings that do not exist anymore or have substantially changed their shape (Bentkowska-Kafel et al. 2012).

Acknowledging the necessity of documenting the process that led to a specific reconstruction with its details, since the end of the 20th century archaeologists advocated the necessity of avoiding as far as possible the use of imaginary or fantastic reconstructions that had appeared since the very beginning of archaeology (see, e.g. the Knossos Palace, physically reconstructed by Arthur Evans) and were revamped by the availability of powerful computer-based visualization tools. This approach was expressed in a 2000 paper (CVRO) which eventually led to the definition of a Charter, the well-known “London Charter for computer-based visualization of cultural heritage”, briefly known as the “London Charter” (Londoncharter.org 2017). Among other prescriptions, the London Charter prescribes (Principle 3) that “In order to ensure the intellectual integrity of computer-based visualisation methods and outcomes, relevant research sources should be identified and evaluated in a structured and documented way” and that “Sufficient information should be documented and disseminated to allow computer-based visualisation methods and outcomes to be understood and evaluated in relation to the contexts and purposes for which they are deployed”.

To comply with these principles, it is sufficient to describe the sources for reconstruction choices in a separate document and publish it. However, the Charter does not prescribe any specific template for this background documentation: it has just to be “sufficient”.

Although this is a significant step forward, compared with totally undocumented reconstructions whose trustworthiness relies only on the reputation of the author, it is still cumbersome to check a living “document” such as a 3D interactive model or a movie with a static text document where the decisions taken to obtain the model are described with sentences and, possibly, drawings. Also, the required “sufficiency” of such documentation might be arguable and in general is difficult to check, as our imagined reviewer would need to browse all the documentation to test why a specific model detail was reconstructed in that specific way. Since nobody does this thoroughly, this lack of practicality deprives the London Charter of much of its potential.

The present paper springs from the simple observation that the authors created a database of the relevant sources and/or of the methods used to obtain the final model, as a working tool to define the reconstruction. Enabling access to this database then appeared as the rightful and sufficient documentation to comply with the London Charter prescriptions. It was only necessary to link each model details to the supporting documentation. Such an approach is also useful to control that no undocumented detail is surreptitiously included, for example because it is “obvious”. This might happen in examples like the following one. There is a (documented) substantial difference of level between two adjacent and communicating

rooms, so there must have been a stair connecting them. Unfortunately, there is no trace of such a stair, but it is “obvious” that there was one, hence it is included in the reconstruction model. This action creates undocumented details of the latter: if the existence of the stair may be reasonably deduced from the available evidence, how many steps did it have? In these conditions, any decision would be arbitrary, so it would need to be labelled as such; instead, the steps creep in, hiding behind other well-documented details.

In this paper we describe the nature of the problem addressed (why, when and where); the team who created the reconstruction (who); the results obtained (what); and the way we complied with the London Charter prescriptions (how).

2. The disastrous 1966 flood in Florence and the damage to Vasari's Last Supper

In the night preceding and in the early morning of 4 November 1966 the river Arno overflowed in the historic centre of Florence. 4th November is a national holiday in Italy, so citizens were caught by the disaster when they were still at home, in most cases being awakened by the roar of the flood if they were so lucky to live at upper floors.

The water rapidly reached the height of some metres in the streets of the Florence historic centre, invading repositories of invaluable art and culture masterpieces. If ancient buildings resisted well to the flood (such floods were not a novelty for the town), their content was put at risk and in some cases severely damaged. The water brimmed the riverbanks and overflowed gradually, starting from the easternmost town outskirts, so some of the museum personnel were able to reach museums and move artworks and exhibits at risk to the upper floors. This was impossible for items that were too heavy to be transported manually. This was the case of two paintings placed in the Church of Santa Croce (fig. 1) and heavily damaged, the most famous one being the Crucifix by Cimabue then become the icon of the flood destructions. The other one, placed in front of the Crucifix, was a *Cenacolo* (*The Last Supper*) by Giorgio Vasari painted in 1546, a painting on wood large about 6.50 × 2.70 m.

It was possible to restore the Crucifix with a long work. The colours detached from the wood support and the tiny fragments of pigment were patiently recovered and re-applied one by one. The restoration lasted 10 years.

Instead, to avoid the same problem, immediately after the flooding sheets of flimsy paper were applied all over Vasari's painting (fig. 2).

The result was that the colours remained, but the paper was glued to the painting. For many years there was no solution to the problem, and only recently restorers have engaged in a full restoration of Vasari's *Cenacolo* (Opificiodellepietredure 2017) (fig. 3).

The restored painting was returned to its location in the Sacristy with a ceremony exactly 50 years after the flood, in November 2016, ideally concluding the long recovery of artefacts damaged by the 1966 flood. Now, it is suspended to a mechanical system that enables lifting it up should another flood happen: this appliance is all made with levers and pulleys, because usually the first consequence of a flood is a black-out that would kill any electrical device.

But one might ask: why a *Cenacolo* (fig. 4) in a sacristy? This kind of paintings is usually put in refectories of convents, and not church sacristies, so it was apparent that the present location is just the final stage of travel of the artwork through different locations. Thus, we conceived the idea of identifying the original one, and to virtually relocate the painting where it originally was to be placed. The concept came from a previous collaboration with a team of the University of Cambridge led by Prof François Penz and Dr Donal Cooper, who reconstructed in 3D the demolished church of San Pier Maggiore in Florence to understand the original location of the 15th century *Assunzione della Vergine* painting by Francesco



Fig. 1.
Photo of the flood – Church of Santa Croce. Photo: F. Niccolucci,
frame from RAI TG of November 1966



Fig. 2.
Restorers put sheets of paper on the painting to prevent the detachment of the pigments.
Photo: F. Niccolucci, frame from RAI TG of November 1966



Fig. 3.
The painting before restoration. Photo: F. Niccolucci

Botticini, now at the National Gallery of London, and produced a movie to accompany an exhibition at the Gallery (Cooper, Sliwka 2015; Cooper, Vitolo 2018).

Indeed, Vasari's painting had not always been where the 1966 flood found it. Originally, it was in the refectory of the nearby convent of Le Murate, and was moved to Santa Croce when the convent was acquired by the State in the 19th century and was turned into a jail. This change caused a deep restructuring and demolitions in the original structure, so that nowadays it is impossible to recognise where the refectory was located, let alone virtually re-place the *Last Supper*.

Thus, the project goal was to reconstruct the past appearance of the refectory, both external and internal, its location within the convent complex and virtually re-place the painting at its original location, proposing the most probable aspect of the hall with the furniture and the painting.



Fig. 4.
Vasari's Last Supper after the restoration

3. Archive documentation as the source for the reconstruction

Since the beginning it was clear that information about the previous structure of the convent was difficult to find. The building has undergone various major changes since its construction around 1430.

The first one, relevant to our study, was the mention in an archive document (Lowe 1990) that in the 15th century the refectory was moved from its previous location to a new one due to the increased number of nuns. The painting was actually commissioned to be placed in the new location. Another note stated that during another flood of Arno in 1537, still before the painting execution, the refectory floor collapsed into the underlying cellars. This helped in locating the refectory and the only room of the convent that was large enough and had cellars below. The next figure shows the place interpreted to be the refectory final location. It is superimposed on a 19th century plan of the convent that includes some of the changes, so it does not represent the shape of the refectory but just where it was placed in the complex.

Unfortunately, this part of the building was heavily modified, firstly when the convent became a jail in the 19th century and then partially destroyed after the jail was closed and the building re-used for social purposes at the beginning of the 21st century. All the changes made since mid-1800 were demolished and this part of the building is currently a pedestrian street, crossing the complex now used as the venue of exhibitions, offices for small enterprises and other social uses.

Between the first requisition of the building in 1810–1813 ordered by the French government (Fantozzi Micali, Roselli 1980) and its use as jail (1840–1845), several drawings show the building as it was and how it was planned to alter it. Besides the plan shown in fig. 5, there is also an elevation view drawn in 1826 (fig. 6) showing the façade of the

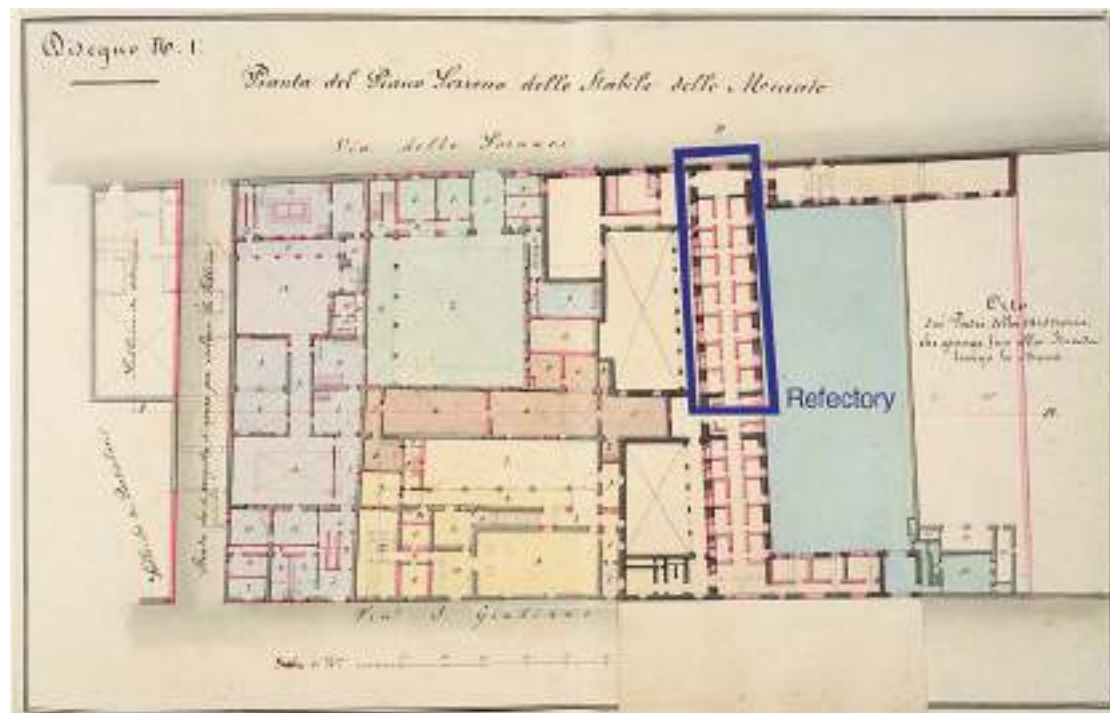


Fig. 5.

D. Giraldi. Progetto per la riduzione dello Stabile delle Murate agli usi di case di correzione e di carceri succursali. 1837. Drawing. Archivio di Stato di Firenze (ASF), SFF, FL, 2216q. Florence. The 1837 plan with the interpreted refectory location

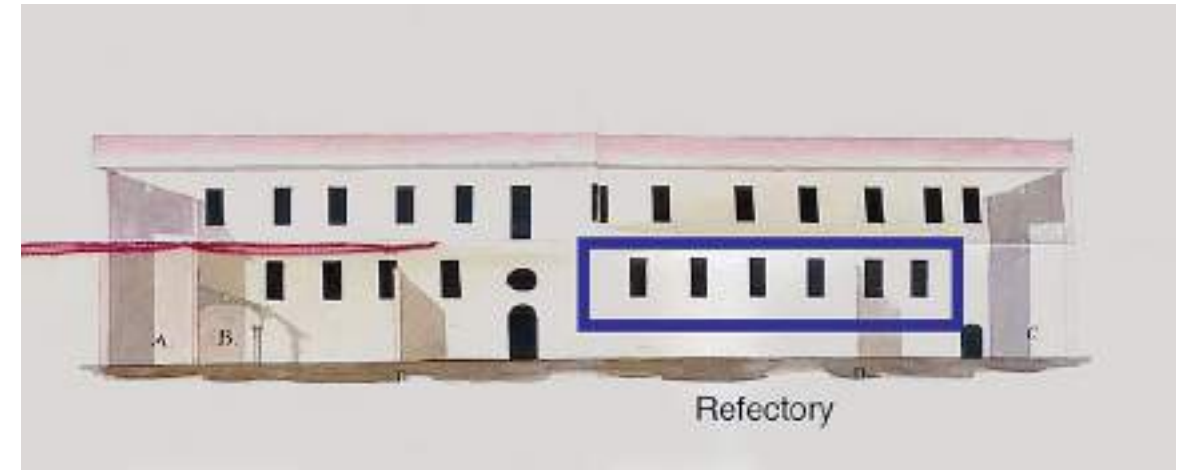


Fig. 6.

F. Nini. Stabile delle Murate. 1826. Drawing. Archivio di Stato di Firenze (ASF), SFF, FL, 2109, II, ins. 132bis, N 35 e N 40. Florence. Façade of the refectory

refectory, with the windows, before the transformation, and other similar drawings made in the same years as the project for the creation of the jail. It may be reasonably supposed that the windows were not substantially altered since the 16th century, i.e. for all the time the building was used as a convent.

At this point, there was enough information to reconstruct the refectory appearance. The position of windows in the façade towards the garden, shown in fig. 6, and the corresponding ones facing the cloister, led to concluding that the painting was placed on the short side of the room, opposite the doors. The room had the right size to host the refectory: its dimensions, measured on the plans and elevations available, were about 31 × 7 m, with a height of about 7 m at the top of the vault. Possibly it had a partition wall



Fig. 7.

Reconstruction of the refectory, with The Last Supper placed at the far end of the room. Image: F. Niccolucci



Fig. 8.

Refectory furniture from other monasteries. Photo: F. Niccolucci (right)

at one end, delimiting a small place used as a service passageway to other parts of the building, on which the painting may have been placed.

The painting was probably hung at a height of about 2 m from the floor, to make it more visible from all the seats, placed on a corbel, and included in a frame built on the wall as it has no frame at present.

Thus, it was possible to reconstruct the room appearance as shown in fig. 7.

The above reconstruction includes some details like the furniture and the window fixtures that are largely imaginative and were chosen for analogy with similar artefacts from the same period (fig. 8, 9).



Fig. 9.

Part of the remains of the monastery wall with superimposition of 3D reconstruction of hypothetical ancient windows of the refectory. Photo: F. Niccolucci



Fig. 10.

The reconstruction of convent façade facing the garden. Image: F. Niccolucci

The reconstruction consists in a 3D model from which a short movie was created. The movie will be placed next to the painting in its current location, to explain its history and allow visualizing its pristine appearance. Other images of the 3D model are provided below (fig. 10–12).



Fig. 11.

3D reconstruction of the inner courtyard of the monastery. Image: F. Niccolucci



Fig. 12.

The current pedestrian street, created in the refectory location. Image: F. Niccolucci

4. The documentation database

Since the beginning it was clear that managing the huge documentation used for the reconstruction required appropriate tools, so a database was created to host the documents as they were discovered at the State Archive of Florence, and made available to us as scan copies of the originals. The team was formed by various experts, including the architecture historian Daniela Smalzi, from the University of Florence, and Roberto Bellucci and Cecilia Frosinini, two restorers of the Opificio delle Pietre Dure, the prestigious Florence restoration centre of the Italian Ministry of Cultural Heritage and Activities and Tourism. So, it was necessary to keep the database remotely accessible by each member of the team (fig. 13, 14).



Fig. 13.

A screenshot of the Murate ResourceSpace database

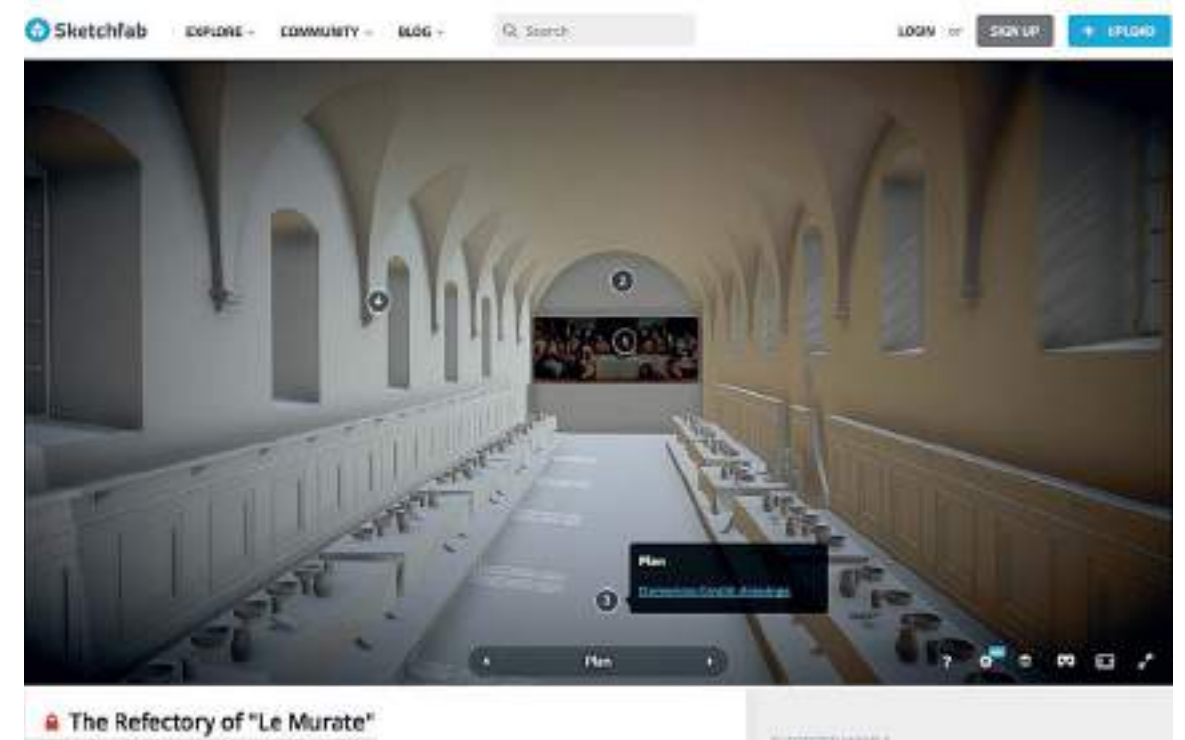


Fig. 14.

A screenshot of the Murate Sketchfab model, with the hotspots

To create the database, we used ResourceSpace, an Open Source digital asset management software (Resourcespace 2017) that had all the necessary features for our needs, including on-line access. The server was set up in our department server at VAST-LAB, PIN. It is frequently used stand-alone: for example, the figures of the present paper were taken from this database.

After completing the work, creating the 3D model and completing the movie in time for the 50th anniversary celebration, we considered that the 3D model could be used as interface to the database by creating links between its parts and the related records in the documentation database. Thus, the model was uploaded to Sketchfab (Sketchfab 2017) (and then we created hotspots on it, each one with a link to the appropriate record in the documentation database).

This method can be adapted to various goals. If the purpose concerns communication, a simplified version of the main database can be easily created adding explanatory comments to the original documentation. A multimedia product can display the reconstruction in VR with the hotspots giving access to the links, and the app providing all this is very simple and straightforward to create. For scientific purposes, the system we are using is rich enough to support accessing the documentation within a research framework. We have plans to further develop it to make the user interaction smoother and facilitate the availability of setting up personal environments in which a researcher can manipulate source data and annotate them without affecting the underlying resource.

The method is generic enough to be adapted to architectural history, like in the case presented here, or to archaeological reconstructions. There is no limitation to the kind of documents that can be used, images or texts, and customization could be added to improve usability.

REFERENCES

Bentkowska-Kafel et al. 2012

Bentkowska-Kafel A., Denard H., Baker D. Paradata and Transparency in Virtual Heritage // Digital Research in the Arts and Humanities. Farnham, 2012.

Cooper, Sliwka 2015

Cooper D., Sliwka J. San Pier Maggiore // Apollo Magazine. 2015. Vol. 182. N 636. P. 76–78.

Cooper, Vitolo 2018

Cooper D., Vitolo P. Firenze Scomparsa: La Chiese di Santa Chiara e San Pier Maggiore e la loro ricostruzione digitale presso i musei di Londra // Archeologia e Calcolatori. 2018. *In press.*

Fantozzi Micali, Roselli 1980

Fantozzi Micali O., Roselli P. Le soppressioni dei conventi a Firenze : Riuso e trasformazioni dal sec. XVIII in poi. Florence, 1980.

Londoncharter.org 2017

Londoncharter.org : Home. URL: <http://www.londoncharter.org> (accessed: 15.12.2017).

Lowe 1990

Lowe K. Female Strategies for Success in a Male-ordered World: The Benedictine Convent of Le Murate in Florence in the Fifteenth and Early Sixteenth Centuries // Studies in Church History. 1990. Vol. 27. P. 209–221.

Opificiodellepietredure 2017

Opificiodellepietredure.it. 2017. URL: <http://www.opificiodellepietredure.it/index.php?it/314/giorgio-vasari-ultima-cena-firenze-museo-di-santa-croce> (accessed: 15.12.2017).

Resourcespace 2017

Resourcespace.com. 2017. Open Source Digital Asset Management (DAM) Software: ResourceSpace. URL: <https://www.resourcespace.com/> (accessed: 15.12.2017).

Sketchfab 2017

Sketchfab – Your 3D content on web, mobile, AR, and VR. URL: <https://sketchfab.com/> (accessed: 15.12.2017).

Ginevra Niccolucci

PRISMA, Italy

Paolo Giulierini

MANN-MAEC, Italy

Simona Rafanelli

MAIF, Italy

Nicola Amico, Ginzia Luddi, Virginia Niccolucci, Cristina Pugi

PRISMA, Italy

VIRTUALLY FILLING EMPTY SPACES IN MUSEUMS

1. Introduction

PRISMA is a small creative enterprise based in Florence, Italy. Founded a few years ago by a group of researchers who worked in European projects, it avails of the most recent technologies to support museums in their mission. On the other hand, PRISMA's philosophy is based on the principle of "Zero Km Museum", i.e. on the valorisation of own resources of the museums. This is of great importance especially for small museums, which often do not have enough funds to invest a substantial amount of their budget in communication activities.

Communicating the museum in an effective way is the first step to enhance visitors' experience. A museum has to tell one, or many, stories, otherwise it risks to turn into another icon of mass tourism, a "must-see"; or, oppositely, into a *wunderkammer* or, in the worst case, a boring repository of antiquities. So, a museum is not only its content, which is of course of paramount importance; but also the stories it is able to tell.

This dialogue between the museum with its content and the visitor relies in large part on the way the exhibits are presented, illustrated and commented. A gap in the presentation, illustration and explanation may put the communication at risk and undermine the visitor's experience because something was missed, like a sentence in which some words are covered by noise. Some recent PRISMA activities have aimed at filling such gaps, turning the inconvenience into an opportunity, and virtual technologies are often instrumental to achieve this result. Some of such activities are described in this paper.

2. Reproducing ancient objects and their use

Sometimes the simple exhibition of an object does not explain well enough how it was used, especially when similar objects are no more in use in our times. This is the case of wax tablets used in the antiquity as a reusable and portable writing surface. MAEC, the Etruscan Archaeological Museum of Cortona, owns a rare example of Etruscan wax tablet with its stylus, both made in bronze (MAEC 2016). As the use of the wax tablet has been abandoned since the Middle Ages, it is unlikely that a visitor may easily imagine how it worked.

Thus, PRISMA created a simulation on a tablet, simulating electronically the writing operations. To make the experience even more attractive, both the tablet and the stylus had the appearance of the ancient objects, obtained as a physical replica from 3D scans

(fig. 1). The stylus was made in resin, then galvanic plated and treated with acid to get an aged look. A list of the letters of the Etruscan alphabet and a virtual scraper to erase the text were also available. Starting the app visually simulated the pouring of hot, liquid wax on the tablet.



Fig. 1.
The virtual wax tablet
with its stylus at MAEC

3. Virtual passport

Loan between museums is a common good practice. It enables setting up exhibitions that would be incomplete without some objects that are, unfortunately, the property of other institutions. But this causes a short-blanket syndrome, as the exhibit on loan is for some time away from its home museum and may create a gap in the display sequence of the latter.

For some very fragile items the loan is unfeasible. To circumvent this issue, some years ago the Cyprus Department of Antiquity in collaboration with the Cyprus Institute sent to the US a copy of the so-called *Kazafani Boat*, a small pottery item dated to the 12th century BC. After scanning the artefact, an exact 3D copy was produced and painted. The replica was on display at the Smithsonian Museum in an exhibition, and was admired by many visitors, among them such personalities as the President of the Republic of Cyprus during a visit to the USA as shown in fig. 2 (Vassallo et al. 2015).

PRISMA adopted a similar approach for an exhibition titled “The shadow of the Etruscans” held in Prato in 2016. A very important exhibit was the *Pizzidimonte Offerer*, a small bronze found in 1735 at the Gonfienti archaeological site near Prato and later sold to the British Museum, where it is currently kept. The statue is kept in London, at the British Museum, where PRISMA made an accurate scan.

For 3D printing a fused deposition modelling technique (FDM) was used (Scopigno et al. 2015). A plastic material that contains bronze particles was used, to simulate the consistency and the surface of the material of which the original object is composed. On this material an aging process has been carried out in order to make the replica closer to the original. The resulting replica is shown in fig. 3. A plastic replica of the statuette was also made, for educational purposes, to allow handling and appreciating the details by touching it (Amico et al. 2015).



Fig. 2.
The replica of the Kazafani Boat on display at the Smithsonian during the President's visit.
Photo: G. Niccolucci



Fig. 3.
The Pizzidimonte Offerer replica on display at the Prato Exhibition

The Virtual Passport ideated by PRISMA is based on the opposite concept: send the original on loan, and substitute it in the display with a virtual replica. However, the Virtual Passport is something more. It is not only replacing the original with the replica, but it takes the opportunity to illustrate why the object has travelled to another place. Thus, at the same time, it avoids a gap in the display communication to the visitor, and starts another story based on the reasons that motivated the loan request. For example, a painted Greek vase from an Etruscan museum close to the place where it was discovered is usually part of the local history. It is used to tell visitors about the ancient inhabitants and their trade with Greece, and possibly about their wealth. If it goes on loan to an exhibition about women's role in the past because of the subject painted on it, it becomes the trigger for such a story also at home, and to compare women's social position in Greece and Etruria. In conclusion, a loan is an opportunity both for the museum that receives the loan and for the one who provides it.



Fig. 4.
The interior of the Virtual Passport

Thus, the potential gap in the museum communication caused by the absence of an important piece turns into a new story: why was the exhibit requested? Where did it travel to? What kind of exhibition and cultural institution asked for it? Who are these people? What liaisons exist between the two institutions? All these explanations enrich the visitor's experience and are offered on demand, if the person is curious about the reasons of the gap.

The same kind of information may be offered at the other end of the link: where does this exhibit come from? What do they have there? What kind of museum is that? Why did we ask them? Why they have this object and we don't?

If the Virtual Passport becomes a standard practice as loans are, it creates a net of relations that is interesting to explore.

A museum receiving many loan requests can create a collection of such stories. Like visas in a real passport, they tell about the connections exhibits have with other stories and enrich the visit.

A special case in which the same concept may apply concerns exhibits temporarily absent for restoration. In this case the Virtual Passport may describe why they needed an intervention, where they are being treated, what kind of treatment is being practiced, and what result is expected.

The supports of this special kind of storytelling may be very diverse. Sometimes a physical replica is impractical or too expensive, so a simple visual 3D model may be used. PRISMA is exploring different ways of offering a virtual substitute as it helps comprehension, and in this regard recent advances in AR on smartphones are very promising. The usual label "exhibit on loan" may trigger a virtual replica of the object to appear on the visitor's mobile. But that is less important than the story told.

The following example illustrates a pilot application of the virtual passport concept at MANN, the National Archaeological Museum in Naples (fig. 4). The museum has a very large and important collection mainly coming from the excavations in Pompeii, and is one of the most important collections of Roman artefacts in the world. Thus it is frequent that other



Fig. 5.

Plato's Academy, the exhibit on loan, and a detail of the animation explaining its characters

museums ask for loaning some exhibits, leaving an empty space in the museum display. The Virtual Passport consists in multimedia content explaining the origin of the missing artefact, its content and provenance, its history and where it is currently exhibited. It links the local collection to the temporary exhibition to which the object has been loaned. It includes 3D models, animations and voice presentation (fig. 5). The Virtual Passport is usually displayed with a device in the same location where the missing exhibit was placed. Furthermore, it can be accessed online using several platforms, including a free audioguide of the museum available on smartphones. The online version allows linking different loans of the same object and thus provides a history of its "travels". The content is created in both languages, the one of the home museum and of the receiving one. So at every travel the content may be enriched with an additional language version. In the time, the virtual "visas" will create a complete history of the most important objects, usually the most sought-after ones.

4. Gap in the communication: visitors with special needs

Usually museums treat visitors as an undifferentiated mass. Their communication aims at the average visitor, usually with middle-level education, fair understanding of the language and of the implied cultural references. Nowadays, it is rare (but not impossible) to find a caption presenting a Greek two-handled wine cup as a *skyphos* without explaining what this uncommon word means. But averaging the needs is, as it usually happens with averages, uncomfortable for many, especially for those who do not achieve this average level: the visitors with special needs. Museums acknowledge their existence only as far as accessibility is concerned; this is exactly the same that happens at the post office, in the municipality or at the train station: all public services must be accessible by physically impaired citizens. So there are ramps instead of steps, touch guides in relief on the ground for the blind, and other special provisions for the deaf. But a museum is not only a place to access, it is a place to visit and to experience: accessibility is important, but it is not enough.

Thus, PRISMA has undertaken a project called "Museo4U" where possible solutions to create enjoyable museums also for visitors with special needs are experimented. Of course, the project includes guidelines for accessibility as well, often over and beyond what regulations on the subject dictate. This project is funded by Regione Toscana, the regional government of Tuscany, for a total amount of 18,000 €, which includes only the expertise required for the design and implementation, while the investment in equipment must be covered with additional own funding. The project has been implemented at MAIF,



Fig. 6.

A screenshot of the multimedia description of a bronze button

the Archaeological Civic Museum "Isidoro Falchi" of Vetulonia, a village near Grosseto in Southern Tuscany, owning a rich collection of Etruscan objects from the nearby necropolis.

Since the "Zero Km Museum" principle besides exploiting existing human resources implies also optimizing the investment, the idea was to address as many disabilities as possible, and whenever possible to hit two (or more) birds with one stone. The set-up is therefore inclusive. For example, an explanation in the Sign Language for the deaf must be prepared with a significant level of simplicity in the discourse structure, without losing expressiveness; this approach is also a good preparation for an explanation in Simple Language (Easy-to-read 2017), a language that uses short sentences and a limited number of simple words, and is targeted to people with learning deficits. Visual support is paramount for the deaf; but, although being – rather obviously – useless for the blind, it may be instrumental in creating a tactile interface and partially replace the visual experience with a tactile one by using enhanced 3D replicas. Panels and screens placed too high are difficult to read for visitors on wheelchairs, so they need to be repositioned; this will also help children who may be able to read, but are still much shorter than an adult.

The "Museo4U" project offers some "inclusive" multi-sensorial information points about important exhibits. They consist of a stand incorporating: a display, a 3D physical replica of the object, enhanced to improve tactile feedback, a loudspeaker and some control buttons, with commands printed in high-visibility colours and in relief in Braille. A proximity sensor detects when a person is approaching, and starts a voice message informing that there is a nearby multi-sensorial device with information. The same message appears on the screen. The stand has the right height for persons on a wheel-chair, or a child, and is conceived to allow easy manipulation. All the functions are commanded by physical buttons, as virtual ones would not be comfortable for visually-impaired visitors.

The storytelling consists of videos and animations. All multimedia include Sign Language explanations, subtitles and voice-over. Some images are stylized to facilitate comprehension by visitors with cognitive deficits. The result is a communication system for all.

Figure 6 shows a screenshot of the multimedia description of a bronze button with a “nuraghe” shape, the typical megalithic Sardinian tower. The subtitle says: “It has the shape of a nuraghe: the typical building from Sardinia”. The narrator is signing the word “building” in LIS, the Italian Sign Language. A stylized image of a nuraghe is displayed on the left, and the button is shown on the right for comparison. The voice-over reads the subtitles. At the end of the explanation, a 3D model of the button is shown, to appreciate various details of the object.

In this example, the “Zero Km” approach has also seen another application concerning re-cycling of resources. As it unfortunately happens in many museums, some equipment provided in the past has undergone a rapid obsolescence and now stands unused in the corners or in the basement. This is often the case with multimedia interactive installations, colloquially called “totems”, a combination of electronics and furniture. Some of them were already installed in the museum, but the electronics were no more maintained and the software was unusable. Instead, the monitors were still usable and the structure was well-designed, had the right height and was in good condition, so easily recyclable. The electronics were replaced with an Arduino board, an inexpensive and very flexible open source platform, on which the apps have been installed. New graphical stickers have been applied on the device to renew its aspect (fig. 7 and 8).

Refurbishing each stand in this way costs less than 100 €, so the device, usually costing several thousand Euros when bought new, was obtained at less than one-thirtieth of that amount – affordable even for low-budget small museums as the one involved.

5. Conclusions

The Cortona virtual tablet shows how to support the explanation of museum artefacts with simple virtual techniques. This approach makes unusual objects more familiar and hence more comprehensible to the visitor.

The MANN Virtual Passport example demonstrates that an interruption in the visit created by the lack of some exhibit may be turned into the opportunity of enriching the presentation of the museum content with interesting information and linking the missing exhibit to other related artefacts all over the world.

The applications produced by “Museo4U” show that almost always “less is more”, and simple expedients may result in a great enhancement of the museum communication.



Fig. 7.

Refurbishing the totem: on the right, the old totem before refurbishing.
Photo: G. Niccolucci



Fig. 8.

The refurbished totem, with the replica on the top and the gold-blue logo on the side, meaning “friendship” in LIS

In these showcases, the use of plain VR and multimedia techniques has resulted in an enhanced visit, creating an inclusive museum for all. The multimedia used in the Vetulonia museum avail of the same components to create a product addressing, at one time, all visitors including those with various special needs. Technology is instrumental and useful, but it is used here with the minimum impact, avoiding special effects that may be impressive at first sight but don’t really improve the visitor’s experience.

REFERENCES

Amico et al. 2015

Amico N., Fabbri F., Perazzi P., Poggesi P. Prato Mostre Archeologiche // Notiziario della Soprintendenza dei Beni Archeologici della Toscana. 2015. Vol. 11. P. 42–43.

Easy-to-read 2017

Easy-to-read.eu. Projects. URL: <http://easy-to-read.eu/projects/> (accessed: 21.12.2017).

MAEC 2016

MAEC : Gli Etruschi maestri di scrittura. Società e cultura nell’Italia antica. Cortona, 2016.

Scopigno et al. 2015

Scopigno R., Cignoni P., Pietroni N. et al. Digital Fabrication Techniques for Cultural Heritage: A Survey // Computer Graphics Forum. 2015. Vol. 36 (1). P. 6–21.

Vassallo et al. 2015

Vassallo V., Amico N., Hermon S. et al. The 3D Replica of Kazafani Boat. A Case Study of a Fragile Archaeological Artefact // 21st Annual Meeting of the European Association of Archaeologists (EAA). Glasgow, 2015.

GIS VISUALISATION AND ANALYSES OF UNDERGROUND STONE QUARRIES

1. Introduction

The Mergelland region in the south of the Netherlands, crossing into neighboring Belgium (see fig. 1, 2), has over 500 man-made underground structures. These man-made underground structures, covering 6,000 years, have been studied by a wide variety of disciplines. Over the years published studies have included investigations into the geological, flora- and faunal aspects of the structures, as well as their historical origins and use, and significance for local and family histories and genealogical research. But archaeological GIS techniques can improve the studies of these underground workings.

The Mergelland area is named after Mergel, the local name for limestone. This local limestone is grainy, yellow, white or light brown and has three “ingredients” that are of use to humans. First, flint-nodules from the limestone have been used from the Palaeolithic period and into the 21st century for a variety of uses. Second, certain layers in the limestone are very suitable for use as building stone and as a glass-fluxing-additive in tunnelling. The third use is the use of the created underground space in itself. By extracting minerals from the limestone an underground open space is created. Humans have used these underground open spaces for a wide variety of purposes, ranging from shelters to storage rooms to tourism attractions and a means of transport (Orbons 2017, 41–66).

2. GIS visualisations and analyses with LIDAR

Finding chalk mines

Loose limestone has been extensively extracted in Mergelland over the last two millennia for a wide variety of uses. The largest and best documented chalk mine is Henkeput. The shaft has a diameter of 1.5 metres and is about 12 metres deep. At the bottom of the shaft there is a large cone of debris. And at the bottom of the shaft, to one side, a number of irregular shaped chambers were found. The shaft and chambers have been cut. The usage, date and origin of this shaft and chambers remain unclear.

In the 19th century researchers concluded that the chalk was unsuitable for building stone. A natural origin for the shaft was suspected and has been extensively studied, but the tool marks in the chambers proved that the structure had at least been enlarged by humans actively working underground.

The most widely accepted theory is that Henkeput was used as a chalk mine. Proof can be found in the spatial logic of the location of Henkeput. This logic starts by checking the LIDAR elevation map of the area (see fig. 3) directly around Henkeput. It can be concluded that the shaft sits on the high flat plateau with steep valley sides to the south and to the west. It sits more or less in the corner of the higher flat area bordered by valley sides. Logic dictates that chalk from this high positioned chalk mine was not used for the fields in the valleys. GIS is an essential tool to visualise the evidence to this type of mining.

LIDAR analyses to find entrances and quarries

Figure 4 presents the map of the Ternaaien-Boven quarry in the Belgian-Flemish part. The underground collapses result in surface subsidence which is visible in the LIDAR data.

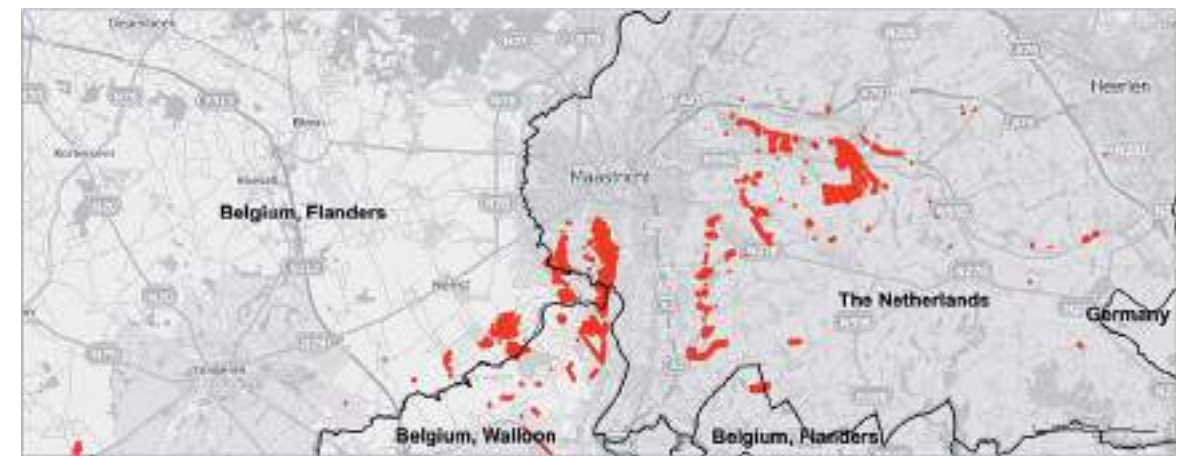


Fig. 1. Mergelland area. Red are man-made underground structures. Image: J. Orbons



Fig. 2. A shaft for chalk extraction (Henkeput). Photo: J. Orbons

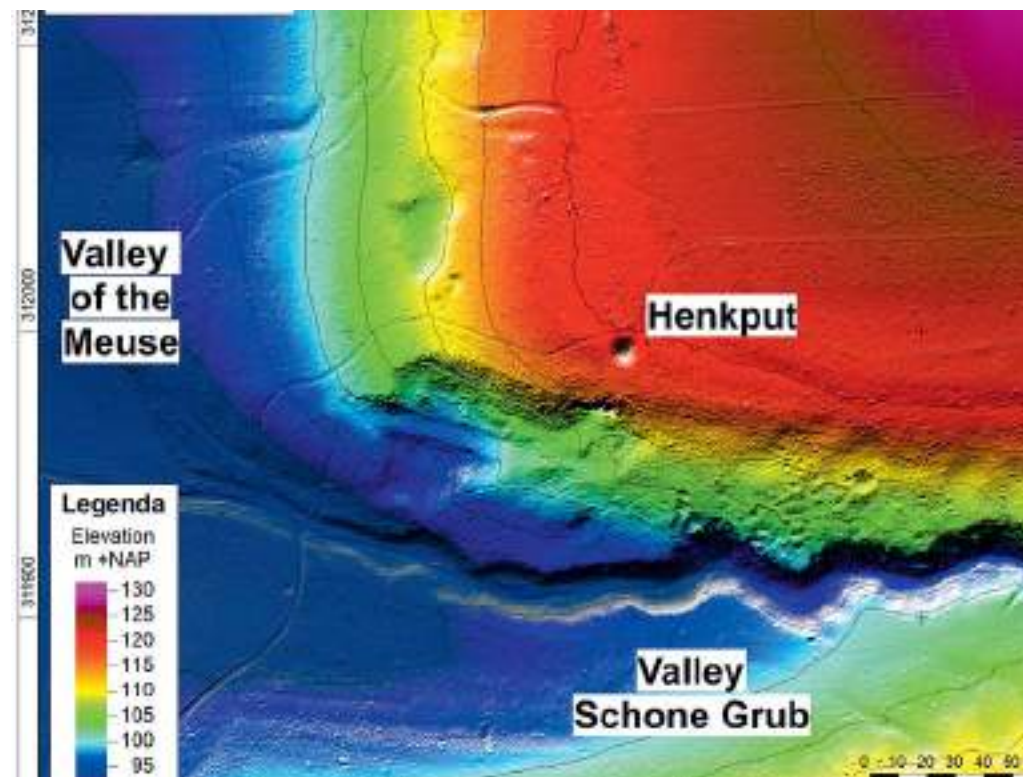


Fig. 3. LIDAR data of the area surrounding the Henkeput (AHN2 data). Image: J. Orbons

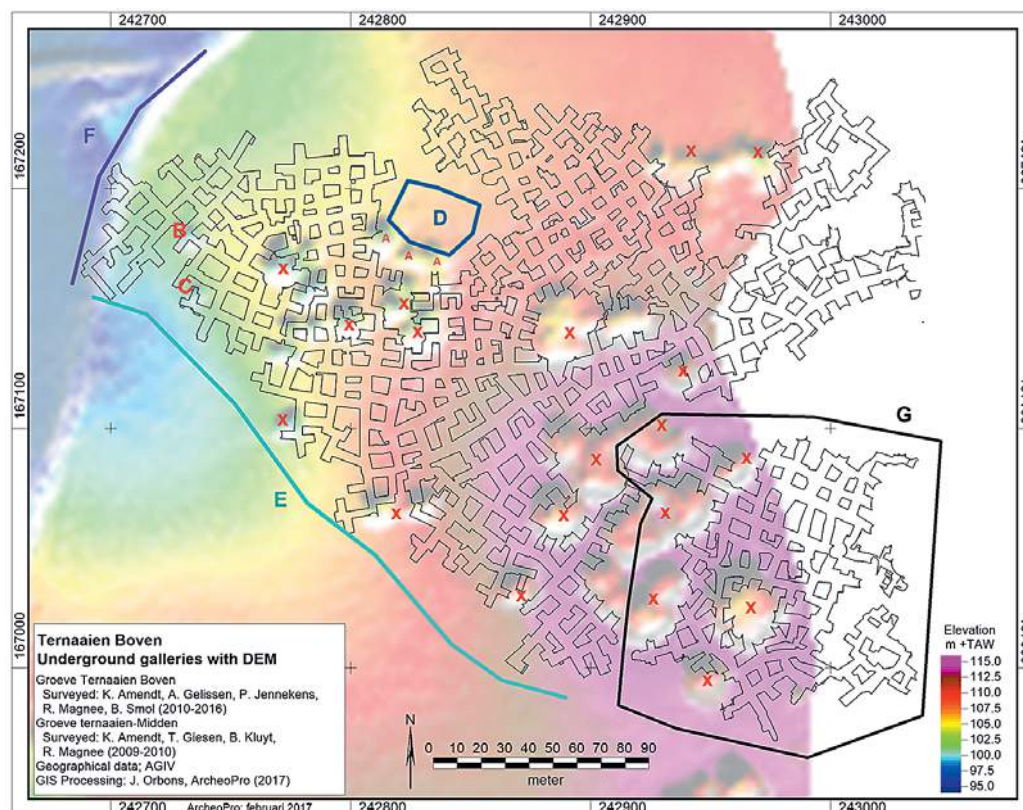


Fig. 4. LIDAR DEM with galleries of the quarry Ternaaien-Boven. Image: J. Orbons

The underground collapses and area of subsidence are marked with an “x” in fig. 4. The three collapses marked with an “A” cut off an area marked with D. The area “D” is not collapsed and sits in between two zones that are quarried. So maybe it was never quarried, or maybe some undiscovered galleries can be found behind these collapses.

LIDAR was also used to understand the progress of the quarrying underground. In fig. 4 the line E forms the southern border of the quarry. The galleries do not go beyond this line and are not stopped by a collapse. Quarrying stopped at this line. Line E matches with the dry-valley on the surface and very often this is the line of a geological fault. So probably quarrying was stopped just before a geological fault. The same is the case with line F. Continuing the quarry-galleries would result in reaching the gravel and loess and creating unstable situations and poor quality building stone.

In conclusion, LIDAR data can help us to understand the reasons behind the mining-engineering activities and why a particular exploitation stopped or continued in a certain direction.

Unsuccessful LIDAR

LIDAR is not always successful, however. I have tried to use LIDAR data from the area of the Rijckholt flint mines to find the shafts of these prehistoric mines. The theory to be tested here is that the infill of Neolithic shafts would have become compacted over time and hence created a small depression that would be visible on the surface. LIDAR has been extensively used over the last couple of years to detect medieval mining remains (Casagrande 2012, 67–71). Locating a Neolithic mine in an area that was forested and probably ploughed or otherwise used could be problematic, however, as the surface of the mine could have been subsequently leveled out. On the other hand, several flint-mining areas in England show that the shafts, even after thousands of years, are still visible as extensive depressions. Probably the reason for this preservation is the thin layer of soil on top of the chalk bed in contrast to the thick layer of gravel and loess in the Mergelland region.

In fig. 5 a small part of the Rijckholt flint mining area is given. The orange contour is the area that is excavated. The red circles are the shafts that were found underground during

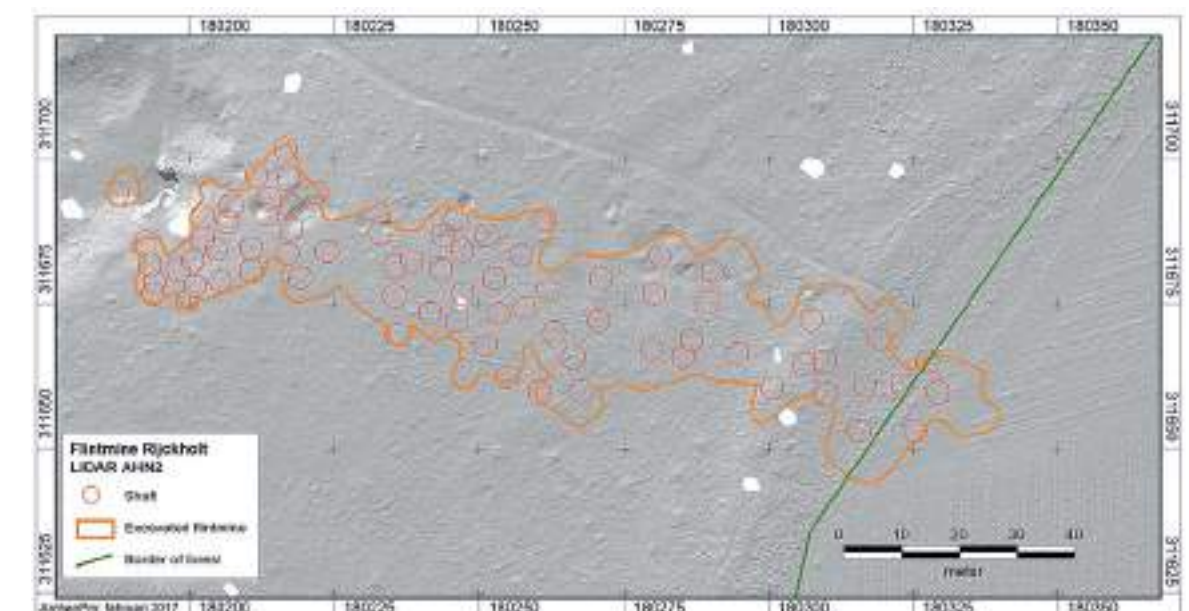


Fig. 5. LIDAR DEM on top of the flint mine Rijckholt. Image: J. Orbons

the 1964–1972 excavations. This Multiple return aerial LIDAR data was sampled in a wooded area but the trees were filtered out with the Last Reflection method. The data was processed in a GIS. Unfortunately, the data does not give any hint of shafts in relation to the known shafts. Some differences in level are present but this would probably relate to later land use activities such as forestry and surface gravel-pits, etc.

3. GIS to find number and figures

The power of a GIS is that it produces a large amount of data on the objects input into the system. It is the role of the researcher to make useful data out of this.

The GIS of the medieval underground quarries contains surveyed galleries that have a total length of 450.06 kilometers. The surveyed part has a total surface of 480.31 hectares. The collapsed parts and the disappeared parts form a total surface of 79.9 hectares. This means that 85 % of the galleries have been surveyed. Assuming a same gallery-density in the collapsed and disappeared parts, this would result in 525 kilometers of galleries.

From every quarry the length of the galleries has been calculated as well as the surface area of the quarry. These two parameters can be drawn in a graph as seen in fig. 6. This graph has the length of galleries in logarithmic scale on the X-axis. The surface of the quarry in square meters is shown in the Y-axis, also in logarithmic scale. Every dot is a quarry. This graph forms a more or less straight line. Because the line is straight, it is an indication that the correlation between the surface area of the quarry and the length of galleries is more or less uniform in all quarries. This means that the statistics for the known quarries can be extrapolated to the collapsed and excavated areas.

Now that we know the total length of the galleries many more calculations and estimations can be made. One of the major questions is to make estimations of the labour that was required to quarry these galleries. To do this, it is essential to determine the volume of limestone quarried. By using the surface from the GIS and the height from the galleries, it is

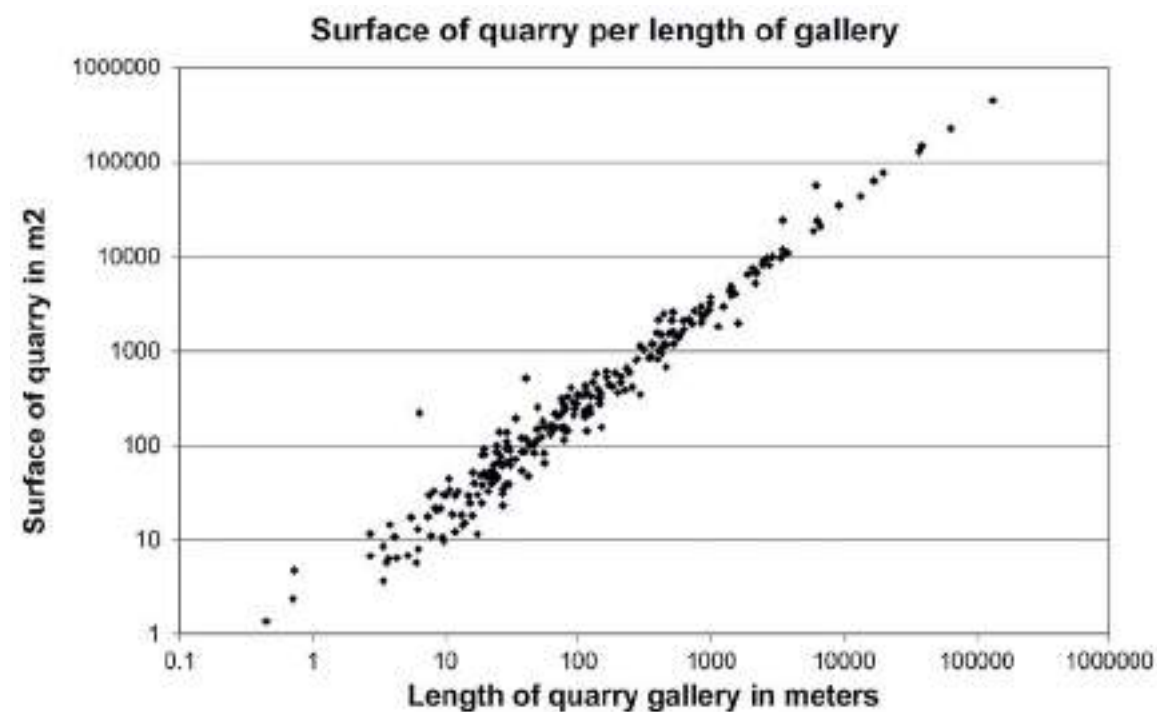


Fig. 6. Graph of the surface area of a quarry per length of the quarry. Image: J. Orbons

possible to calculate how much stone has been removed. The GIS produced an estimated 11.3 million cubic metres of quarried limestone over a 600 years period.

The sum total of 525 kilometres of galleries and 11.3 million cubic metres is a large amount of limestone, but how much labour was needed to create these galleries? To make an estimation of the amount of labour involved we use the length of galleries. Oral interviews of old quarrymen showed it took a full week to extend a gallery of 85 centimetres long. So by dividing the length of galleries and dividing them over 600 years and only 26 weeks of quarrying per year, it results in an estimated 56 quarrymen who were active in the whole of the Mergelland area. This compared with the guilds, it is concluded that quarrying was a minor craft in the region although it leaves extensive labyrinths of underground galleries.

More details can be obtained from the data. Sibbergroeve near Valkenburg is a quarry that has been well studied. Many quarrymen wrote on the walls and some inscriptions have survived. These quarrymen sometimes wrote the year of working on the walls. These dates have been entered in the GIS and a spatial analyses has been used to create a contour map showing the years of extraction. This map is shown in fig. 7.

Continuing with the spatial analyses, the colour map was divided into zones of ten years quarrying, starting with the oldest date AD 1660 up till 2016. The zones of ten years were then combined with the map of the quarry-galleries, creating sections of galleries, quarried per decade resulting in the volume of limestone extracted per decade per stretch of gallery. Next all the sections of galleries are combined for each decade and their volume is added up to the complete volume quarried per decade as shown in fig. 8. This graph shows some interesting information. The oldest quarrying in the eastern part of the quarry was relatively slow producing little stone at the end of the 17th century. During the 18th century, quarrying went better, producing larger amounts of limestone. At the end of the 18th century production decreased according to the graph. The map has an answer for this decrease. The zone has a lot of geological faults. For the quarrymen, this is a reason to stop quarrying because the quality of the limestone reduces close to a fault and it costs more to take the block out than what it can be sold for. So a quarry stops producing stone. But once a large quarry stops producing, the demand for limestone makes the prices rise so it becomes economically viable to try to make a gallery through the poor limestone in the hope to reach better stone. This was done a couple of times in the lifetime of this quarry.

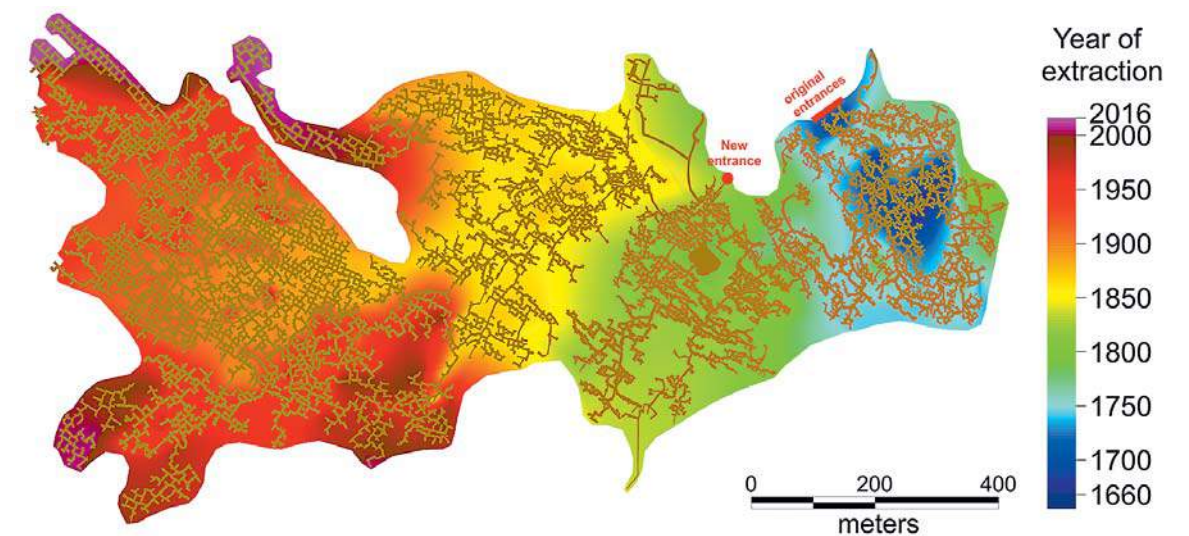


Fig. 7. Sibbergroeve with the years of quarrying turned into isodecades. Image: J. Orbons

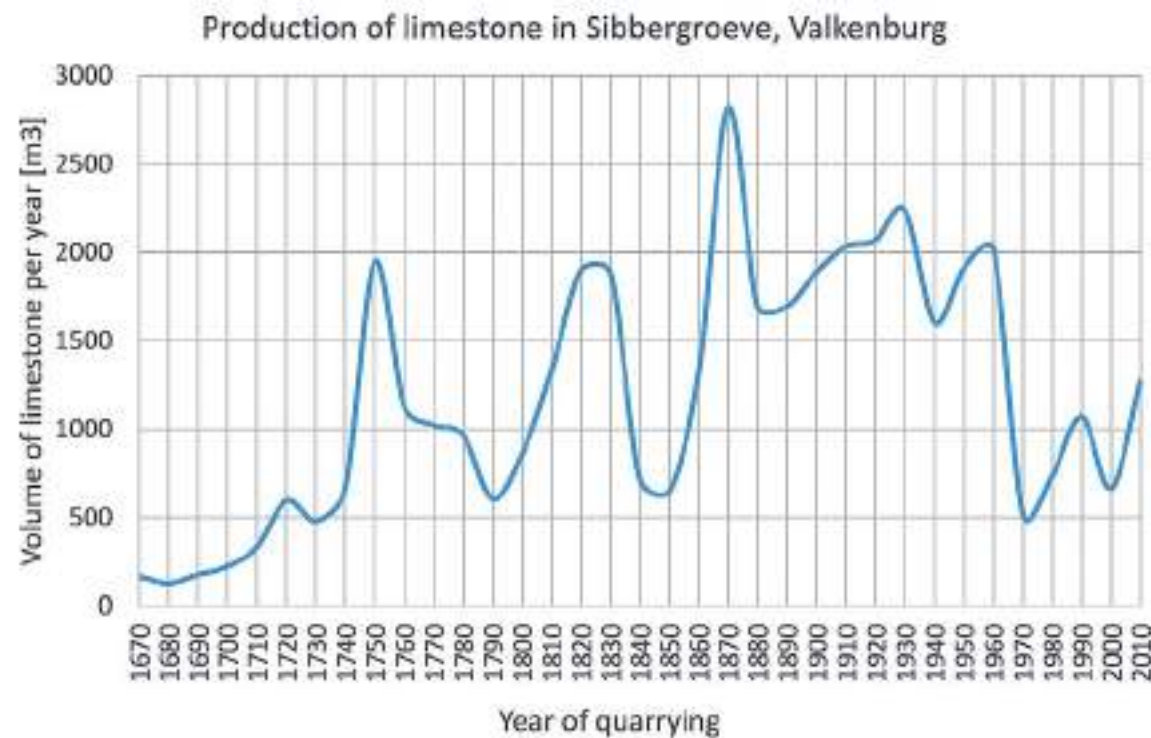


Fig. 8. Production volumes per decade of Sibbergroeve. Image: J. Orbons

4. Predictive model of underground limestone structures

Archaeologists have tried to predict the presence of archaeological structures, from the very earliest days of the profession (Leusen et al. 2005, 26–27). In the past archaeological predictions have relied on a knowledge of the landscape and records of previous finds in a study area. With the introduction of Geographical Information Systems (GIS) and statistics in archaeology, it has become possible to reliably predict the presence of archaeology with greater success.

GIS models in archaeology use the soil type, elevations and geomorphology to predict the possible location sites by comparing the known archaeology to these parameters. Where there is a solid statistical correlation, the causality is studied. If the causality between the geographical parameters and the archaeology is determined, then that set of geographical parameters is used to produce an analysis of the study area (Verhagen 2009, 71–72).

In 2009 the council of Valkenburg in Mergelland wanted to produce an archaeological resource map of their area. A study to produce such an archaeological map consists of a good description of the known archaeology, resulting in a predictive map for the archaeology. This predictive map is then converted into a policy map that gives guidelines as to what type of archaeological work needs to be done in case of a development.

The first step towards an archaeological map is to gather all known information from the study area (Orbons 2005, 52–74). The second step towards the creation of an archaeological map of the man-made underground quarries is to produce a predictive map. This predictive map is based on a model to calculate the potential presence of the man-made underground structures. It was determined that this predictive map had to be split into two separate predictive maps, each with a different set of parameters. These two maps could then be combined into a single map.

Predictive model for quarry entrances

The predictive model to determine the possible presence of an entrance to an underground limestone quarry relies on four parameters: geology, elevation, slope and historical settlements. Elevation and slope are related but need to be assessed separately. These four parameters are checked with the presence of known entrances to test the predictive model. To predict an entrance, all four parameters need to be taken into account.

Geology

The geological unit MT-2 is the Upper chalk-Maastricht facies. This is the best limestone for building stone. To create the predictive model, every presence of the MT-2 geology was digitised and made visible as a dark-blue zone in the map. There are 320 entrances in this model. In tab. 1 the percentage is given for each entrance and the geological unit. The entrances are mostly present at the outcrops of the MT-2 geological layer thus creating easy access for building stone and for quarrying. The map also shows that a significant number of entrances are not in the MT-1 and GU geological outcrop. A large part of the entrances (>25 %) cannot be determined by the geology at the location of the entrance. The geology is therefore not the only parameter that determines the presence of entrances although it is a primary parameter for the prediction for the presence of entrances to underground quarries.

Table 1

Geological component of the predictive model

Geological unit	Number of entrances	Percentage
MT-1	28	8.75 %
MT-2	198	61.88 %
GU	2	0.63 %
Other	92	28.75 %

Elevation and slope

The elevation model is taken from the Dutch Lidar measurements. From the elevation the slope-map is calculated with a slope calculation. The cut-off point is a 15 degree slope to identify areas of steep slope. All the entrances are marked as purple points. The cut-off point of 15 degree is decided by the number of entrances in the categories of slope. The histogram of the categories of the slope of the entrances is given in fig. 9. The orange line in the graph crosses the 25 % mark at about 15 degree slope as indicated by the green lines, so 75 % of the entrances can be found at an area where the slope is 15 degrees or more.

A map with the classification of the entrances in relation to the surface slope of the entrance is given in fig. 10 showing that the vast majority of the entrances can be found on the valleysides.

To predict the presence of an entrance to man-made quarries, the elevation model as a combination between elevation and slope is a second solid prediction parameter for the presence of entrances to man-made underground limestone quarries.

A number of entrances that are not in the slopes can be found on top of the plateau. The limestone is covered with a layer of gravel and loess so access must be through a shaft. The percentages of the predictive slope model are given in tab. 2.

Table 2

Landscape component of the predictive model

Elevation and slope	Number of entrances	Percentage
Valley	4	1.25 %
Slope	306	95.63 %
Plateau	8	2.50 %
Disturbed	2	0.63 %

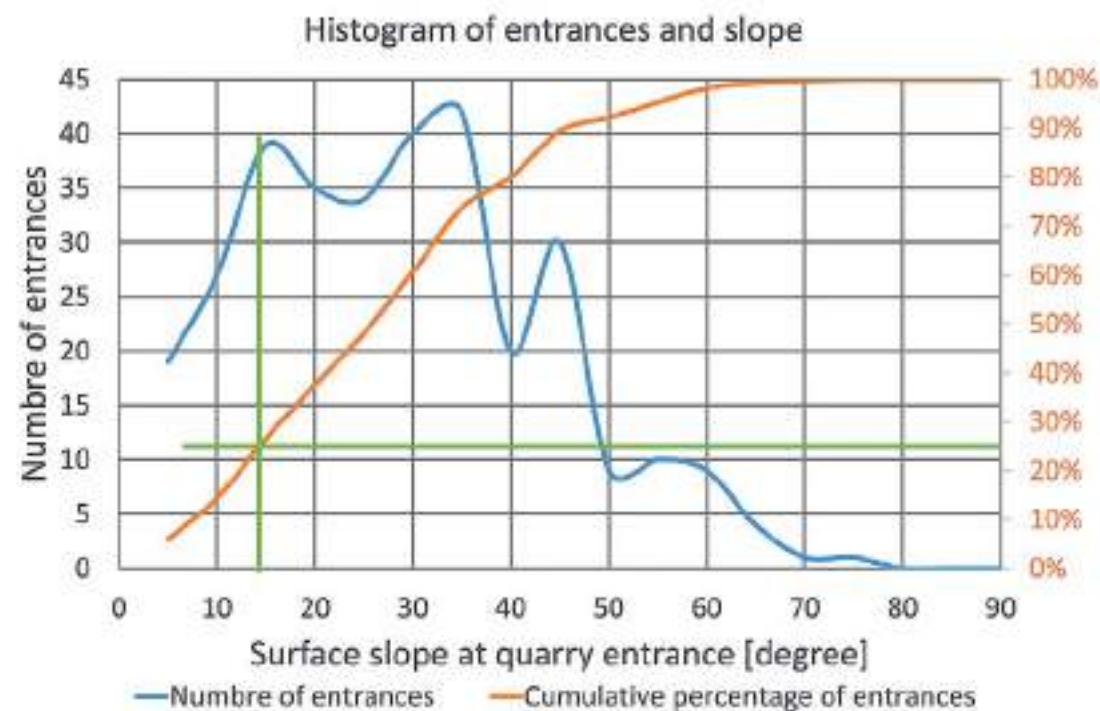


Fig. 9. Histogram of a slope at the entrances.
Image: J. Orbons

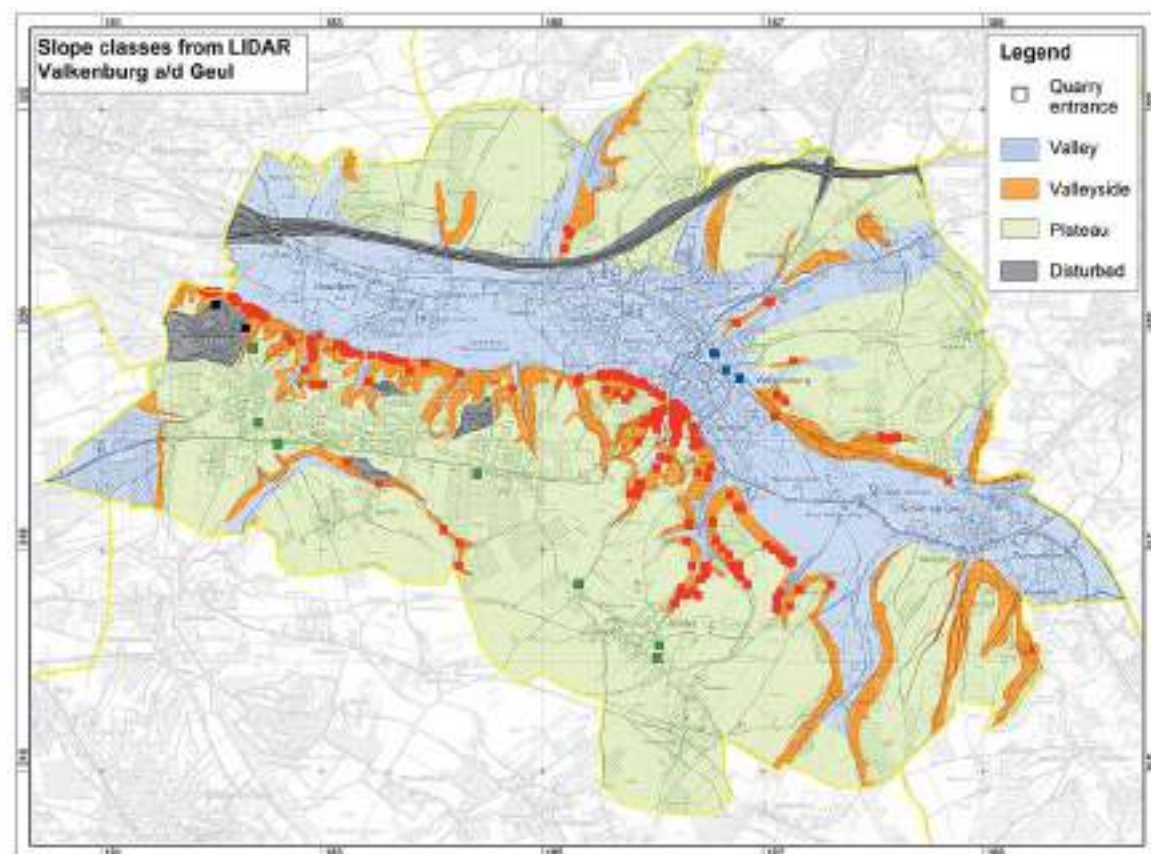


Fig. 10. Landscape elevation map of the valley-slope-terrace classes and the entrances.
Image: J. Orbons

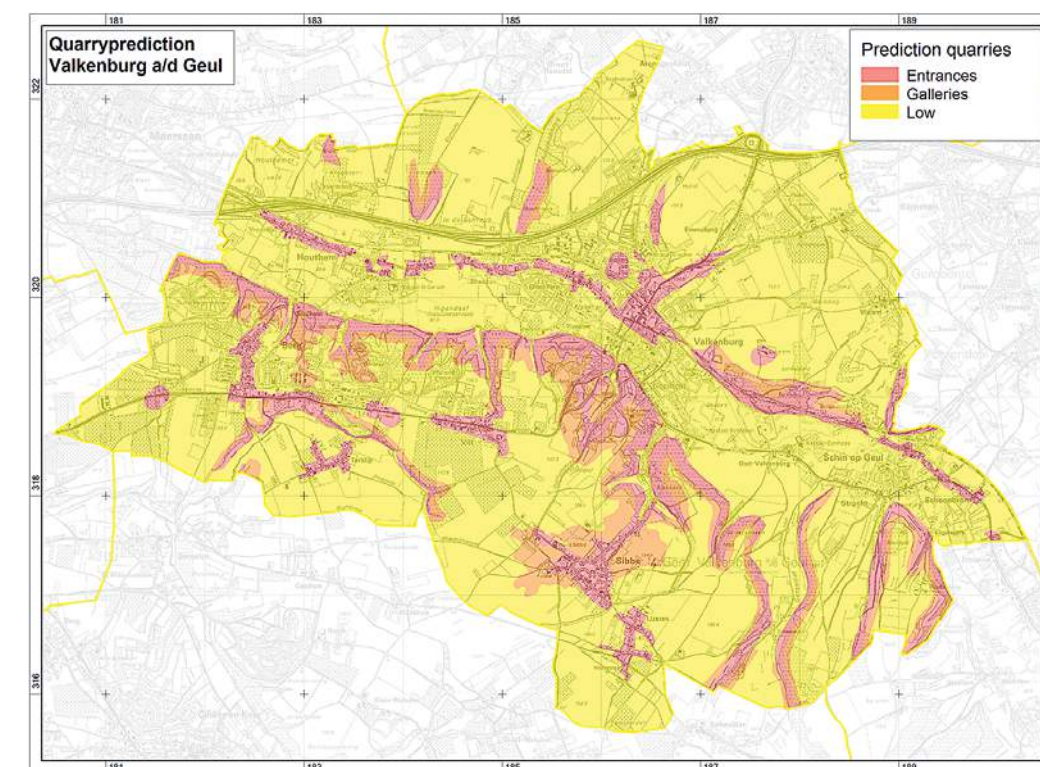


Fig. 11. Predictive map of the quarries.
Image: J. Orbons

Historical settlements

The third parameter to predict the presence of entrances is related to the location of historical settlements. The colonisation of the plateau during the medieval times forced the new settlements on the plateau to make deeper shafts. These shafts were used as water wells and as an access to the limestone for building blocks. The results of this component in the predictive model are given in tab. 3.

Table 3

Historical component of the predictive model

Entrance	Number	Percentage
In a village	52	16.25 %
Near a farmyard	59	18.44 %
Not in or near a village or farmyard	209	65.31 %

Predictive map of quarries

The above mentioned parameters were used to generate a predictive map for entrances to the quarries. This algorithm results in a selection of the known quarry entrances where tab. 4 gives the results of the selection.

Table 4

Accuracy of the predictive model

Entrance	Number	Percentage
Entrances that match the algorithm	311	98.13 %
Entrances that do not match the algorithm and are limestone quarries	1	0.31 %
Modern entrances that do not fit in with the algorithm	5	1.56 %

The galleries of the quarries extend behind the entrances, inward from the entrance. The existing quarries show that most quarries extend less than 50 metres from the entrance. Some large quarries extend deeper into the hill.

This results in the map given in fig. 11. This map shows the prediction for entrances in red, and in orange the zones where galleries under the surface can be expected. The yellow zone is a zone where no entrances and no galleries are predicted, the risk of finding an entrance or galleries is low (Wijk, Orbons 2009, 167–169).

REFERENCES

Casagrande 2012

Casagrande L. Mining Landscapes from Remote Sensing (LIDAR DTM): Study Cases in the Ovince of Trento (I) // 7th International Symposium on Archaeological Mining History. Jihlava, Czech Republic, Institute Europa Subterranea. Valkenburg, 2012. P. 67–71.

Leusen et al. 2005

Leusen M., van Deeben J., Hallewas D. et al. A Baseline for Predictive Modelling in the Netherlands // Nederlandse Archeologische Rapporten. Amersfoort, 2005. Vol. 29 : Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek. P. 25–92.

Orbons 2005

Orbons P. J. Inventarisatie van de ingangen van onderaardse kalksteengroeven in Nederland 2002–2004 // Roermond. 2005. P. 1–107.

Orbons 2017

Orbons P. J. An Archaeology of the Darkness, Man-Made Underground Structures in the Mergelland Region as a Source for Archaeological Studies : Academic Master Thesis Archaeology, University of Amsterdam. 2017.

Verhagen 2009

Verhagen P. Predictive Models Put to the Test // Archaeological Prediction and Risk Assessment : Alternatives to Current Practice / eds. H. Kamermans, M. van Leusen, P. Verhagen. Leiden, 2009. P. 71–121.

Wijk, Orbons 2009

Wijk I. M. van, Orbons P. J. Verleden met toekomst, archeologische beleidskaart en groevenbeleidskaart voor Valkenburg aan de Geul // Archol rapport 121. Leiden, 2009. P. 1–303.

Alfonsina Pagano, Daniele Ferdani, Eva Pietroni
CNR-ITABC, Italy

Gergely Szenthe, Szilvia Bartus-Szöllősi
Hungarian National Museum, Hungary

Assunta Sciarrillo, Enzo d’Annibale
CNR-ITABC, Italy

THE BOX OF STORIES: USER EXPERIENCE EVALUATION OF AN INNOVATIVE HOLOGRAPHIC SHOWCASE TO COMMUNICATE WITH MUSEUM OBJECTS

1. Introduction

The majority of museums are designed as storage rooms, only functional to preserve cultural objects and make them accessible to the public. They are redundant with showcases full of repeated objects, and the information regarding the manufacts is often aseptic and relations among the objects are of typological and chronological relevance (Antinucci 2014)

This approach easily leads visitors into a state of frustration or information overload. Thus, one of the most important aspects regarding museum objects is overlooked: their being related to a sphere of life, human stories, habits, beliefs.

The reconstruction of stories, senses and symbolisms that are “beyond” the physical objects can be a powerful vehicle to drive visitors into the middle of a lively and emotional experience (Panofsky 1996). This way history is no longer perceived as something far away, “behind the scenes”, extraneous, but it becomes alive, part of our present.

In the first section of this paper we present the workflow and the concept adopted to create a novel kind of multimedia installation aiming at creating a powerful connection between the real artifact and the virtual contents: it is the holographic showcase.

This installation has been created within the European project CEMEC, *Connecting European Early Medieval Collections*, which gave birth to a travelling exhibition “Crossroads”. It is currently travelling between European museums until the end of 2019. In order to verify the impact of the holographic showcase, in the second section of the paper we discuss the user experience performed in the first two exhibitions hosted at the Hungarian Museum of Budapest and at the Allard Pierson Museum of Amsterdam.

1.1. The role of narration and multimedia

Narration is not merely a description of the object. It is a creation of a story that allows visitors to feel embodied with the objects suggesting the original context of use and their meaning. In order to do this it is necessary to converge script, image, light, sound, mood and atmosphere, and compose an expressive unit around the museum object. Dramatization and evocation allow to deliver the essence of the cultural message with a greater emotional impact on the visitors (Viola 2017).

Given this precondition, a direction is needed in the narration and, therefore, a multifaceted team of professionals, able to assure the scientific accuracy of the content, combined with communications strategies. Contamination and mutual reliance of multimedia

languages, virtual reality, theatre, augmented reality, staging design and lighting allows a combination of science, art and technology to be performed.

Through the virtual and multimedia languages we can reconstruct the object or the context which an object was created for, used or found. Besides, in our envision, this kind of digital contents can be integrated with the museum object inside the showcase. This augmented experience could blend the emotional impact of standing in front of an authentic artwork with the cognitive benefit of the virtual reality, storytelling and sensorial reconstruction (Pietroni 2016).

Information delivered through this new paradigm could improve the way visitors assimilate, translate and reformulate the cultural experience. They create new links, new ideas and hidden information passed unnoticed before suddenly lights are up (Gianni Falvo 2013).

Another important aspect is the modality in which cultural objects are exhibited. This determines the amount of information to be delivered, the narrative structure and, consequently, both the style to be used and the level of interaction with the content. If multimedia are arranged in presence of many objects, in a loud room and full of visitors, their contents will necessarily need to be explicit and concise. Here the level of interactivity is almost null. On the other hand, if they are displayed in a designated space, illuminated with a proper light, without noises and predisposed to foster visitors' concentration, the level of sensorial immersion and interaction will be more layered and deep.

The holographic showcase we are presenting here has been designed for the Kunágota sword, a weapon that belonged to an Avar warrior chief in the 7th century AD and is currently preserved in the Hungarian National Museum in Budapest. This prototype has been tested in two exhibitions. The former took place at the Hungarian National Museum (HNM) in Budapest in February 2017 and the latter at the Allard Pierson Museum (APM) in Amsterdam. After the description of methods and tools used, results of the user experience are discussed and deepened in order to demonstrate how this kind of multimedia installation can help museums to improve the quality of their exhibitions and under which conditions.

2. The museum environment

The novelty of this kind of multimedia installation can be summarised into two phrases: a) *technological integration* and b) *narrative-enhanced experience*.

The holographic system is conceived to be connected and completely integrated with the museum's collections (Leinhardt, Crowley 2001). It can be placed along the museum corridors as a common showcase (as in APM) or into a separate area, where a cinema-like dimension is favoured (as in HNM) (fig. 1, 2).

In both cases, the real artifact is exhibited inside the holographic showcase: it perfectly fits the museum needs; all the technological equipment is hidden below the front view, temperature is stable and controlled and the real object is safely far from the visitors' hands.

Thanks to the virtual projections, the real object is brought to life. Visitors' imagery is indeed empowered and augmented by means of moving images, voices and noises, virtual restorations and reconstructions.

2.1. The chosen museum object: the Kunágota sword

The first subject of our holographic experimentation has been the Kunágota sword. It is part of the permanent collection of the HNM in Budapest. The sword originally belonged to the Avar chief of Kunágota and it was found inside his tomb, in the south-east region of Hungary, as funerary good. It dates back to the 7th century AD, during the establishment of the Avar Empire which lasted until the early 8th century (Aslan, Buora 2001).



a



b

Fig. 1.
The Kunágota showcase:
a – the HNM; b – APM setup. Photo: A. Pagano



Fig. 2.
The Kunágota showcase: APM setup. Photo: E. Pietroni

The sword is covered with golden sheets which formerly belonged to a Byzantine casket. The casket could be part of a loot that the Avar warriors plundered during a battle with the Byzantines. The golden sheets were then dismantled from the casket by the Avar soldiers to be reused and applied on the sword scabbard of an important chief when he died. According to the Avars shamanic belief of the Asian origin, widespread in the reign of Tengri, the objects accompanied the owners in the afterlife. During the excavation the decorated sword was found lying beside the chief's body, together with two sacrificed horses and other goods of everyday usage.

2.2. The holographic showcase

The main goal of an hologram inside a showcase is to arise the illusion of reality, as the virtual contents would be real and effective and the original artifact would come alive again. This must happen before the visitor's eyes, from his individual point of view. Therefore we must not create an alternation of different cameras looking at the scene, because otherwise we would switch to the paradigm of the cinematographic fiction. For the same reason we have to pay attention to include the whole shape of objects into the field of view of the holographic projection avoiding to cut the edges of the digital objects.

For the Kunágota showcase, the system takes advantage of a) illusion techniques, b) full control of the environmental lights and c) protected area, quite dark and silent. The experience envisioned for the visitors is composed of three phases (or "chapters"):

1. Waiting, neutral vision of the exhibited object where the attention is focused on the artifact inside the showcase.
2. Details, analytic narration and dramatization regarding the object's figures and pieces, where attention is focused on the holographic projection appearing inside the showcase, while interacting with the real artifact.
3. Total vision, contextualization and dramatization of the object.

In Phase 1 (neutral vision) we want to grant visitors some time to observe the sword in its uniqueness, highlighting the preciousness of the fitting golden pieces upon the sword, with a non-invasive communication. We look at the real sword well illuminated in the showcase and, in some moments, at a few holographic animations inside, magnifying some figures and pieces coming from the real object. At the same time we see short captions with some (little) essential information about the owners, epoch and context of usage, not following an evocative style. The design of the user experience here is intended to make the user get slowly involved in the narration, looking closely at the showcase containing the authentic object, having the time to understand what is happening, and bringing him to the final envision of the story that will be developed in the following two phases.

In Phase 2 (fig. 3) we draw the attention of the visitors to the story of the golden decorations of the sword. The evocation and dramatization are brought inside the showcase, as holographic projection, told by a mix of several voices and whisperings, recalling events, episodes and personages from the object's past life. It is a first person drama. What we represent here is the Byzantine casket in its original context, its purloining during the battle, its dismantling and the adaptation of the golden pieces to the sword, once its owner, the Avar chief, died. We understand that the golden figures, belonging to the classical Greek culture, were mostly unintelligible for the Avars, as we see that they didn't take care of their integrity. Holographic animations are projected directly on the Kunágota sword and around it. In this environmental condition, what is relevant is to make the illusion of bringing specific components of the authentic object alive, like the single golden pieces or the grip. Evocation is organized in different scenes, introduced by short, clarifying titles. In Phase 3 we want to give evidence in the original context of finding, that is the Avar tomb, trying to visually represent the ancient beliefs. We can see the tomb in which the sword was found. The tomb is put inside the imaginary Avars' representation of the afterlife: the tree of life connecting the earth to the blue sky. The tomb is in the bottom, excavated directly from the soil in the roots of the tree; the dead warrior can climb up on the back of his horse (lying beside), and ride to the sky. The narrative style is not descriptive but metaphysical and evocative, even if based on scientific studies and ancient original drawings. At this stage



Fig. 3.
Holographic animation and virtual object: the golden pieces of the scabbard are relocated in their hypothesized original position on the wooden core of the Byzantine casket. Rendering: D. Ferdani

the opportunity to virtually include the authentic sword into the ancient imagery of Avars turns to be essential: visitors need to find a connection with the exhibited object and its virtual representation in order to understand symbolic and ritual values.

Led lights on the objects are managed in real time inside the showcase and they become part of the visual drama and video composition, thus playing a fundamental role in the illusionistic effect. The integration of the different components is managed through Arduino controller (<https://vimeo.com/209312872>).

3. Reliability and storytelling

Regarding the story of the Kunágota sword and its virtual reconstructions, the creative team has worked together with the curatorial personnel of the Hungarian National Museum, relying upon what is known at the present stage of research and published on several scientific sources. In the holographic system all the collected information is expressed using a dramaturgic style instead of a traditional description. We tell a possible story that is in accordance with what we know today; it is a possible and plausible historical reconstruction, linking together what we can presume analyzing the object and its context. The primary contents of the animation are very reliable (for instance, the battles between the Byzantines and Avars, the Byzantine origin of the golden sheets that decorated a small object, presumably a casket). The secondary content is plausible but not certain (for instance, the casket could be taken away as a booty).

Moreover, in order to create the digital effects in the holographic showcase we generated a virtual replica of the authentic Kunágota sword: a 3D scanning of the object using a Structure From Motion approach was performed (Remondino, Campana 2014). The 3D model obtained has been used as a geometrical reference for modelling the missing part of the scabbard and thus to digitally restore the sword and the original golden casket. The 3D scanning is indeed a mandatory step to ensure a perfect overlap, during the animation, between the real and the virtual object. Mismatching or material and shape differences would have nullified the holographic illusion.

3.1. The box structure

From the end of the 18th century there were many experimentations in the theatre and the spectators were emotionally fascinated. The public was invited into a dark space and, with proper machinery, imaginary and visionary figures were projected around the room, creating an illusion of floating presences. One of the most famous machines, ancestor of the modern video projector, is known as "Magic Lantern". Based on the use of one or more magic lanterns the first horror theatre was born.

The main components to build a theatrical machine creating optical effects still remain the same. They are a) a source of light, b) a real object you wish to project as illusion, c) a device to form the image, d) a surface to project the image on.

Known as Pepper's Ghost (Weynants 2003), the illusionistic effect consists in the perception of a floating figure into the space. But what the spectator perceives on the stage is a reflection of a scene/object which is in a different position. Nowadays the dark room, the light and the real content we want to reflect as illusion are replaced by a monitor (or by a projected surface for bigger dimensions) and virtually represented; the semi-transparent mirror is usually a special glass or a film or a common plexiglass.

4. Mixed reality experience: the cognitive context of fruition

Given the new narrative paradigm and the technological integration between real and virtual contents, applied to a museum object, cognitive issues needed to be investigated.

During this experimentation the pedagogical affordances of the holographic system have been studied, focusing the attention on understanding which were the cognitive elements (and behaviours) that mostly influenced a good user experience. Attention, memorability and elaboration of contents were thus highlighted to be the most crucial in learning processes. In the case of the Kunágota showcase, the interaction between the real object and its digital replica and virtual reconstruction enabled an active fruition of audio and video contents. Visitors' curiosity was supposed to be captured by colours, music and narration as well as the view of the real sword; their interest by the "augmented" experience. Also the museum environment was a relevant issue, grabbing the visitors' attention.

Another factor to be studied was memorisation. In our case, memorisation was supposed to be facilitated by the tone of each chapter in which the Kunágota story was told, the style and the music accompanying the three of them, the increasing preponderance of 3D graphics from chapter 1 to chapter 3, the kind of voices, firstly in form of written texts, then quick dialogues and finally a thoughtful monologue.

The third important factor in the cognitive process is elaboration. In the case of the Kunágota showcase, the narrative units, how they have been shaped and located into the storyline, push visitors to connect what have just been heard to what they are viewing so to be finally able to understand what was behind that specific museum object.

4.1. Design of User Experience: issue to be investigated

User Experience (UX) studies are useful for understanding the benefits that users receive from the fruition of technologies included into a museum space, as in our case. In order to improve the attractiveness and the educational potential of the Kunágota installation, showed both at the HUN and APM, a parallel evaluation was planned.

Generally, we wanted to give an answer to three investigative questions while testing the feedback of the public (a target of 15-year-olds up to over 60-year-olds):

1. "Which is the general attitude of public towards this new way of exhibiting the museum object?". With this innovative technology, the public can indeed not only watch, but also listen to the story of the object, expanding the perceptive channels through which they store contents.
2. Another aspect to be investigated was the attractiveness of the narrative approach used. Evocation and dramatization characterize the narrative style of the installation; it is a visual drama implied to evoke emotion and sense of belonging to the story of the real artifact.
3. A third important question concerned the perception of the powerful combination of a real museum object and a fictional context.

With these opening questions, we examined in depth the specific case of Kunágota sword. Specifically, we focused our evaluation on four criteria: the efficacy of the interface design of applications (having in mind the level of attention showed by visitors); the level of memorability of contents; the understandability of the contents; the user satisfaction after the installation experience.

4.2. Planning the evaluation

As for the HUN and APM, two investigative techniques were employed: Observation and Questionnaire. The former was composed by issues to be investigated related to the environmental condition of fruition, the time spent watching the showcase and the behaviour of user. The latter, instead, was divided into three sections: evaluation of the system's features, insights into the story told and overall appreciation of the multimedia experience.

Regarding observations, operators were present in the room hosting the installation, not distracting the visitors; they filled in the observation protocol remaining quite invisible to the visitor and not making the observation too intrusive; they took notes related to the visitor's behaviour on an organized sheet, also taking note of the timing; they observed singularly each visitor filling a single sheet per user.

Questionnaires, instead, followed another method: operators intercepted the visitor to whom they submitted the questionnaire after having observed him/her; they approached the visitors, not disturbing them but monitoring their museum path and analyzing when it was the right moment to ask them to do the research; they submitted questionnaire to the visitors once they exited the room; they let the visitors fill in the questionnaire autonomously, with minimum supervision (just in case of direct answers or doubts) (fig. 4, 5).



Fig. 4.

The compilation of a questionnaire at the APM. Photo: A. Pagano



Fig. 5.

Observation conducted by an operator at the APM. Photo: A. Pagano

5. Results

5.1. Budapest: peculiar context of evaluation

In the framework of the CEMEC project the Hungarian National Museum housed the exhibition “Avars Revived” between March and May 2017. The main goal of the curators was to complement the European perspective represented by the project with the special aspect of the Carpathian Basin in the Early Middle Ages. Also, the exhibition provided an opportunity to test the novel digital applications and multimedia installations designed in the framework of CEMEC. The exhibition consisted of three rooms, one of which was dedicated exclusively to the Kunágota multimedia installation. This, of course, gave the installation a special emphasis from the visitors’ point of view, in comparison to the full

content of the exhibition. It is also important to note that audiovisual experience of any kind embedded in exhibitions does not have a long history with Hungarian museums, thus Hungarian visitors are basically accustomed to “traditional” exhibitions with many artifacts and information of the classical kind. Furthermore, due to historical reasons many Hungarian visitors have special attitudes towards the Avars (see the theory of a connection between Hungarian prehistory and Avars, which however lacks scientific basis and thus recognition). All these factors need to be considered when evaluating the perception of the Kunágota multimedia installation by the Hungarian audience.

The small room at the HNM including the Kunágota installation was almost totally dimmed, with the installation located at one end. Due to repeated requests from the visitors, a few chairs were placed at about the middle of the space left between the installation and the back wall of the room, which was otherwise empty. On the firm request of the curators, beside an English-speaking Kunágota show, a Hungarian version was created for the Budapest venue. The Hungarian and English versions alternated from show to show, a highlighted countdown at the bottom of the installation was indicating the start of the next HUN/EN show.

In Budapest, the show was conceived to be projected inside the holographic showcase, as for Phase 2, while Phase 1 took place on the surrounding wall (4 m wide and 2.5 m high) in which the showcase was integrated, thus giving a more imposing appearance; Phase 3 was not present.

The evaluation of the Kunágota installation was carried out through questionnaires and observations done by the volunteer staff of the museum.

5.2. Amsterdam: cross-fertilization among museum contents

At Amsterdam, the Kunágota showcase was part of the “Crossroads” exhibition, designed for the CEMEC project; it opened to the public from September 2017 to April 2018. The concept behind the exhibition was to make clear how much, in the Early Middle Ages, Europe was a place of great change and mobility. To better vehiculate this, early medieval travellers were designed to provide the connection between the eight main themes of the exhibition and the objects on show. They are real historical characters who visited what today we call Europe, approaching different cultures, exchanging knowledge and cross-fertilizing behaviours. The exhibited objects belong to the CEMEC museum partners and one of them is the Kunágota sword.

Differently from Budapest, the exhibition at the APM consisted of several rooms, each one depicting a single theme (i.e. Identity, Faith, Warfare...) and providing clues of connection with other themes; they also hosted minor multimedia devices as small holographic showcases and floor projections. Two rooms, in particular, were planned to host big multimedia solutions: the introductory movie, at the very beginning of “Crossroads”; the cross-cultural timeline at the end of the visit path, a kind of visual database showing digitally all the interconnections between geographical areas, themes and objects.

The Kunágota showcase was hosted in the Warfare section, coinciding with the penultimate room. Its position was a little bit decentralized, just around the corner of a central structure: this was due to the idea of providing a more intimate environment that could favour the visitors’ concentration. Actually, this choice did not completely meet the authors’ expectations, because the space was very small and the holographic showcase was a little bit hidden and not clearly visible from the main visit path of the exhibition.

In general, “Crossroads” was highly visited by people. In Amsterdam, the Kunágota installation included all the animations inside the holographic showcase. Phases 1 and 2 remained the same as in Budapest (but both were brought inside the showcase), while

Phase 3 was new, presented for the first time, and, similarly, it was performed inside the showcase. No projection wall was used because of the small space available. No chairs were placed in front of the structure and also here, at the APM, the DUTCH and EN versions alternated from show to show.

The evaluation of the Kunágota installation was carried out through questionnaires and observations, done by the CNR staff.

5.3. Data from observations

Observations are still the first and fundamental tool to start collecting an evaluation quantitative feedback. Observing the visitors’ behaviour, analyzing their visit’s path, noting down their relationships with other visitors or with digital installations are crucial to outline a reliable “photograph” of what is happening inside a museum.

For the APM, as well as for the HUN, observations were planned while visitors were looking at the Kunágota showcase, obviously in two different contexts of fruition. In the case of the APM, a single person was observed once he entered the room where the holographic showcase was hosted together with other showcases, while for the HUN the observation started once a single person entered the dark dedicated room.

In both cases 170 observations were collected. At the APM 78 % of visitors visited the installation alone, while only 22 % were accompanied by other visitors (thus in groups); instead, for the HUN, an half of the percentage of visitors were alone (48%) in the dedicated room as well as those who were in groups (48 %).

Operators noticed that the average time spent watching the show presented in the holographic showcase was around 1–3 min (42 %) for the APM, out of the global duration of 7 min, while 5–7 min (48 %) for the HUN (fig. 6); but going carefully through the data it is

How long does the user stay in front of the installation?

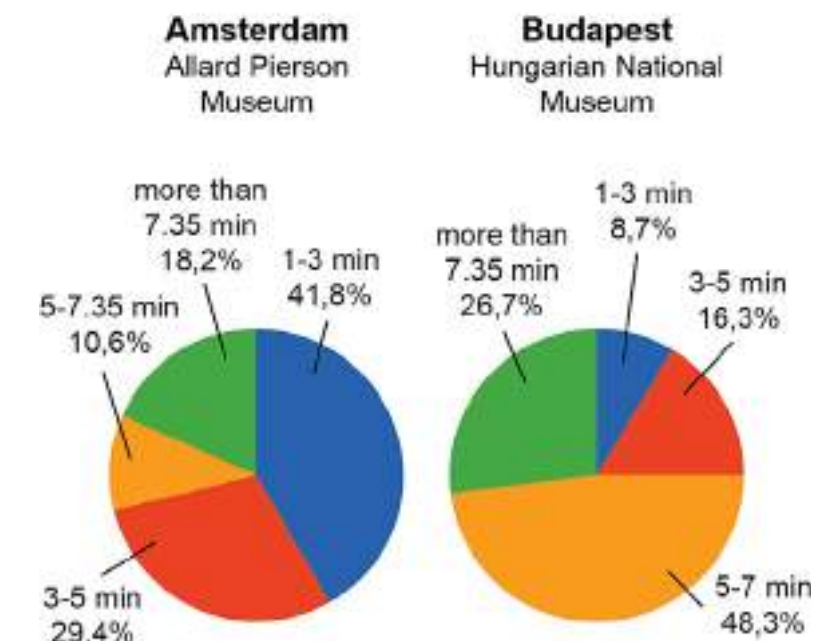


Fig. 6.

Graphs corresponding to the observation protocol of both the APM and HUN evaluations about the time spent watching the show inside the holographic showcase

possible to read how the sum of visitors who watched it for more than 3 min and a half (the medium time of the global 7 min) overcome 58 % for the APM and 88 % for the HUN. This surely confirms a great interest toward the new narrative approach and the holographic system designed for the Kunágota sword in both venues.

The majority of visitors participated in the show silently (84 % for the HUN and 81% for the APM) while only a minority commented to friends or colleagues, during the show, about what they were experiencing (15 % for the HUN and 18% for the APM). This can be a sign of how the full show is felt by them: as something to be experienced in quiet, carefully paying attention and remaining calm. Supporting this datum, it is possible to add another feedback: the whole environment was for the majority of the time appropriate for concentration and it favoured the vision (98 % for the HUN and 74 % for the APM), even if, in some cases, the room of the Kunágota showcase was very crowded (91 % for the APM – the exhibition there was always full of people – while only 22 % for the HUN). Important to notice that in the HNM the installation was alone in a dedicated room while in the APM it was in a big room together with other showcases.

Only for the Budapest venue (HNM), the show was presented not only inside the holographic showcase but also on the surrounding wall, pushing visitors to go back and forth from the front view in order to see the entire animation in its different moments. In this respect, it is possible to add that at the HNM 57 % of visitors watched the show remaining far from the front view, while 28 % stood close to the showcase and 14 % remained in the middle area, between the showcase and the back of the room. In Amsterdam, given the location of the Kunágota showcase, the limited space where the show was presented and the inclusion of the whole animation inside the showcase, this issue was not taken into account.

In general, what is possible to generalize for both venues is a marked sense of curiosity toward such multimedia installation. Visitors came close to the Kunágota showcase not really having in mind what to expect from it but at the end they seemed satisfied and fascinated by what they had just experienced. In the next section, some feedback shows how such preliminary considerations are confirmed and supported.

5.4. Data from questionnaires

The direct feedback of the visitors, through questionnaires, turned to be extremely useful in comparison with the behaviours that the operators had preliminary observed, in order to collect more insight aspects and qualitative-driven data.

Different amounts of questionnaires were collected: 142 in Budapest and 70 in Amsterdam. This difference was due to the period of inquiry and to the usual visitors flow in each museum during the year.

Operators asked visitors to fill in the questionnaire just after they had experienced the Kunágota storytelling: at the HNM it was just after they exited the dark room; at the APM, instead, once they got out of the last exhibition room.

It is possible to divide the results into three macro-categories: holographic system and its setup; storytelling; overall appreciation and suggestions. Visitors firstly expressed their opinion about the length of the story – which is around 7 min, quite a long time in relation with the time spent seeing a traditional showcase. In the case of the HNM, 72 % confirmed that the duration was appropriate, together with 62 % of the APM; 6 % of the HNM said it was too long, against 37 % of the APM. Only 18% of the HNM suggested that it was too short (fig. 7). This result was surprisingly in line with the researchers' hypothesis: even if they feared visitors would have left after a while, they were also sure of the intimate atmosphere and the sense of "magic" created by the hologram, as well as the soundscape, that would have enhanced the experience of the Kunágota sword keeping their attention on the showcase.

How long you consider the lenght of the show?

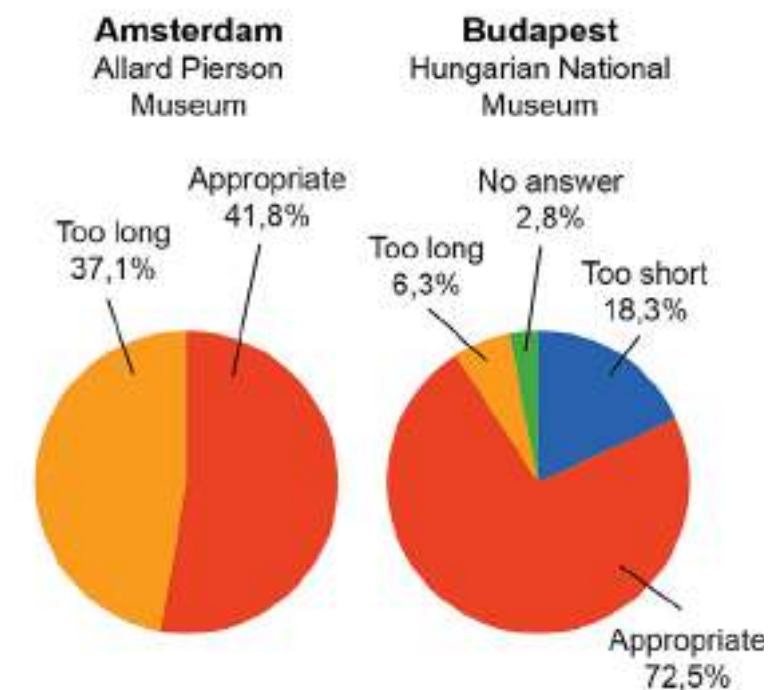


Fig. 7.

Graphs corresponding to the questionnaire template of both the HUN and APM evaluation about the length of the story presented into the holographic showcase

This datum is also confirmed by questions like "Did you like how the story of the museum object is told?" and "Would you recommend other museums to host such installation?". In the first case, at the HNM 74 % of the visitors liked the storytelling, with 97 % at the APM; only 11 % at the HNM did not like it (11 % did not give any answer and 4 % did not know), against 3 % at the APM that did not like it (fig. 8).

Similarly, visitors answered the second question with 71 % of yes for the HNM, they would recommend other museums to have installations like the one of Kunágota, and 81 % of yes for the APM. Only 7 % of negative answers for the HNM was collected (11 % did not answer and 9 % did not know), as well as 12 % for the APM. Concerning instead the setup of the holographic showcase and the overall system, visitors were asked to provide their feedback about the soundscape (music and sounds), the volume, the visibility of the exhibited object and the lights. About the soundscape the majority of the APM and HNM visitors converged with the impression of a pleasant atmosphere (80 % for the HNM and 85 % for the APM), while only a small group perceived it as disturbing (13 % for the HNM and 14 % for the APM; 7 % of Hungarian visitors did not answer, neither did 1 % of the APM). But the volume was another issue. It addressed the attention of the visitors: at Budapest the secluded and dark room where the Kunágota showcase was hosted offered the perfect situation of sounds, atmosphere and intimacy, which helped visitors enter the story; the audio was stereo, diffused by speakers of high quality, the volume was quite high, recalling the idea of a cinema-like room. In fact, 72 % confirmed that it was appropriate while 17 % remarked it was too low and only 8% pointed it was too loud. At the APM, instead, the holographic showcase was along the exhibition visit path so the volume could not be turned on so much in order not to disturb other visitors;

Did you like the narrative approach of this installation?

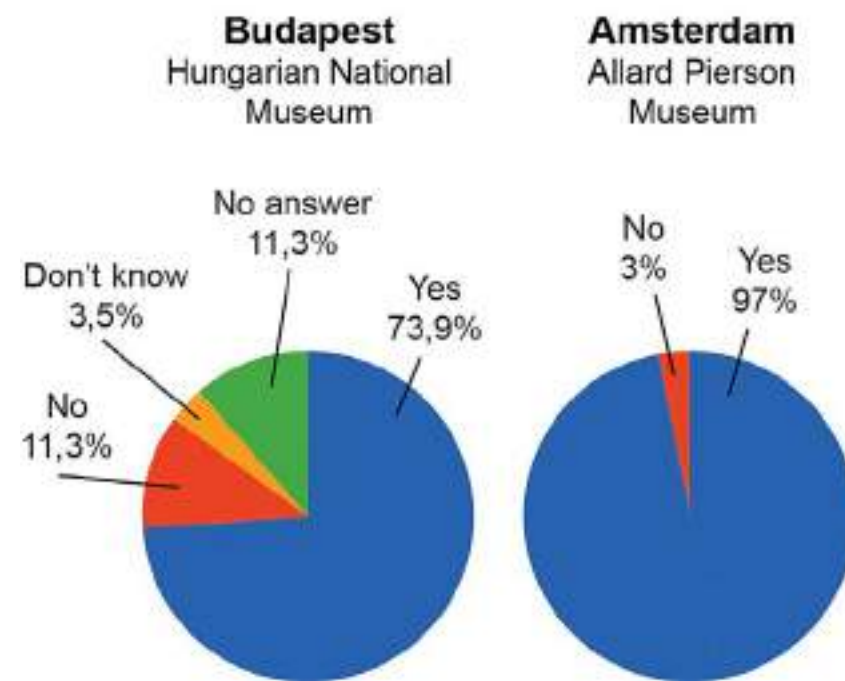


Fig. 8.

Graphs corresponding to the questionnaire template of both the HUN and APM evaluation about the narrative approach used to tell the story of the Kunágota sword

moreover, audio arrived in mono signal from a sound shower located above the Kunágota structure. The sound was considered appropriate for 61 % of visitors, while 34 % said it was too low and only 4 % too loud. More on that, it is possible to say that in Amsterdam, during crowded moments, like the weekends, the room of the Kunágota showcase was extremely noisy and the volume of the sound was not sufficient to allow visitors to listen to the story.

The visibility of the museum object was another important issue to verify: researchers were somehow obliged to put the Kunágota sword far beyond the visitors' eyes because of the functioning of the hologram itself: it needed to stay beyond the 45° inclined glass in a position where 3D effects and lights were well aligned one to another. Then visitors were asked to express their opinion and it came out that 65 % of Hungarians said that the visibility was good, while 30 % said it was not sufficient; this was surely due to the chairs located in front of the showcase which, on the one hand, made the viewing of the show relaxing, on the other, they confined visitors to a fixed and low position, without the freedom of getting closer to the front view. At the APM, differently, 82 % of visitors confirmed the good visibility of the object while 17 % would have preferred the sword more clearly visible and closer to the scene. This aspect was also related to the level of attention of visitors: the more they were attracted by what was happening in the showcase (also thanks to the visibility of the Kunágota sword), the more they had their attention tied to the story. About the lighting system, again here both the HNM and APM visitors were aligned with the feedback, with 87 % and 91 % of appreciation of where lights were positioned and how they worked, while 5 % for the HNM (11 % did not answer) and 9 % of the APM said it was disturbing and not sufficient for highlighting the richness of the Kunágota sword.

Finally, regarding the content delivered, the majority of visitors paid attention to the story; in fact the level of their memorization and elaboration was surely high: of the five questions about the historical units of information, both at the APM and HNM, visitors reached almost 80% of correct answers, showing clearness in the feedback even about passages of the story not always explicit. All the questions were answered, no empty ones were found. From a behavioural point of view, operators noticed that once they finished the questionnaires, some visitors returned to the showcase to verify if they had answered correctly – thus highlighting a sincere interest toward this research and a great sense of curiosity.

6. Conclusions

When designing the holographic installation, we had in mind that the typical museum setup, made of classical showcases and labels, not always worked perfectly with visitors. So offering them something more lively and magic might have made the museum visit more appealing and less boring. Theoretically, we wanted to highlight the role of multimedia technology in the *meaning-making* of visitors once they entered a museum.

From the results collected both at the APM and HNM, some elements seem to be evident:

- The Kunágota story was 7.35 minutes long, an **appropriate length according to the majority of the public**, both in the HNM and APM. Even if researchers feared that such a long timing would badly affect the visitors' experience, this turned to be not relevant for them. What visitors only complained of was the impossibility to select their own language – obliging them to wait till their language arrived. Moreover, the absence of chairs where to rest, made the waiting harder for the visitors. About this last point, chairs are not always a good solution: for sure, in case of the APM, some bar chairs might have been useful given that all the show happened inside the showcase; for the HNM, instead, chairs disturbed the user experience, due to the fact that the story continued on the big wall surrounding the showcase.
- The great percentage of correct answers to the questions about the story, in the questionnaires, showed that the **visitors paid attention to it, and how the storyline developed and was performed helped them to remember certain narrative nodes**. The contamination of multimedia languages with the real museum object in the showcase created the environmental condition to empower visitors' imagery and to support the memorization and elaboration processes. It generated indeed the impression of being in front of real images, floating presences in an empty space, with a high emotional impact on the public (Leinhardt, Crowley 2001).
- The **use of dramaturgic style instead of a traditional description was surely more engaging for visitors** (like they wrote in the questionnaires) who were usually bored with reading panels, and this pushed them to pay more attention to what was happening in the showcase (Roberts 1997). It might be useful to add, for the next venues, information on the exhibited object also on a small panel close to the showcase, where some information about the technology used could be added; this is also a direct suggestion given by the visitors. It is important, in the next venues, to make the language selection interactive for the public.
- From the visual point of view, the **3D effects on the real object were appreciated by the visitors**. The realism of the animations and their perfect integration and connection with the real Kunágota sword, besides the darkness of the scene in the showcase helped them enter the story and catch the details. Hologram and moving images conduct a dialogue with an artifact that would otherwise not completely satisfy the senses. Visitors felt totally immersed in a perceptive and cognitive dimension in which they were the protagonist of the story along with the object (Salovey, Sluyter David 1997).

- From a logistic point of view the **position of the showcase is crucial in the definition of the user experience**: if part of the story is projected on a big wall the need for a dark and secluded room is mandatory, as in Budapest; while a situation like in the APM where all the show happened inside the showcase does not need such an isolated location but only a quiet and intimate space, even if in the APM it was probably too marginal and too small.
- The **overall satisfaction was good for the public** that was not used to see such kind of technologies on show. The sound attracted visitors passing nearby; some of them would like to see a holographic showcase as an integral part of the museum setup.

Acknowledgements

We would like to thank our colleagues of the National Hungarian Museum who helped us in collecting the historical contents regarding the Avars and the Kunágota sword, and the Allard Pierson Museum of Amsterdam, E.V.O.CA., as creative partner and the whole CEMEC consortium.

REFERENCES

Antinucci 2014

Antinucci F. Comunicare nel Museo. Rome, 2014.

Aslan, Buora 2001

Aslan E. A., Buora M. L'oro degli Avari: popolo delle steppe in Europa. Milano, 2001.

Gianni Falvo 2013

Gianni Falvo P. La forza dei campi morfici : Nuove costellazioni e arte. [S. l.], 2013.

Leinhardt, Crowley 2001

Leinhardt G., Crowley K. Objects of Learning, Objects of Talk: Changing Minds in Museums // Perspectives on Object-Centered. 2001. P. 2–19.

Panofsky 1996

Panofsky E. Il significato nelle arti visive. Einaudi, 1996.

Pietroni 2016

Pietroni E. From Remote to Embodied Sensing: New Perspectives for Virtual Museums and Archaeological Landscape Communication // Book Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology. Archaeology in the Age of Sensing / eds. M. Forte, S. Campana. New York, 2016. Ch. 18. P. 437–474.

Remondino, Campana 2014

Remondino F., Campana S. 3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. BAR (British Archaeological Reports). 2014.

Roberts 1997

Roberts L. C. From Knowledge to Narrative : Educators and the Changing Museum. Washington, DC, 1997.

Salovey, Sluyter David 1997

Salovey P., Sluyter David J. Emotional Development and Emotional Intelligence: Educational Implication. New York, 1997.

Viola 2017

Viola B. Rinascimento elettronico : Cataloghi d'Arte. Giunti, 2017.

Weynants 2003

Weynants T. The Ghost in the Theatre: Pepper's Ghost effect. 2003. URL: <http://users.telenet.be/thomasweynants/peppers-ghost.html> (accessed 20.02.2018).

Н. О. Пиков, И. Н. Рудов
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», РФ

А. А. Ковалев
Институт археологии РАН, РФ

В. Л. Мельников, М. А. Перцева
СПб ГБУК «Музей-институт семьи Рерихов», РФ

ВРЕМЯ РАЗВОРАЧИВАТЬ КАМНИ...

В Санкт-Петербургском государственном музее-институте семьи Рерихов с 28 декабря 2017 года работает выставка «Оленные камни Монголии», посвящённая итогам археологических исследований трёх ритуальных комплексов с оленными камнями на территории Центральной и Западной Монголии, проведённых МЦАЭ под руководством А. А. Ковалева и Д. Эрдэнэбаатара.

До работ МЦАЭ архитектура ритуальных комплексов с оленными камнями и история их формирования оставались неясными. С целью исчерпывающего научного изучения таких памятников, в том числе выяснения их пространственной организации, МЦАЭ впервые были проведены масштабные раскопки на территории Монголии ансамблей древних сооружений, связанных с оленными камнями.

В 2001 году экспедицией, работавшей под эгидой Санкт-Петербургского государственного университета и Улан-Батарского государственного университета, были предприняты раскопки погребально-ритуального комплекса Хар говь на территории Мунххайрхан сомона Ховд аймака (рис. 1). Впервые херексур Хар говь и два связанных с ним оленных камня в 1970-х годах были описаны В. В. Волковым (Волков 2002. С. 94, 95).

В результате работ МЦАЭ этот херексур высотой 2 м и диаметром 23 м был полностью исследован. Выяснилось, что с херексуром были связаны четыре изваяния саяно-алтайского и «смешанного» типов, а насыпь его была сооружена вокруг цисты из 8–9 слоёв уплотнённых глыб и плит. На дне цисты находились останки одного погребённого (Ковалев, Эрдэнэбаатар 2007. С. 100). В целом как установлено в ходе проведения археологических разведок МЦАЭ, с каждым херексуром может быть связано до десяти оленных камней, в то время как служили такие памятники для погребения, скорее всего, одного-двух человек (Ковалев, Эрдэнэбаатар 2007. С. 101, 102; Ковалев и др. 2014. С. 50, 51).

В 2006 и 2013 годах МЦАЭ, организаторами которой выступали Санкт-Петербургский государственный музей-институт семьи Рерихов и Улан-Батарский государственный университет, в Бурэнтогтох сомоне Хубсугульского аймака были исследованы два схожих по композиции сооружения памятника. В июле 2006 года в долине Суртийн дэнж на левом берегу реки Дэлгэр-Мурэн А. А. Ковалевым был обнаружен новый ритуальный комплекс с оленными камнями. В том же году раскопом 45 × 22 м памятник был полностью исследован. При проведении работ установлено, что основу ритуального комплекса составлял ряд из восьми оленных камней саяно-алтайского типа (Ковалев, Эрдэнэбаатар 2007. С. 103, 104).

В 2013 году раскопом размерами 75 × 55 м исследована центральная часть комплекса с оленными камнями монголо-забайкальского типа – Ушкийн увэр (Ковалев



Рис. 1.
Херексур Хар говь, вид с севера. Фотография А. А. Ковалева

и др. 2016; рис. 2). Этот памятник является одним из наиболее известных в литературе. В 1970-х годах отрядом Советско-Монгольской историко-культурной экспедиции под руководством В. В. Волкова и Э. А. Новгородовой были выполнены план комплекса и рисунки оленных камней (Волков 2002. С. 80, 81). В ходе раскопок МЦАЭ выявлены



Рис. 2.
Общий вид с юга раскопа 2013 года на комплексе Ушкийн увэр.
Музей-институт семьи Рерихов



Рис. 3.
Комплекс Ушкийн увэр. Стоящий in situ оленный камень № 10, а также объекты, открытые в ходе раскопок: ритуальная платформа № 1, обломки оленного камня № 16 и две ямы для установки оленных камней (в том числе камня № 9). Вид с востока. Музей-институт семьи Рерихов

особенности пространственной организации ритуального места, прояснён вопрос о последовательности сооружения конструкций на нём, а также обнаружены неизвестные ранее оленные камни (например, несколько фрагментов оленного камня № 16, найденные рядом с местом его первоначальной установки; см. рис. 3; Ковалев и др. 2014. С. 44–46).

При сравнении структуры ансамблей сооружений ритуальных и погребальных памятников Центральной Монголии выяснилось, что оленные камни на ритуальных площадках окружены такими же конструкциями – каменными жертвенниками, платформами, стелами, – как и характерные для этого региона погребальные херексуры (Ковалев и др. 2014. С. 47–50; Ковалев и др. 2016). Единство композиции ритуальных мест с оленными камнями и сооружений, сопровождающих погребальные курганы того же времени, может свидетельствовать о замещении оленными камнями реального погребального сооружения – кургана с могилой.

Таким образом, результаты исследований Международной Центральноазиатской археологической экспедиции свидетельствуют о том, что в Западной и Центральной Монголии оленные камни не выполняли роль «намогильных» монументов, а использовались в качестве кенотафов – памятников, изображающих реальных людей, по каким-то причинам не погребённых в курганах-херексурах (Ковалев, Эрдэнэбаатар 2007. С. 104; Ковалев и др. 2014. С. 50).

МЦАЭ вот уже более десяти лет работает под эгидой Музея-института семьи Рерихов в Санкт-Петербурге согласно утверждённому музеем Положению о Программе исследовательско-экспедиционной деятельности. Данная Программа Музея-института

семьи Рерихов обусловлена как его мемориальным профилем, сочетающим научный и просветительский компонент, так и основными направлениями научных интересов Рерихов, рассказать о которых призвана формирующаяся экспозиция вновь созданного учреждения культуры.

МЦАЭ необходима не только для наполнения фондов и экспозиции. Экспедиция рассматривается музеем как непосредственное продолжение исследовательской и культурологической деятельности семьи Рерихов. Н. К. Рерих неоднократно подчёркивал культурную функцию археологии как науки, способной преодолеть всякого рода «бытописательские» апории и стать основой «для познания истинной истории человечества» (Рерих 1996. С. 282). Среди масштабных научных задач по изучению Востока главной Рерихи считали составление «Общей истории Востока» от ближневосточного Средиземноморья до тихоокеанских берегов Китая. При этом ими особо выделялось изучение «Средней Азии» (под которой ими понималась вся горно-степная зона Евразийского континента), включая аспекты взаимодействия кочевых и осёдлых народов и факторы притяжения древних центров великих цивилизаций.

Ю. Н. Рерих считал, что «новый этап в ориентализме – это всеобщий синтез, который, отвечая требованиям современной науки, открыл бы историческое развитие стран Востока в совокупности» (Рерих 1999. С. 18). Следуя отцу в его комплексных поисках корней общечеловеческой культуры, Юрий Николаевич делает главным направлением своей работы поиск истоков цивилизации, определяющих «единство великой кочевой Центральной Азии» (Воробьёва-Десятовская 1999. С. 6). Практическим результатом такой работы Рерихи считали содействие пробуждению народов Азии к активной социальной жизни и созидательному строительству на основе возрождения лучших традиций собственной истории и культуры, которые являются неотъемлемой частью истории и культуры всего мира.

Основными целями и задачами экспедиций Рерихов являлись, во-первых, создание художественной, этнографической и историко-культурной панорамы Центральной Азии, её земель и народов, во-вторых, изучение памятников древности, следов великого переселения народов и возможностей новых археологических изысканий и подготовка путей для будущих экспедиций в этом регионе, в-третьих, изучение языков и диалектов Центральной Азии, в-четвёртых, собирание комплексной коллекции предметов, характеризующих и иллюстрирующих духовную культуру региона (Рерих 1992. С. 160; Рерих 1999. С. 237). Среди задач экспедиции было также изучение современного состояния культуры и быта народов Центральной Азии, а также обнаружение следов предыдущих экспедиций (Лекок, Аурел Стейн, Пеллио, Свен Гедин, Козлов и др.) (Бондаренко 2013. С. 7–10).

Следуя взглядам Н. К. Рериха на необходимость выяснения подлинной картины древней культуры Средней Азии с помощью многообразных подходов и материалов – археологических раскопок, изучения летописей, литературы и фольклора, прикладного искусства и архитектуры (Яцковская 2002. С. 210), Ю. Н. Рерих разработал научную программу и сформулировал общие принципы работы Гималайского исследовательского института «Урусвати», созданного в 1928 году в Северной Индии по итогам первой рериховской экспедиции. Полевая деятельность созданного уже в наше время Музея-института семьи Рерихов продолжает работу, начатую на базе института «Урусвати».

Задачам представления этапов сооружения конструкций ритуальных комплексов с оленными камнями, а также объяснения их композиционной структуры подчинён экспозиционный план выставки «Оленные камни Монголии», о чём уже упоминалось выше. На семи баннерах демонстрируются фотографии оленных камней и их архитектурного контекста – жертвенников и ритуальных площадок,

прорисовки изображений со стел. Эстампажи изображений, выполненные на микалентной бумаге, и видеофильм «Время перевернуть камни» также являются частью экспозиции.

По объективным причинам трудно демонстрировать оригинальные оленные камни в музее, тем более привезти их из Монголии. Поэтому для выставки была проведена работа по созданию цифровых 3D-моделей каменных стел и программного обеспечения для смартфонов, позволяющего визуализировать оленные камни при наведении камеры устройства на их изображения. Из семи баннеров пять вертикальных одинакового формата являются AR-маркерами (augmented reality markers), активирующими цифровые 3D-модели каменных стел в приложении для смартфонов.

В настоящее время метод создания трёхмерных моделей как археологических памятников в целом, так и отдельных находок, всё чаще применяется в полевых работах. Однако в ходе проведения исследований ритуальных комплексов с оленными камнями создание массива фотоматериала для конструирования 3D-моделей стел не входило в перечень задач экспедиции. В результате трёхмерные модели, представленные на выставке, были выполнены на основе небольшого количества ракурсных фотографий объектов, не всегда в достаточной степени освещённых со всех сторон. Таким образом, мы имеем положительный опыт создания визуальных объёмных моделей из материала полевой фиксации памятников (Fritsch, Klein 2017. Р. 11–18).

Фотофиксация объектов археологических исследований для создания цифровых копий методом фотограмметрии становится общепринятой для археологов, работающих в полевых условиях. Фотограмметрия позволяет с минимальными временными и ресурсными затратами получить качественную цифровую копию реального объекта (Soler et al. 2017. Р. 49–57).

Однако при фотофиксации в полевых условиях не всегда удаётся сделать снимки, качество которых позволяет построить точную цифровую копию артефакта. Это может быть обусловлено погодными условиями, ограничением на время съёмки, уровнем квалификации фотографа. Кроме того, при применении метода фотограмметрии для получения высокдетализированного результата часто требуется получить дополнительные снимки проблемных участков модели с различными настройками фокусного расстояния и освещённости, что было невозможно в ходе работы над созданием цифровых копий оленных камней (Vavulin 2016).

Таким образом, было принято решение об использовании комбинированного метода моделирования, сочетающего ручное создание геометрии оленных камней и использование фотоматериала, в частности ракурсных снимков для создания текстуры (информация о цвете).

Плюсами данного метода являются возможность работы в условиях недостаточной информации, более низкие требования к качеству исходного материала.

К недостаткам метода можно отнести более низкую точность в сравнении с фотограмметрией, меньшую степень объективности полученного результата, большие временные затраты, необходимые для построения модели.

Процесс создания цифровых копий археологических объектов, на примере оленных камней, можно разбить на пять этапов:

1. Анализ исходного контента. В случае с оленными камнями – это ракурсные фотоснимки и эстампажи, выполненные на микалентной бумаге.
2. Создание низкополигональной заготовки.
3. Детализация геометрии.
4. Создание текстур.
5. Оптимизация.

Первый этап предполагает анализ базовой геометрии объекта для создания заготовки и подготовку векторных масок узоров, высеченных на камнях (рис. 4).

При создании низкополигональной заготовки необходимо выдерживать пропорции и реальные размеры объекта. Полигональная сетка должна состоять из четырёхугольных полигонов для возможности дальнейшей детализации геометрии (рис. 5).

При детализации объекта происходит увеличение плотности полигональной сетки (низкополигональная заготовка 350–700 полигонов, финальная модель 13–14 млн полигонов) в 5–7 этапов. В первую очередь обозначаются границы сглаженных эрозией областей, трещин и сколов. Затем наносится слой, содержащий мелкие выщерблины и крупнозернистую фактуру минерала. Далее на основе векторных масок моделируется имитация высеченного узора. Финальный этап детализации предполагает моделирование мелкозернистой фактуры минерала на основе ракурсных фотоснимков (рис. 6).

На заключительном этапе для оптимизации модели под работу на мобильных устройствах часть геометрии «запекается» на текстуру нормали (normal map), дополнительно создаются текстуры ambient occlusion, а сама геометрия упрощается до



Рис. 4.
Анализ исходного контента. Реконструкция И. Н. Рудова



Рис. 5.
Низкополигональная заготовка. Реконструкция И. Н. Рудова

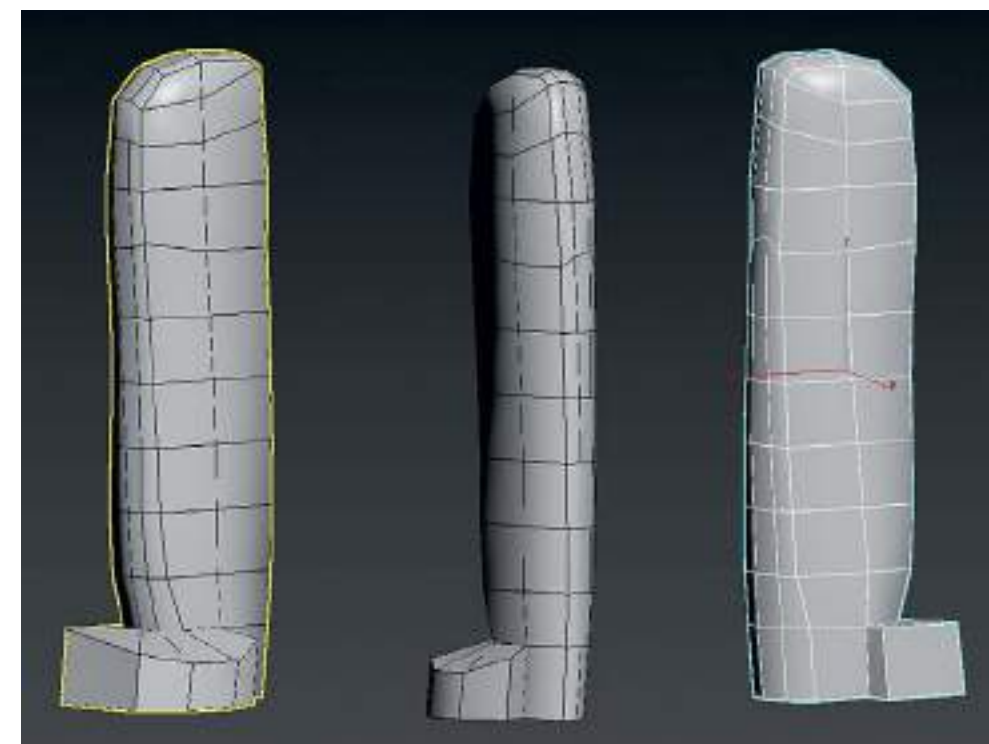


Рис. 6.
Процесс детализации (слева направо). Реконструкция И. Н. Рудова

40–50 тысяч полигонов (рис. 7). Финальная модель с наложенными текстурами и оптимизированной геометрией представлена на рис. 8.

После того как работа над построением и оптимизацией 3D-моделей завершена, наступает этап разработки мобильного приложения, основанного на технологии дополненной реальности.

Мобильное приложение разрабатывалось на базе кроссплатформенного трёхмерного движка Unity3D. Поэтапно решались следующие задачи:

1. Интеграция software development kit Vuforia (SDK Vuforia).
2. Подготовка и интеграция AR-маркеров.
3. Интеграция и адаптация 3D-моделей в среду Unity3D.
4. Создание и настройка UI (пользовательский интерфейс).
5. Компиляция мобильного AR-приложения для платформ iOS и Android.
6. Публикация в магазинах компаний Apple и Google.

Vuforia – платформа для разработки приложений дополненной реальности для телефонов и планшетов под управлением операционных систем iOS и Android компании Qualcomm. Интеграция данного SDK в среду Unity3D выполнялась согласно официальной документации и не требовала вмешательства со стороны разработчика.



Рис. 7.

Normal и ambient occlusion maps (слева направо). Реконструкция И. Н. Рудова



Рис. 8.

Финальная модель. Реконструкция И. Н. Рудова

После того как платформа интегрирована, необходимо подготовить AR-маркеры для инициализации 3D-моделей. AR-маркеры представляют собой изображения, которые SDK Vuforia может обнаруживать и отслеживать. В отличие от традиционных фидуциарных маркеров и QR-кодов, изображения, встраиваемые в SDK Vuforia, не нуждаются в специальных чёрно-белых областях или кодах для распознавания. Интеграция осуществлялась посредством веб-инструмента Vuforia Target Manager. Основные требования со стороны Vuforia Target Manager к встраиваемым изображениям – это битность, формат и размер файла. AR-маркеры должны быть 8- или 24-битными, формата PNG или JPG, максимальный размер которых не должен превышать 2,25 Мб. Также в процессе подготовки маркеров было выявлено, что высокая контрастность увеличивает степень распознавания маркера. В качестве маркеров были выбраны ракурсные фотографии оленных камней.

На этапе интеграции и адаптации 3D-моделей в среду Unity3D важно выбрать правильный метод сжатия текстур для операционных систем iOS и Android, настроить освещение объекта, провести запекания карт теней с целью оптимизации работы мобильного приложения. Для ОС Android рекомендуемым методом сжатия является ETC. Данный метод даёт очень хорошую производительность и возможность визуализации на более низких версиях ОС Android, но на текстуре появляются артефакты в виде пикселей, которые искажают модель. В связи с этим был выбран более подходящий метод сжатия ETC2. Он является наиболее эффективным вариантом для ОС Android, предлагая наилучший баланс качества и размер файла.

При разработке для ОС iOS проблем с выбором сжатия текстур не возникло, так как количество выпущенных моделей устройств гораздо меньше, чем у ОС Android. Это существенно экономит время при разработке и тестировании разрабатываемого продукта.

Для взаимодействия с приложением был разработан пользовательский интерфейс, обеспечивающий работу функциональной части приложения (рис. 9).



Рис. 9.

Пользовательский интерфейс мобильного приложения «Deer Stones»

Ключевой момент разработки пользовательского интерфейса связан с реализацией адаптивности для различных разрешений экранов смартфонов, который основан на аналитике, представленной компанией Unity Technologies.

Этап публикации в магазинах компаний Google и Apple требует подготовки соответствующих электронных документов и лицензий. Можно выделить некоторые отличия, к которым относятся цена и время для размещения приложения в магазине. В случае публикации приложения на Google Play срок проверки приложения со стороны торговой площадки составляет сутки, в свою очередь компания Apple делает это в течение 5–7 дней.

На данный момент приложение доступно для скачивания по ссылкам:

Google Play: <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.sfukras.deerstones>

App Store: <https://itunes.apple.com/us/app/deer-stones/id1322435815?mt=8>

Использование новых технологий и нестандартных парадигм взаимодействия позволяет сделать историко-культурное наследие более привлекательным и доступным для массовой аудитории. Важно увеличить усилия и продолжать накапливать опыт, который будет способствовать развитию интерактивных технологий в области культуры, способствуя более эмоциональному отклику и результативному вовлечению посетителей в культурную среду.

ЛИТЕРАТУРА

Бондаренко 2013

Бондаренко А. А. Об историко-археологических исследованиях Н. К. и Ю. Н. Рерихов в Центральной Азии // Современные решения актуальных проблем евразийской археологии. Барнаул, 2013. С. 7–14.

Волков 2002

Волков В. В. Оленные камни Монголии. М., 2002.

Воробьева-Десятовская 1999

Воробьева-Десятовская М. И. Предисловие // Рерих Ю. Н. Тибет и Центральная Азия : статьи, лекции, переводы. Самара, 1999. С. 5–12.

Ковалев, Эрдэнэбаатар 2007

Ковалев А. А., Эрдэнэбаатар Д. Две традиции ритуального использования оленных камней Монголии // Каменная скульптура и мелкая пластика древних и средневековых народов Евразии. Барнаул, 2007. С. 99–105. (Труды САИПИ ; вып. 3).

Ковалев и др. 2014

Ковалев А. А., Рукавишникова И. В., Эрдэнэбаатар Д. Оленные камни – это памятники-кенотафы (по материалам новейших исследований в Монголии и Туве) // Древние и средневековые изваяния Центральной Азии. Барнаул, 2014. С. 41–54.

Ковалев и др. 2016

Ковалев А. А., Эрдэнэбаатар Д., Рукавишникова И. В. Состав и композиция сооружений ритуального комплекса с оленными камнями Ушкийн увэр (по результатам исследований 2013 года) // Археология, этнография и антропология Евразии. Новосибирск, 2016. С. 82–92.

Рерих 1992

Рерих Н. К. Цветы Мории : Пути благословения : Сердце Азии. Рига, 1992.

Рерих 1996

Рерих Н. К. Листы дневника : в 3 т. М., 1996. Т. 3.

Рерих 1999

Рерих Ю. Н. Тибет и Центральная Азия : статьи, лекции, переводы. Самара, 1999.

Яцковская 2002

Яцковская К. Н. Живое наследие : К 100-летию со дня рождения Ю. Н. Рериха // Восток (Oriens). 2002. № 5. С. 209–216.

Fritsch, Klein 2017

Fritsch D., Klein M. 3D preservation of buildings – Reconstructing the past // Multimedia Tools and Applications. 2017. April. P. 1–18.

Soler et al. 2017

Soler F., Melero F. J., Luzón M. V. A complete 3D information system for cultural heritage documentation // Journal of Cultural Heritage. 2017. Vol. 23. P. 49–57.

Vavulin 2016

Vavulin M. V. 3D digitizing of large separate artifacts // Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. 2016. T. 407. P. 55–60.

DIGITAL STORYTELLING ON UNDERWATER CULTURAL HERITAGE – H2020 IMARECULTURE PROJECT

Introduction

Importance of the European cultural heritage (CH) is expressed through very significant international resolutions such as the EU Lisbon Treaty (Article 3), the adoption of the Commission Communications to the Council and the European Parliament 2006/2040(INI), the different resolutions of the European Council (such as the 2006/C297/01), the Communication by the European Commission in 2007 known as the famous European agenda for culture, that was later also endorsed by the Council of Ministers in November 2007. In addition, in 2009 the UNESCO Convention on the Protection of the Underwater Cultural Heritage, which was adopted in 2001, came into force in some countries.

Underwater cultural heritage is accessible only to divers. Although photos and recently 3D models of some underwater sites are available, it is still difficult to grasp historical significance of those sites and particularly to recreate the diving experience. Furthermore, general public is not only interested to view the underwater cultural heritage, but also to learn how sunken ships looked like before the wrecking, what was life on board alike, what happened with those ships to end up at the bottom of the sea.

H2020 iMARECulture project (2016–2019) aims to bring inherently unreachable underwater cultural heritage within digital reach of the wide public by implementing virtual visits, serious games with immersive technologies and underwater augmented reality. In this paper we will describe the objectives of the Project and its main planned outputs and applications. As our contribution to the Project will be in digital storytelling, we will present the newly developed hyper storytelling methodology, the pilot application about Kyrenia ship and our planned further activities in this regard within the Project timeline.

The iMARECULTURE project

As presented in iMARECulture 2015, the scope of **i-MARECulture** project is to raise public awareness of European identity by focusing in maritime cultural heritage, which by default bridges different civilizations (Skarlatos et al. 2016). We will design, analyse, develop and validate pioneer applications and systems in the context of Virtual Museums through collaborative and innovative research from a diverse group of scientists, researchers, archaeologists, experts and museum professionals.

Underwater Cultural Heritage assets are widely spread into the Mediterranean. Unlike land archaeological sites, however, submerged settlements, ancient ports and other coastal industrial installations, especially shipwrecks, are not accessible to the general public or all experts, due to their environment and depth. Photos and surfaced artefacts exhibited in maritime museums provide fragmented aspects of such sites, but are the only ones visitors can actually see. Digital technologies have also been used in museum exhibitions as a supplementary information source, but not always very successfully. Thus, Virtual Museums provide a unique opportunity for digital accessibility to both scholars and general public, interested in having a better grasp of underwater sites and maritime archaeology. Such digital encounters should enhance the virtual 3D underwater visit opportunities for children, elderly or people with mobility problems, and enhance the actual underwater visit with augmented

digital content. Additional actions aim to raise public awareness through serious games, prior and after the visit to an archaeological site or museum.

The main objectives of the Project are to enhance the pre, during and after digital experience of the potential visitor to a museum (fig. 1). Prerequisite of the digital experience enhancement is raising awareness of general public to the importance of our maritime CH to the formulation of the EU identity.

In order to achieve public awareness, iMARECulture implements serious games as a pre and after digital experience. Through the Seafaring game, the public will become aware of the ships, ship routes and commerce on the Mediterranean, using extensive storytelling about commerce, harbours, ship engineering, sailing, etc.

Once acquainted with maritime archaeology, the user may visit underwater sites or shipwrecks, using interactive immersive technologies and virtual reality (VR) glasses (Oculus glasses, HTC Vive headsets etc.) from his home. While visiting a museum, the visitor will have the opportunity to extend this experience on holographic screens, without glasses, while other visitors are able to watch him over his virtual interactive dive on a real underwater cultural heritage sites. The holographic technology is scalable, although still expensive. A downgraded interactive experience could be achieved using more traditional 3D kiosks, or even on site VR glasses on specific areas within the museum. Therefore, the virtual underwater visit (v-u-visit) could be made available in several implementations, depending on the budget of each museum.

If the visitor is actually diving in a site, the use of AR and mixed reality (MR) applications on a specially designed underwater tablet will help him:

- a) to follow a predefined route,
- b) use the tablet as a digital guide to get more information about specific objects,
- c) get an overlaid conceptual visualization of how the site used to be.

After the visit to the museum, the visitor, who will have been intrigued, will have the opportunity to be involved in a realistic virtual excavation game, using immersive technologies and 3D glasses from his home. The game will not be restricted as an after visit

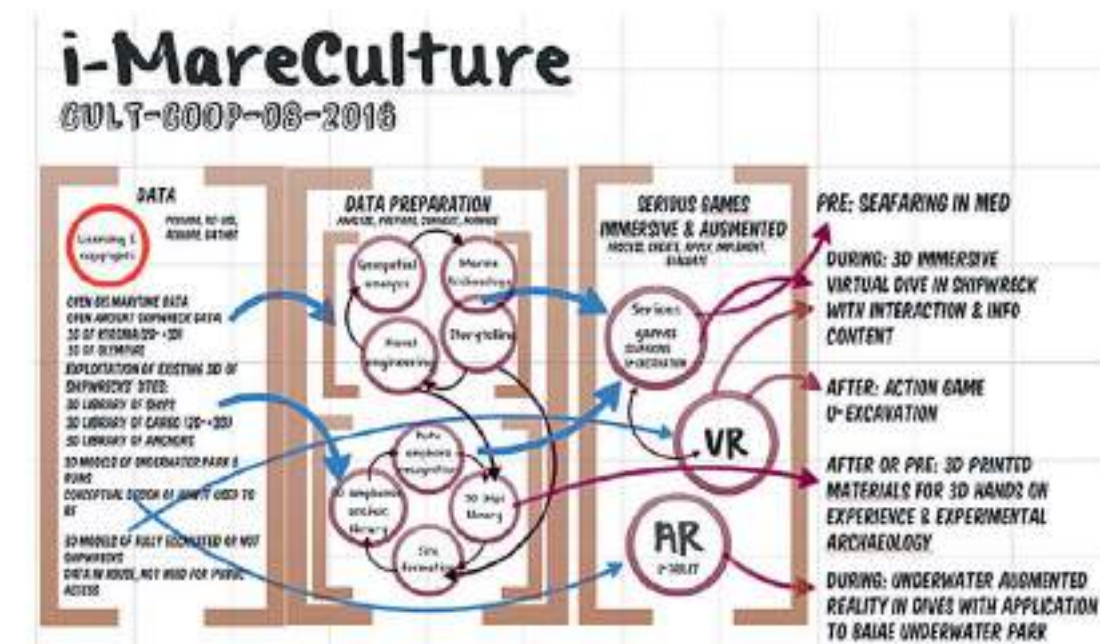


Fig. 1.

Scope and objectives of iMARECulture in a conceptual work of diagram. Image: D. Skarlatos

experience. In order to help interaction and participation, the UW-excavation game will be able to accommodate a pair of divers, hence forcing the player to team up with another player through social media platforms (i.e. Facebook).

Apart from digital games, the visitor could also benefit from 3D puzzles that he could print in house. Such games could include broken amphorae, shipwrecks, or fitting as many amphorae as possible in a ship model, allowing the user to participate in experimental archaeology. The aim is to utilize technologies that would be available for domestic applications, such as 3D glasses and 3D printers, in a couple of years' time.

Storytelling will support the full gamut of games, VR and AR experiences, using narratives and multimedia about real ancient ships' 3D models, realistic 3D models of shipwreck sites, referring to actual ancient shipwreck found. Immersive technologies will support both storytelling and the games themselves.

Several aspects of iMARECulture are designed to provide the basis to support research and scientific activities on underwater excavations sites and enhance the ability of scholars to either re-visit sites or improve analysis. The use of underwater tablets will certainly support underwater excavation in many aspects, while the geospatial analysis and 3D automatic recognition and localization of amphorae will be extra tools for archaeological research.

The "Seafaring in the Mediterranean" game will be based in geospatially analysed data coming from the open GIS archaeological maritime data. In addition, these analysed data through the development of the serious games already referred, will contribute to the social understanding of the EU Identities and cultural exchange. Additional actions support the re-use and re-purposing of existing 3D models of shipwrecks or the creation of digital 3D models of ships exploiting old 2D drawings, research on automatic recognition of amphora type will be conducted aiming in providing necessary data for the realistic serious games development, their use based on immersive technologies and 3D printing (fig. 2).

Dry visit applications will facilitate the users to explore three selected underwater sites: Mazotos in Cyprus, Xlendi in Malta and Baiae in Italy. Mazotos and Xlendi are shipwreck sites,



Fig. 2.

Kyrenia ship replica, Thalassa museum, Cyprus. Photo: D. Skarlatos

while Baiae is an underwater archaeological park, where remains of a sunken city can be found. The Dry visits will through Virtual Reality experience and digital storytelling bring the users back to the past of these locations and unveil what happened there.

Digital storytelling

Digital storytelling can be defined as the narrative entertainment that reaches the audience via digital technology and media (Miller 2004). One of the most common concepts of hyperlinked story structures is the hyper-video. It was first demonstrated by the Interactive Cinema Group at the MIT Media Lab. Elastic Charles (Brøndmo, Davenport 1989) was a hypermedia journal developed between 1988 and 1989, in which micons (video footnotes) were placed inside a video, indicating links to other content. Following the Storyspace project, a hypertext writing environment, the HyperCafe, an award-winning interactive film, places the viewer inside a virtual cafe. It is a video environment where stories unfold around the viewer (Sawhney et al. 1996). After these first works, and a rather long period of stagnation, many different methods of hyper-video implementations started to appear in 2010s, most of them for use in advertising and marketing.

However, hyperlinked storytelling has been also used in virtual cultural heritage applications, e.g. Human Sanctuary (<http://public.cyi.ac.cy/scrollsDemo>) and Keys to Rome exhibition (Pescarin et al. 2014) among others. A deeper analysis of the state-of-the-art would show that there are many hyper-video techniques and interactive digital storytelling methods, but there is not a universal standard for storytelling presentation, such as hypertext standard for text presentation. One of the recent concepts that the Sarajevo Graphics Group developed is based on interconnecting the video file of the main story with sub-stories and the interactive 3D model of the Tašlihan object using Unity hyperlinks. In this application (Rizvic, Prazina 2015) was proved that the storytelling is much more engaging and immersive if there is a character telling the story.

In the iMARECulture project interactive digital storytelling (IDS) will be a form used to communicate the information about underwater objects and selected exhibits from the partner museums within the VR applications and serious games developed for the project. The IDS structures will consist of digital stories hyperlinked among each other and with interactive virtual models of underwater sites and findings. This digital content will be adjusted and incorporated in remote underwater VR visits, VR applications for museums and serious games. We are developing a new interactive digital storytelling method, hyper-storytelling, that exploits the potential of digital media in presenting the information in virtual environments and serious games. To do so, we need to implement the following objectives:

- To develop an innovative form of storytelling presentation adjusted to the Internet concept of HTML pages with hyperlinks, so that the story structure will follow a similar organisation.
- To optimise the viewer's time because most of Internet users do not have enough time to watch a story that lasts more than 3–5 minutes. Our story will be structured into one main story and a set of sub-stories for viewers who have more time and/or are more interested in exploring specific details. Navigation through the story – backward and forward – will be also possible.
- To group different media resources – text, images, audio, video, VR, AR – in a unique digital storyline, allowing the users to explore all that content without changing players or formats of presentation.

As our previous experience shows that storytelling is much more engaging and immersive if a character tells the story inside the virtual scenario (Rizvic et al. 2016), this idea will be also incorporated.

Development of the new methodology

During the first year of the project we were working on analysis of pedagogical and cognitive framework for storytelling. Outcome of that research was development of a new interactive digital story method – hyper storytelling. We created a multidisciplinary research team with experts from computer science, visual arts, literature, film directing, psychology, communicology and human computer interaction. The first task was to reach common understanding on what is interactive digital storytelling. It was implemented through expert user experience evaluation of a case study IDS application, 4D virtual presentation of White Bastion fortress in Sarajevo.

Results of this and earlier user experience evaluation studies have shown the following major drawbacks:

- stories are too long to keep the attention of users;
- users have problems with navigation in interactive virtual environments (IVEs) and do not find triggers for all stories;
- the content is missing the motivational factor which would keep the user engaged until all of it is explored;
- there is too much information which is not well structured and makes users bored;
- the application does not give satisfactory user experience to all audience target groups;
- serious games for cultural heritage are too easy or too difficult for playing.

Based on this experience, the experts offered their recommendations for the new IDS method, summarized in form of following guidelines (Rizvic et al. 2017a):

- engage professionals for all content creation fields;
- all content has to have unique visual identity;
- use multimedia and virtual reality;
- divide content in sub stories which can be watched independently;
- stories should be short, dynamic and informative;
- use characters to communicate emotion and raise edutainment value;
- introduce motivation factor to solve the narrative paradox;
- create IDS application to be platform independent.

Following these guidelines we developed the hyper storytelling IDS method. In virtual environments with interactive storytelling the users can watch stories on demand. This advantage could turn into a drawback if they do not watch all offered content. In literature this is called solving the narrative paradox. It is the conflict between pre-authored narrative structures – especially plot – and the freedom a virtual environment (VE) offers to a user in physical movement and interaction, integral to a feeling of physical presence and immersion (Schoenau-Fog 2015). The hyper storytelling method introduces a motivation factor for users to view the whole offered content. We can consider it as adding a gamification element to create more engaging user experience. In order to evaluate our method, we created a pilot application called Kyrenia (Rizvic et al. 2017b).

Pilot application

Around 288 B.C. a ship sank near Kyrenia, Cyprus. Its remains were found in 1967 by a Cypriot diver looking for sponges. A major salvage operation has been conducted. Remains of the ship were conserved using special chemical procedures. Studying them, the archaeologists discovered details from ship's past, life on board and other interesting elements of seafaring in Mediterranean during that historic period (Katzev 2005; Demesticha 2013). Several replicas of the ship were created, one of them exhibited in Thalassa Museum at Cyprus, partner of the iMARECulture project (fig. 2).



Fig. 3.
Stories: a – technical; b, c – artistic. Image: S. Rizvić

The purpose of Kyrenia interactive digital story is to introduce Internet users with this ship, as an important cultural heritage object, through a set of short stories. After watching all stories the user is granted an opportunity to virtually embark the ship, browsing the interactive virtual environment based on its 3D model. Two actors are engaged as narrators in the stories. Motivation factor for users to see all stories is the possibility to browse the interactive model of the ship.

Stories *The Route*, *The Ship* and *The Cargo* introduce the viewers with the technical characteristics of the ship, the cargo transported by the ship and the routes where it might have sailed. They are created as a combination of live green screen footage and computer animation. Stories *Life on board*, *Beliefs and superstitions* and *The sinking* are more artistic, as the wife of the ship's captain is the storyteller. They are a combination of live footage and computer animation) (fig. 3).

The Kyrenia interactive digital story is created by a team of professionals from artistic and technical disciplines according to the workflow presented in fig. 4. In order to acquire users' feedback in an efficient manner with respect to evaluation time and costs and avoiding strongly controlled environment of user under observation, we selected 41 participant representing different groups including school children, students, and professionals with



Fig. 4.
Kyrenia production team and workflow. Image: S. Rizvić

different professional backgrounds and computer proficiency. They were invited by email to view the digital stories, embark the virtual model of Kyrenia, and fill in the web-based survey summarizing their perceived experience. We evaluated user satisfaction, immersion and edutainment using 5-point Likert scale (Strongly Disagree, Disagree, Neutral, Agree, Strongly Agree).

According to the results we had Strong Positive and Positive answers prevailing when rating both edutainment and immersion. Higher percentage of negative answers for the virtual model was expected for the pilot version of the application as the ship model was not entirely completed. All participating users saw all 6 stories meaning that the motivation factor was successful.

Next storytelling activities

In the second year we will create storytelling parts of several applications developed within the Project. Presently we are preparing scenarios and storyboards and working on visual styling of digital stories.

Seafaring game storytelling consists of two kinds of narratives: branching narratives and cut scenes. Branching narratives appear as text boxes to offer the player some hints on navigating the ship and trading the commodities transported aboard. They contain decision points which change the gameplay. This is an example of such a narrative:

"There existed a pirate crew from Ephesus commanded by Archi pirate Andron. The Lookout spots their ship and notifies you. You order the crew of your ship to:

- a) Engage the pirates in a battle*
- b) Try to flee".*

Cut scenes are thematic stories about selected topics from seafaring and trade in Mediterranean in classical period. We are covering the following subjects: Navigation techniques, Banks and banking system, Pirates, Slave trade, Commodities, Sailing seasons, Ships, Life on board, Trade and smuggling and Coins and currencies.

These stories will be created as combinations of hand drawn backgrounds containing some objects symbolizing the historical period in question (temples, ships, squares, interiors with some typical furniture, seaside, harbours etc.) and superimposed actors in typical outfits who will be telling the narration about the particular topic (fig. 5).

UW excavation game storytelling will be mostly dedicated to depicting the wreck site formation process. Using 3D animation and info graphics elements we will tell the viewers what kinds of site formations exist, how they are created and what are their main characteristics.

Dry visits storytelling will include stories about selected shipwreck sites informing the users about their historical context, as well as the most important archaeological findings and their stories. As of Baiae underwater city site, we will recreate some objects that have remains within the archaeological park and revive some moments in life of the citizens. We will depict the rich aristocrat buying a sculpture (found and available as an archaeological artefact) from an artist sculptor.

3D puzzles will have an intro story explaining the users how to 3D print the pieces and put together the 3D puzzle. On top of that we will use slightly adjusted Kyrenia pilot application stories to offer the players additional information on the objects they can put together from 3D parts.

Conclusion

The iMARECulture project has a unique task to take the Internet users to a virtual underwater voyage to the past. Through serious games, VR and AR applications the users will learn about seafaring and trade in classical period, underwater site formation

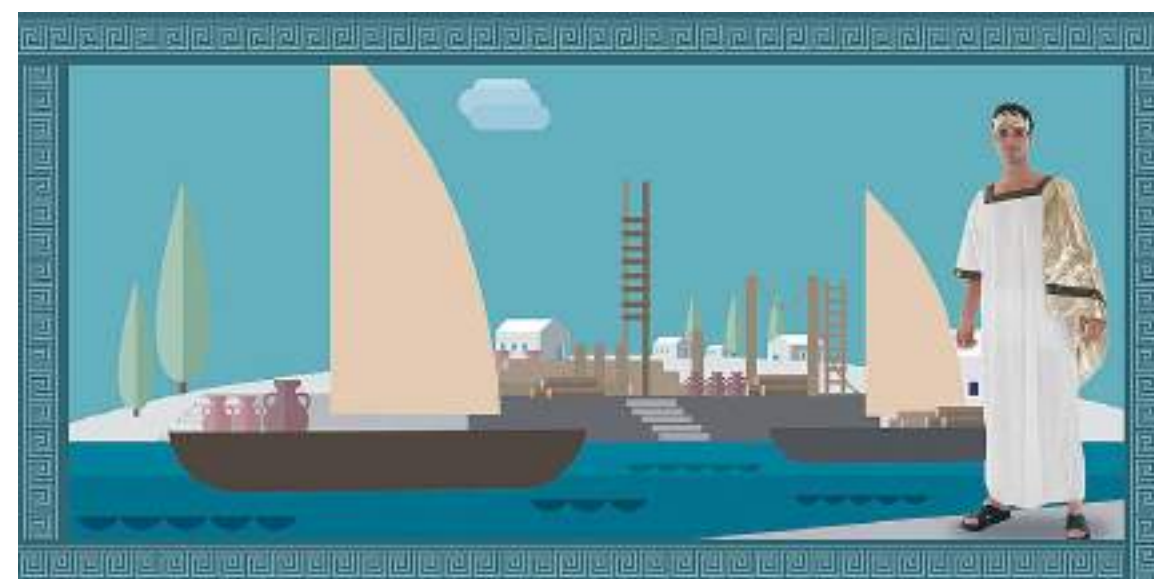


Fig. 5. Cut scenes visual styling sketch. Image: S. Rizvić

processes and underwater archaeological excavation techniques. In Thalassa museum, Cyprus, the visitors will see realistic representations of underwater sites through cutting edge light field display technology. Hybrid motion tracking in AR applications will enable the divers to see additional information on the sites they are visiting using underwater tablets.

Storytelling will enhance the user experience and create immersion of users into the underwater virtual environments. Library of ships and data on seafaring routes will be available to general public. We hope that this project will unlock the treasury of underwater cultural heritage and make it available not just in a museum, but also at home.

Acknowledgement

Research presented in this paper was supported by H2020 project 727153 iMARECULTURE.

REFERENCES

Brøndmo, Davenport 1989

Brøndmo H., Davenport G. Creating and Viewing the Elastic Charles – a Hypermedia Journal // Hyper-text : State of the ART. 1989. P. 43–51.

Demesticha 2013

Demesticha S. Harbours, navigation and trade // Ancient Cyprus : cultures in dialogue / ed. by D. P. N. Pilides. 2013. P. 80–83.

Katzev 2005

Katzev S. Resurrecting an ancient Greek ship : Kyrenia, Cyprus, beneath the seven seas // Beneath the Seven Seas / ed. by G. F. Bass. London, 2005. P. 72–81.

Miller 2004

Miller C. H. Digital Storytelling: A Creator's Guide to Interactive Entertainment. [S. l.], 2004.

Pescarin et al. 2014

Pescarin S., Rizvic S., Pletinckx D. Keys to Rome – The Next Generation Virtual Museum Event. South East European Digitization Conference SEEDI. Belgrade, 2014.

Rizvic, Prazina 2015

Rizvic S., Prazina I. Taslihan virtual reconstruction – Interactive digital story or a serious game // Proceedings of IEEE 7th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-Games). [S. l.], 2015. P. 1, 2.

Rizvic et al. 2016

Rizvic S., Okanovic V., Prazina I., Sadzak A. 4D Virtual Reconstruction of White Bastion Fortress // Proceedings of 14th EUROGRAPHICS Workshop on Graphics and Cultural Heritage. [S. l.], 2016. P. 79–82.

Rizvic et al. 2017a

Rizvic S., Djapo N., Alispahic F. et al. Guidelines for interactive digital storytelling presentations of cultural heritage // Proceedings of 9th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games 2017) [S. l.], 2017. P. 1–7.

Rizvic et al. 2017b

Rizvic S., Boskovic D., Okanovic V., Sljivo S. Kyrenia – Hyper Storytelling Pilot Application // Proceedings of 15th EUROGRAPHICS Workshop on Graphics and Cultural Heritage. [S. l.], 2017. P. 177–181.

Sawhney et al. 1996

Sawhney N., Balcom D., Smith I. HyperFace: Narrative and Aesthetic Properties of Hypervideo // HyperText '96 Proceedings, ACM. New York, 1996. P. 1–10.

Schoenau-Fog 2015

Schoenau-Fog H. Adaptive Storyworlds // Interactive storytelling. New York, 2015. P. 58–65.

Skarlatos et al. 2016

Skarlatos D., Agrafiotis P., Balogh T. et al. Project iMARECULTURE : Advanced VR, iMmersive serious games and Augmented Reality as tools to raise awareness and access to European underwater Cultural Heritage // Digital Heritage : Progress in Cultural Heritage : Documentation, Preservation, and Protection : 6th International Conference, EuroMed 2016, Nicosia, Cyprus, October 31 – November 5, 2016. Nicosia, 2016. P. 805–813.

Г. М. Сайфутдинова, Г. Х. Вафина
Институт археологии им. А. Х. Халикова Академии наук
Республики Татарстан, РФ

ТРЁХМЕРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НАМОГИЛЬНЫХ КАМНЕЙ И ТЕРРИТОРИИ КЛАДБИЩА БИШ-БАЛТА

Построение трёхмерных моделей территории кладбища и намогильных камней осуществлялось в рамках Проекта по отнесению историко-культурной территории «Мусульманское кладбище слободы Биш-Балта (XVI–XX вв.) Кировского района г. Казани Республики Татарстан» к объектам культурного наследия в виде достопримечательного места, согласно распоряжению Кабинета министров Республики Татарстан № 232-р от 15.02.2017 года.

В контексте проекта, согласно Федеральному закону N 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации», мусульманское кладбище слободы Биш-Балта относится к третьей категории достопримечательного места: памятные места, культурные и природные ландшафты, связанные с историей формирования народов и иных этнических общностей на территории Российской Федерации, историческими (в том числе военными) событиями, жизнью выдающихся исторических личностей.

Основная цель проекта – выявление объекта культурного наследия в виде достопримечательного места, установление границ его территории, предмета охраны и требований к осуществляемой деятельности в границах достопримечательного места, включение данного объекта культурного наследия в реестр и обеспечение его сохранности и эффективного функционирования в современных условиях.

Одна из задач проекта – построение трёхмерных моделей намогильных камней, территории кладбища и прилегающей к ней территории. Методики и инструменты создания трёхмерных моделей намогильных камней и территории кладбища различаются и основываются на возможностях программного и технического обеспечения отдела геоинформационных технологий при Институте археологии Академии наук Республики Татарстан. Основные этапы создания трёхмерных моделей намогильных камней и территории исследуемого участка приведены на рис. 1.

Исследования проводились в полевых и камеральных условиях. На начальном этапе выполнено обследование территории и фотофиксация исследуемых объектов, а также сбор и анализ информации о намогильных камнях, находящихся на территории кладбища Биш-Балта. Перед началом исследований были спланированы маршрут съёмки и методика фотографирования с учётом особенностей размеров, света и положения намогильных камней. На данном этапе очень важно выбрать методику съёмки, качество и количество фотографий, влияющих на результат построения трёхмерных моделей намогильных камней. Для этого необходимо, чтобы «соседние» фотографии имели достаточные площади перекрытий. Также нет необходимости делать большое количество фотографий.

По результатам обследования территории было выявлено 25 намогильных камней, которым был присвоен свой номер. Перед фотосъёмкой на намогильный камень была установлена масштабная линейка для точности дальнейшего воспроизведения модели. Каждый участок камня был зафиксирован на не менее чем двух изображениях,

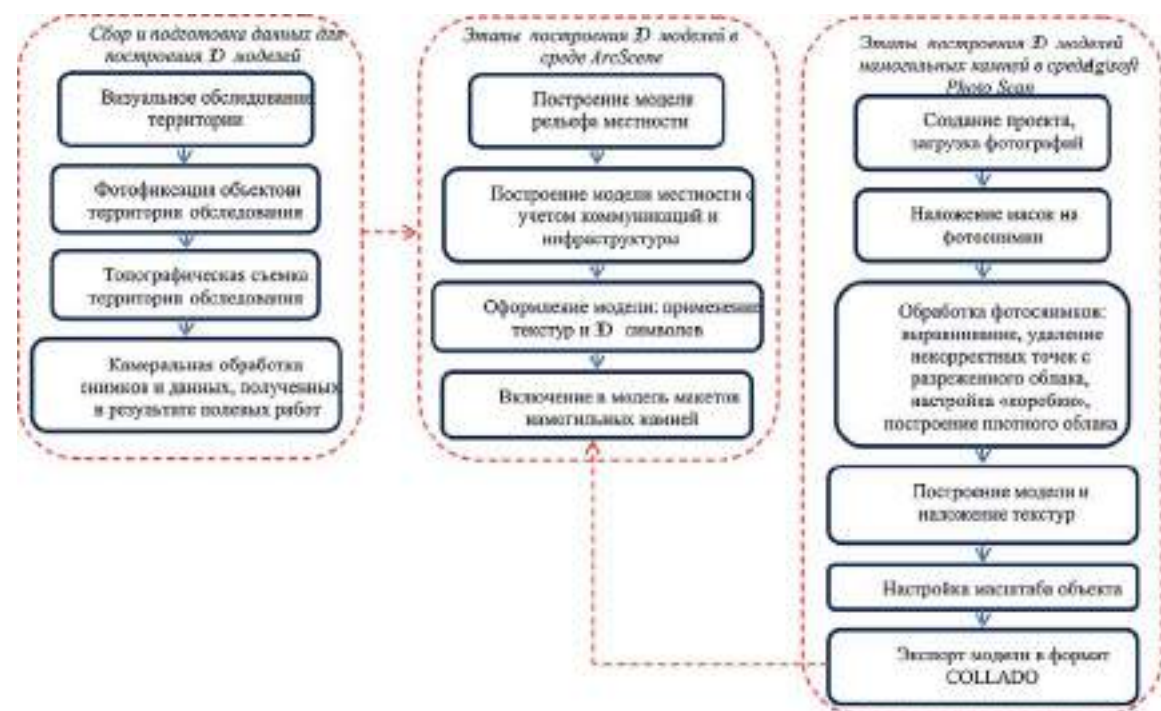


Рис. 1.

Этапы создания трёхмерных моделей надгробных камней и территории кладбища Биш-Балта

тем самым создана серия фотографий. Объект фотографировался подробно, с разных ракурсов. В среднем на каждую плиту было получено по 40–50 фотографий.

По результатам съёмки полученные фотографии были обработаны в программе Agisoft PhotoScan Professional. Трёхмерные модели в указанной программе создаются по серии фотографий, имеющих общие точки.

Для каждой надгробной плиты создан отдельный проект, включающий фотографии объекта. На изображения, содержащие нежелательные эффекты, например, тени фотографов, были нанесены маски, и эти участки были исключены из дальнейшей обработки.

В процессе построения модели все фотографии были выровнены. Результатом этой операции стало разреженное облако точек. Однако кроме самого объекта разреженное облако включало и некоторые некорректные точки, связанные с ошибками репроецирования и точностью определения камер. Эти лишние точки были удалены вручную. Далее с помощью специальных инструментов была настроена коробка, в которую была помещена модель.

По разреженному облаку точек были построены плотное облако точек, модель и текстура. На изображения, содержащие масштабную линейку, проставлялись маркеры, по которым отмерялись расстояния. Эта операция была необходима для задания масштаба объекту.

В данных исследованиях важным моментом является не только создание трёхмерных моделей, но и изучение и описание сохранившихся надписей (эпитафий) надгробных плит. Визуальное обследование не всегда позволяет разглядеть детали объекта. Поэтому сделана попытка использования не самих трёхмерных моделей, а их проекций на плоскости, так называемых ортофотосрезов. Учитывая, что зачастую эти

камни имеют надписи не только с лицевых, но и с боковых и обратных сторон плиты, необходимо получать из трёхмерной модели не один, а целый ряд ортофотосрезов. Для этого в программе Agisoft Photoscan Professional на модели было проставлено по три маркера на каждую из интересующих сторон памятника, как показано на рис. 2. Этим маркерам были заданы координаты так, чтобы отметить, что сторона плиты лежит на двумерной плоскости.

Готовая ортофотография была экспортирована с заданием необходимых параметров в формат tiff (рис. 3, а) и обработана в среде ArcGIS. Для этого использовали инструмент «Отмывка», позволяющий создавать рельеф с тенью из растровой поверхности. В результате получили изображения в чёрно-белом виде (рис. 3, б). Как видно на рисунке, чёткость надписей выше, чем на модели надгробного камня, что позволяет повысить возможность прочтения надгробных эпитафий.

Параллельно с построением трёхмерных моделей надгробных камней осуществлялись работы по созданию трёхмерной модели территории кладбища и его окрестностей. Для этого использовался модуль ArcScene. В программной среде ArcGIS выполнен сбор и систематизация данных, полученных в результате топографической съёмки и полевого обследования территории. Первоначально организована база геоданных, содержащая различные типы данных, в том числе для хранения фотографий надгробных камней и данных об артефактах, найденных в процессе археологических раскопок.



Рис. 2.

Маркеры на трёхмерной модели. Реконструкция авторов



a



b

Рис. 3. Ортофотосрез модели:
a – экспорт в формат tiff; б – после применения инструмента «Отмывка».
Реконструкция авторов

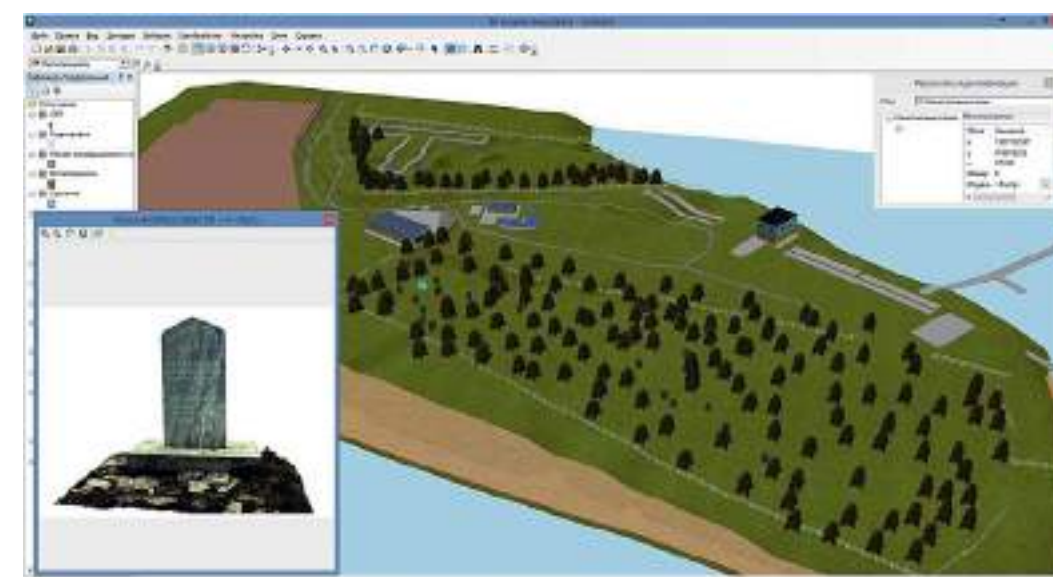


Рис. 4.
Трёхмерная модель территории кладбища Биш-Балта с идентификацией объекта.
Реконструкция авторов

Исходные данные для построения трёхмерной модели территории исследуемого объекта – это данные геодезической съёмки (отметки высот), данные дистанционного зондирования исследуемого участка и фотографии надгробных камней.

Алгоритм построения трёхмерной модели следующий:

- построение трёхмерной модели рельефа местности;
- добавление коммуникаций и инфраструктуры исследуемой территории: дороги, строения, ограждения, строительная площадка, линии электропередач и другие объекты, присвоение им базовых высот для совмещения с поверхностью рельефа;
- добавление точечных объектов: надгробных камней, растительности с применением трёхмерных символов ArcScene;
- оформление и максимальное приведение модели территории памятника к современному состоянию.

Трёхмерная модель рельефа местности построена путём создания поверхности из входных значений высотных отметок: использован инструмент TopoRaster модуля 3DAnalyst, который позволил получить растровую поверхность. Для отображения точечных (деревья, столбы линий электропередач и др.) и линейных (дороги, линии электропередач, ограждения) объектов была использована библиотека стилей 3DAnalyst, которая предоставляет возможность использовать различные символы, имитирующие объекты, находящиеся на территории памятника.

На получившуюся модель местности с посадкой коммуникаций и объектов инфраструктуры были добавлены надгробные камни в виде точек и применены для них 3D-символы с возможностью идентификации объекта. Каждый объект модели надгробного камня содержит данные пространственной привязки, высоты и трёхмерные модели в формате dae, создание которых описано выше (рис. 4).

Таким образом, в рамках данных исследований были разработаны трёхмерные модели надгробных камней и модель территории кладбища Биш-Балта с использованием геоинформационных технологий, способствующих дальнейшему развитию существующих методик и технологий, используемых в археологии.

Marion Scheiblecker
Department of Earth and Environmental Sciences,
Ludwig-Maximilians-Universität München,
Germany Institute of Near Eastern Archaeology,
Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany

Jörg W. E. Faßbinder
Department of Earth and Environmental Sciences,
Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany
Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Germany

Christian Schweitzer
Independent researcher, Germany

Manfred Böhme
Independent researcher, Germany

LANDSCAPE ARCHAEOLOGY AND OLDEST MONUMENTAL BUILDINGS IN OMAN – MAGNETOMETRY NEAR THE GEOMAGNETIC EQUATOR

Introduction

The UNESCO World Heritage Site of Bāt al-Khutm and al-Ayn in Oman (fig. 1) represents one of the most complete and well preserved ensembles of settlements and necropolises from the 3rd millennium BC with the two main periods: Hafit (ca. 3100–2700 BC) and Umm an-Nar (ca. 2700–2000 BC). Started with the Hafit period settled agricultural villages occurred in this arid climate with farming, irrigation systems, metallurgy, ceramics and necropolises (tombs and towers). Exploring the site of Bāt by excavations commenced in the 1970s (e.g. Frifelt 1976, 57–76). In 2004, a German team started the “Bāt Research & Restoration Project” in Bāt and al-Ayn (Böhme et al. 2008). Current studies on the Early Bronze Age archaeology have a broad regional focus in which the relationships between sites and landscape regions are of key interest (projects to name like one by C. P. Thornton & C. Schmidt (Thornton, Schmidt 2015, 155–163) or by C. Schmidt (Schmidt, Döpper 2017b, 121–122). The applied methods for landscape archaeology concentrate mainly on analyzing satellite images, field work, limited size excavations (e. g. for tombs, house structures), and use of GIS technologies. A recent geoarchaeological study of the Wadi Sharsah valley in Bāt combined the work of geomorphologists, micromorphologists, archaeobotanists and malacologists (Desruelles et al. 2016, 52).

One rarely applied prospection method in Oman is caesium magnetometry in duo-sensor-configuration, which is in particular suited for palaeogeographic and geoarchaeological modelling. In our opinion this method could substantially contribute to solve archaeological questions and should be more consistently applied. This will be illustrated by two examples, the magnetometry from 2006 at Bāt and from 2017 at Al-Khashbah.



Fig. 1.
Archaeological sites of Oman including Bāt and Al-Khashbah marked with red stars.
Projekt Al-Khashbah, Universität Tübingen, 2017

Magnetometry 2006 in BĀT and its subsequent use in archaeology

At Bāt near Ibris the largest and best preserved Bronze Age necropolis of Oman with fortification towers, settlements and irrigation installations for agricultural cultivation was discovered. Initiated by G. Weisgerber and funded by the Ministry of Heritage and Culture (Oman) a caesium magnetometry survey was carried out in 2006 with a threefold objective: 1. To investigate the large area (4.6 ha) of the flat alluvial lands of the Wadi Sharsah for archaeological remains, in particular settlements. This part is known for having, at least, eight Bronze Age towers, over 500 tombs and medieval watch-towers; 2. To search for pits in the vicinity of Bronze Age tombs in the northern hills; 3. To investigate a Danish excavation site from the 1970s with a Bronze Age settlement located at a steep slope of the northern hills (Böhme, Schweitzer 2007).

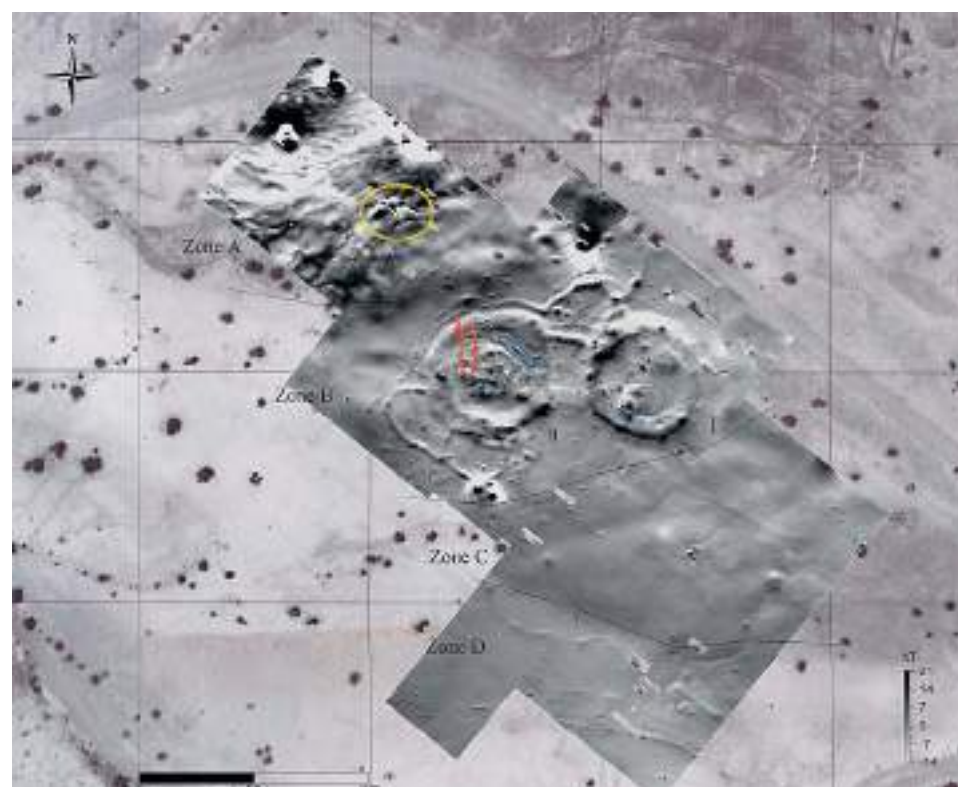


Fig. 2.

Flat alluvial plain of the Wadi Sharsah, Bāt, with the caesium-magnetometry 2006 of 4.6 ha (1st survey). Zone A: strong background magnetization caused by near-surface geological features, lightning strike (in yellow). Zone B: two large interconnected circular structures I and II. Excavation sites from the American Team 2007 (in blue) and German Team 2011 (estimated location in red). Zone C: area void of clearly visible archaeological objects. Zone D: area of ancient walls protecting the site against the overflowing Wadi. Magnetogram: C. Schweitzer, photo image: National Survey Authority Muscat, Sultanate of Oman

The raw magnetogram from the first survey suggests the subdivision of the main prospection site (ca. 4.5 ha) into four subzones (fig. 2). The north-western subzone A is characterized by a strong background magnetization caused most probably by near surface igneous rocks either deposited as debris or autochthonous and lightning strikes. The subzone B southeast encloses two large interconnected circular structures with a diameter of ca. 60 m for the western structure (I) and ca. 50 m for the eastern (II) respectively. The south-eastern subzone C seems to be almost void of archaeological objects and shows no indications of settlement structures like house foundations, ditches or pits. The subzone D to the south reaches to the edge of the Wadi. Several old walls, mainly built with boulders of limestone, are protecting the site to prevent the Wadi from flooding the site.

The monumental circular features beneath two round hill rocks in zone B attracted the interest of archaeologists. In 2007, an American team (Possehl, Thornton 2007; Thornton, Cable 2016, 8–11) started to investigate the two circular structures by small excavations and found remnants from the Umm An-Nar period (fig. 2). A German team continued in 2011 on the western structure and found walls and a Building II (Schmidt, Döpper 2014, 206–210). Both teams could uncover only a small percentage of the two large interconnected monuments (0.8 ha incl. annexed structures) which is probably too small to understand the essence of this unique monument. It is therefore important to integrate the magnetogram

into the archaeological interpretation process and extrapolate correlated finds across the site. This still has to be done.

In 2010, a geoarchaeological study was started by an international team, aimed to understand the sedimentary history of the Wadi Sharsah valley and to reconstruct the Neolithic-Iron Age environment in Bāt (Desruelles et al. 2016, 42). The study involved geomorphologists, micromorphologists, archaeobotanists and malacologists, but did not include geophysicists. That might explain why magnetometry was not included, especially not in areas with a concentration of archaeological remains. For some of the questions asked by the study, like the zonation of the landscape, agricultural practices of the floodplain and the occurrence of archaeological remains, magnetometry is an adequate method to contribute to the answers as shown above. An important advantage of a caesium magnetometer applied in the so-called duo-sensor-configuration compared to other magnetometer types is the fact that we get also information from deeper soil horizons, which allows us also to illuminate the subjacent archeological horizon of alluvium down to 3 m depth as it was done in the Wadi Sharsah.

The second survey of 2006 was conducted on the northern terrace with numerous tower tombs of the Umm an-Nar period and uncovered a burial pit next to Tomb 154 which was shortly afterwards excavated and yielded human bones and pottery from the Umm an-Nar period (Böhme 2012, 114–116).

The third survey at the steep settlement slope of the northern hill could prove the existence of more houses next to the Danish excavation site from the 1970s (fig. 3). Caesium magnetometry is probably the only non-destructive and non-invasive method to prospect archaeology in this uneven and rough terrain.



Fig. 3.

Steep settlement slope on the northern hills of Bāt with the excavation site of the Danish mission in the 1970s (Frifelt 1976). Caesium-magnetometry in 2006 on a test area of 0.1 ha could detect remnants of Bronze Age house foundations. Photo: M. Böhme

Magnetometry 2017 in Al-Khashbah

The site of Al-Khashbah is located at the southern foothills of the Al-Hajar mountains and covers an area of about 5 km west-east and 2.5 km north-south (Schmidt, Döpper 2017b, 122–123). Consisting of several Wadi and elevations, it also has shallow limestone outcrops crossing the Wadi Samad (Schmidt, Döpper 2017a, 1). In the region around Sinaw Al-Khashbah is the largest known 3rd-millennium BC site which has at least nine monumental round buildings or towers (Schmidt, Döpper 2017a, 1). Among them is one unique rectangular building. The site was first mentioned and discovered by G. Weisgerber in the late 1970s (Schmidt, Döpper 2017a, 1; Projekt Al-Khashbah, Universität Tübingen 2017). Since 2015, a German team under direction of Conrad Schmidt (University of Tübingen) has been investigating the early phase of the cultural and socio-economic developments of the Bronze Age in inner Oman and in Al-Khashbah (Schmidt, Döpper 2017a, 1; Projekt Al-Khashbah, Universität Tübingen 2017). The starting point was an intensive field-walking survey where in more than 20 ha in total 18,000 objects were documented using GPS to integrate the data in web GIS (Schmidt, Döpper 2017a, 1; Schmidt, Döpper 2017b, 126). The data of the survey in 2015 are available for the public at <https://www.archaeoman.de/al-khashbah-webgis/>. The results have been correlated with an aerial survey, geophysical surveys as well as archaeological excavations (Schmidt, Döpper 2017a, 1–3; Schmidt, Döpper 2017b, 124–126, 134).

The oldest features at the site are from the Hafit period: three round buildings are made of stone; there is also a monumental structure made of mudbrick and at least two towers as well as Building I from the same period (Schmidt, Döpper 2017a, 1). Additionally 205 tombs of the same period are situated on small elevations respectively on smaller hills; they are constructed above the ground with stones in the form of a cone (Schmidt, Döpper 2017a, 1).

In the following Umm an-Nar period one domestic building (Building X) is documented, as well as five monumental round buildings, which are made of stone, and six towers (Schmidt, Döpper 2017a, 1–2). The number of burials is less than in the Hafit period, they are erected also above ground and built of stone but are larger and upstanding in the plain (Schmidt, Döpper 2017a, 1–2). Six tombs have been discovered from the Wadi Suq period (2000–1600 BC), thereafter a long hiatus shows up until the late Islamic period (Schmidt, Döpper 2017a, 2). Later the area was resettled, for example, in the modern palm oasis and in the village of Safrat al-Khashbah which is now abandoned (Schmidt, Döpper 2017a, 2). Three aflaj irrigation systems (aflaj is plural of falaj, Arabic for ancient water channels) were also recorded there (Schmidt, Döpper 2017a, 2).

The first geophysical prospection at the site of Al-Khashbah was carried out in 2015 by Jason Herrmann from the University of Tübingen. He investigated Buildings I, V and VII using a Bartington Grad 601-2 magnetic gradiometer (Schmidt, Döpper 2017b, 137).

In 2017, the area north of the first survey was explored (Area B), including Building XI, furthermore the Islamic graveyard and some Umm an-Nar tombs east of the main site (fig. 4). For magnetic prospecting, we used a caesium magnetometer Scintrex Smartmag SM4G in the so-called duo-sensor-configuration with a sampling density of 12.5×50.0 cm, interpolated to 25×25 cm (Faßbinder 2015).

The most prominent results of magnetometry are large ditch systems around Building I as well as Building XI, surveyed both in 2015 and 2017 in Area B. They contain several buildings and other unknown features and enclose small natural elevations next to the Wadi (Schmidt, Döpper 2017a, 5). Building I (80×80 m) consists of at least three almost rectangular features with a diameter of 20 m which are overlapping and smaller ones to the east (Schmidt, Döpper 2017a, 5; Schmidt, Döpper 2017b, 146–152). Due to the shallow

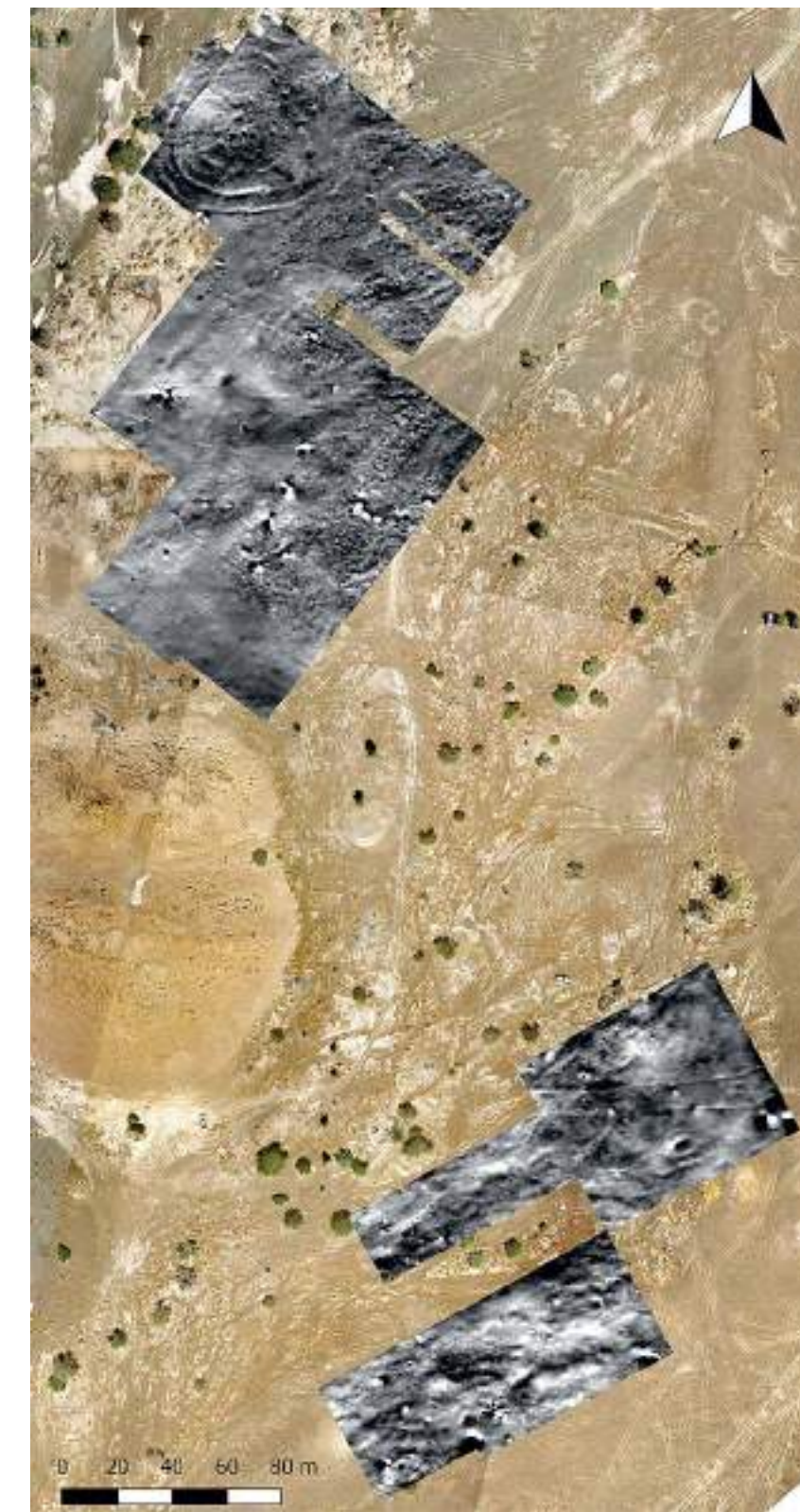


Fig. 4.

Overview of the site with the magnetogram of the 2017 survey; grey-shade plot of ± 25 nT from black to white, sampling density 12.5×50.0 cm interpolated to 25×25 cm, intensity of the Earth's magnetic field 43640 ± 100 nT, inclination ca. 30° (2/2017). Magnetogram: J. W. E. Faßbinder, M. Scheiblecker; orthophoto: Universität Tübingen

inclination of the Earth's magnetic field (ca. + 30°) the resulting magnetograms reveal a large white "shadow" in the north of all the induced magnetic anomalies. Thus for the interpretation we have to take into account a large shift of the total field magnetic anomaly (Faßbinder, Gorka 2011, 45–48; Faßbinder 2015, 90–92). All structures are surrounded by large ditches up to 4 m wide and 3 m deep, proved by excavation (Schmidt, Döpper 2017a, 5; Schmidt, Döpper 2017b, 151). Both survey and excavation revealed slag and stone tools indicating copper processing and stone tool production in this area (Schmidt, Döpper 2017b, 127). Building I is dated to the late Hafit period around 2800 calBC due to radiocarbon dating of charcoal samples (Schmidt, Döpper 2017a, 6; Schmidt, Döpper 2017b, 151).

Building XI (fig. 5, 6) was investigated in 2017. The survey area was enlarged to the east and south (in total 180 × 220 m). Due to the shallow inclination of the Earth's magnetic field, the magnetogram shows again positive anomalies (dark) with a white shadow in the north. The mound of Building XI rises up to 2 m above the surrounding landscape. The magnetogram revealed at least two oval-shaped ditches enclosing the mound with a diameter (of the outer ditch) of 65–80 m. Both ditches are 3 m wide and up to 3.5 m deep; maybe they are open in the northeast because they can't be traced very clearly there. In the center of the ditch system, we found, very probably, the layout of houses, cellars, and pits. Building I and XI are not comparable by their different layouts. While Building I is dating to the Hafit period, it is likely that Building XI belongs to the latest phase of the same period or to the beginning of the Umm an-Nar period with respect to the comparable structures



Fig. 5.
Building XI – view to the west. Photo: M. Scheiblecker

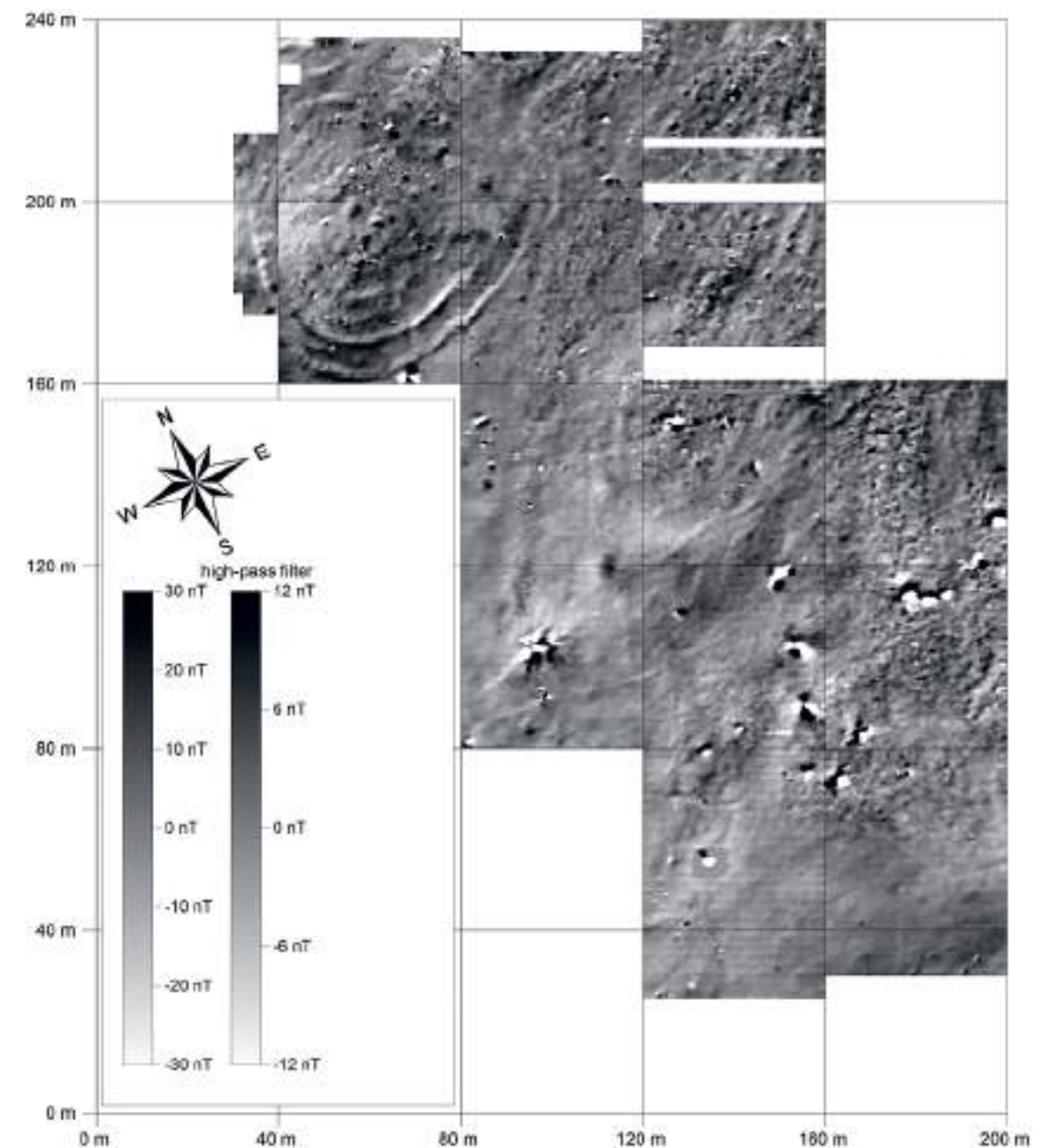


Fig. 6.
Magnetogram of the 2017 survey of Building XI and the surrounding area; grey-shade plot of ± 30 nT from black to white and ± 12 nT for high-pass filter, sampling density 12.5 × 50.0 cm interpolated to 25 × 25 cm, intensity of the Earth's magnetic field 43640 ± 100 nT, inclination ca. 30° (2/2017).
Magnetogram: J. W. E. Faßbinder, M. Scheiblecker

discovered in Bāt (Possehl, Thornton 2007). Just east and south of Building XI slight traces of further ditches show up in the magnetogram as well as other manmade archaeological features.

The south-eastern part of the magnetogram revealed a magnetically disturbed area in rectangular shape suggesting destroyed architecture or a graveyard. The magnetogram revealed also two very strong remanent anomalies, which were clearly identified as the traces of lightning strikes.

We also investigated the Islamic graveyard (fig. 7) as well as six tombs of the Umm an-Nar period (fig. 8). On the magnetogram (fig. 9, upper part) which covers the Islamic graves we only found a few traces of the tombs themselves. The stones used for the bordering of the graves are partly upstanding, some of them are translocated (fig. 7). The magnetic signal of the stones reveals similar values that the adjacent top soil; therefore, only a few burials were traced as rectangular features, sometimes with rounded edges. In addition, two further unknown linear features almost in parallel from west to east became visible. They cross the graveyard; other linear structures were found in the north-south direction. The burial chambers overlie the linear features, indicating that they are older. The archaeological material which was found here during the survey consists, to a great extent, of metal objects, especially slag (<https://www.archaeoman.de/al-khashbah-webgis/>).

The lower part of the magnetogram (fig. 9) shows the investigated Umm an-Nar grave mounds, where some of the outlines of the mounds in the form of stone circles as well as a few chambers can be visualized. Furthermore, lightning strikes hit the area of the burial mounds. Here, too, the topsoil and the stones used for constructing the chambers and the mounds can be hardly distinguished because of their similar magnetic properties. The predominant survey material at this site is Early Bronze Age pottery (<https://www.archaeoman.de/al-khashbah-webgis/>).

Summary/Conclusions/Recommendations

The focus of ongoing and forthcoming archaeological studies in Oman Peninsula is to unravel the living conditions of the Bronze Age society in the 3rd millennium BC in an arid climate and to uncover the meaning and organization of their settlements with



Fig. 7.

Measuring the Islamic graveyard with a Scintrex Smartmag SMG-4 with duo-sensor-configuration on an uneven ground. Photo: M. Scheiblecker



Fig. 8.

Magnetic investigation of the Umm an-Nar period tombs; Scintrex Smartmag SMG-4. Photo: J. W. E. Faßbinder

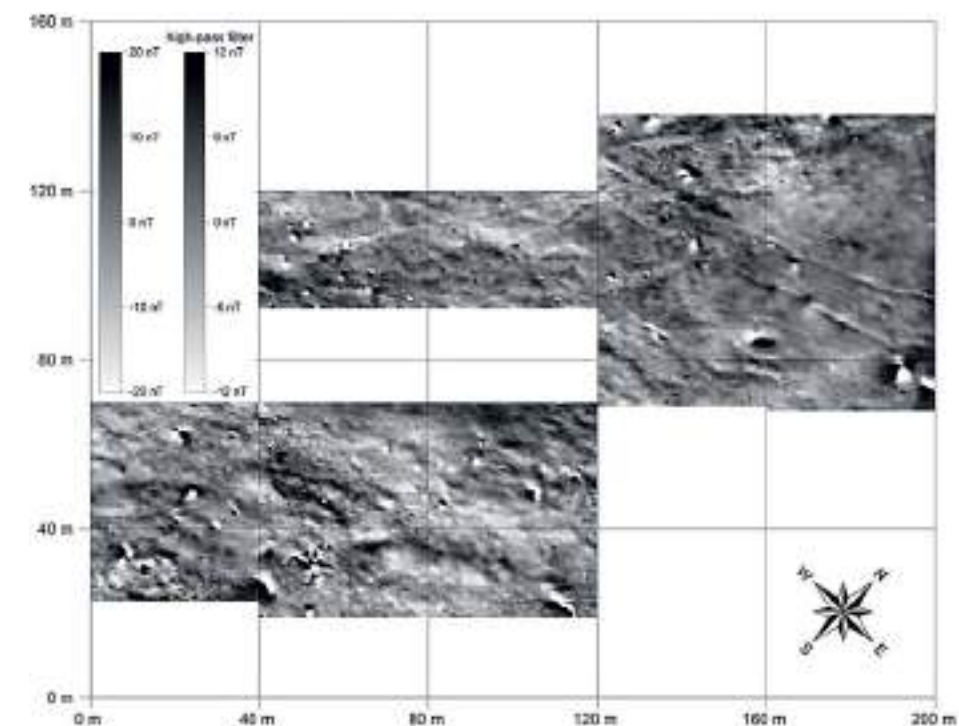


Fig. 9.

Magnetogram of the Umm an-Nar period graves; grey-shade plot of ± 20 nT from black to white and ± 12 nT for high-pass filter, sampling density 12.5×50.0 cm interpolated to 25×25 cm, intensity of the Earth's magnetic field 43640 ± 100 nT, inclination ca. 30° (2/2017).

Magnetogram: J. W. E. Faßbinder, M. Scheiblecker

large, circular monuments, their agriculture with irrigation systems, their metallurgy and necropolises with tombs and towers. Landscape archaeology as well as small-scale excavations of individual objects can be successfully complemented and completed by caesium magnetometry as demonstrated on two sites in Bāt (2006) and Al-Khashbah (2017).

In Bāt we discovered two so far unknown circular monuments of the Umm an-Nar period, pits in the neighbourhood of tombs, houses at the steep settlement slope in the rough terrain of the northern hill and we performed a geoarchaeological zonation in one part of the Wadi Sharsah.

In Al-Khashbah comparable monumental structures could be uncovered consisting of ditch systems with architecture in the center. A few tombs of a very early phase have been investigated, showing details of their construction in the magnetogram. In completion, the Islamic graveyard was geophysically surveyed. Material of the field survey provided further very important information.

These case studies show the wide range and the potential of magnetic prospection. Also other geophysical methods, in particular GPR, should be tested. A prerequisite of successful application should be the full integration of geophysics into the prospection process in close cooperation of archaeologists and geophysicists.

REFERENCES

Böhme 2012

Böhme M. The Restoration of Tomb 154 at Bāt // Fifty Years of Emirates Archaeology : Proceedings of the Second International Conference on the Archaeology of the United Arab Emirates / eds. P. Hellyer, D. T. Potts. Abu Dhabi, 2012. P. 113–121.

Böhme, Schweitzer 2007

Böhme M., Schweitzer C. 2006: World Heritage Monument BĀT, Oman, Magnetometer-prospection : unpublished report. Bāt, Sultanate of Oman, 2007.

Böhme et al. 2008

Böhme M., Heckes J., Weisgerber G. BĀT Research & Restoration Project, Sultanate of Oman, ein Tätigkeitsbericht (Activity Report) für 2006 bis 2008 : unpublished report. Bochum, 2008.

Desruelles et al. 2016

Desruelles S., Fouache E., Eddargach W. et al. Evidence for Early Irrigation at Bāt (Wadi Sharsah, Northwestern Oman): Before the Advent of Farming Villages // Quaternary Science Reviews. 2016. Vol. 150. P. 42–54.

Faßbinder 2015

Faßbinder J. W. E. Seeing Beneath the Farmland, Steppe and Desert Soil: Magnetic Prospecting and Soil Magnetism // Journal of Archaeological Science. 2015. Vol. 56. P. 85–95.

Faßbinder, Gorka 2011

Faßbinder J. W. E., Gorka T. Magnetometry near to the Geomagnetic Equator // Archaeological Prospection : 9th International Conference on Archaeological Prospection, September 19–24, 2011. Izmir, Turkey / eds. M. G. Drahor, M. A. Berge. Istanbul, 2011. P. 45–48.

Frifelt 1976

Frifelt K. Evidence of a Third Millennium BC Town in Oman // Journal of Oman Studies. 1976. Vol. 2. P. 57–76.

Possehl, Thornton 2007

Possehl G. L., Thornton C. P. Unpublished Report, Ministry of Heritage and Culture, Bāt, Sultanate of Oman. 2007. A Report from the American Team.

Projekt Al-Khashbah, Universität Tübingen 2017

Projekt Al-Khashbah, Universität Tübingen : The Site Al-Khashbah. URL: <https://www.archaeoman.de/en/der-fundort-al-khashbah> (accessed: 24.11.2017).

Schmidt, Döpper 2014

Schmidt C., Döpper St. German Expedition to Bāt and Al ‘Ayn, Sultanate of Oman : The Field Seasons 2010 to 2013 // Journal of Oman Studies. 2014. Vol. 18. P. 187–232.

Schmidt, Döpper 2017a

Schmidt C., Döpper St. The Development of Complexity at Third-Millennium BC al-Khashbah, Sultanate of Oman : Results of the First Two Seasons, 2015 and 2016 // Proceedings of the Seminar of Arabian Studies. 2017. Vol. 47. P. 1–16.

Schmidt, Döpper 2017b

Schmidt C., Döpper St. Die Entstehung komplexer Siedlungen im nördlichen Inner-Oman im 3. Jahrtausend v. Chr.: Bericht über die Ausgrabungen 2015 und 2016 in Al-Khashbah // Mitteilungen der Deutschen Orient-Gesellschaft zu Berlin. 2017. Bd. 149. S. 121–158.

Thornton, Cable 2016

Thornton C. P., Cable C. M. Introduction // The Bronze Age Towers at Bāt, Sultanate Oman : Research by the Bāt Archaeological Project, 2007–12 / eds. C. P. Thornton, C. M. Cable, G. L. Possehl. Philadelphia, 2016. P. 1–12.

Thornton, Schmidt 2015

Thornton C. P., Schmidt C. The UNESCO World Heritage Site of Bāt and Al-Ayn : Past, Present, and Future / ed. by H. M. A. al-Lawati // Proceedings of the Symposium “The Archaeological Heritage of Oman” (UNESCO, Paris – September 7th, 2012). Muscat ; Sultanate of Oman, 2015. P. 155–163.

Marion Scheiblecker
Institute of Near Eastern Archaeology,
Ludwig-Maximilians-Universität München,
Department of Earth and Environmental Sciences,
Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany

Simone Mühl
Institute of Near Eastern Archaeology,
Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany

Jörg W. E. Faßbinder
Department of Earth and Environmental Sciences,
Ludwig-Maximilians-Universität München,
Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München, Germany

MAGNETIC INVESTIGATIONS IN THE SHAHRIZOR PLAIN, IRAQI KURDISTAN

Introduction

Archaeological features, such as architecture etc. can be traced by high resolution and large-scale magnetometer prospecting. Moreover, soil magnetic data deliver additional information about the alteration of the ancient landscape. In combination with an archaeological survey, the geophysical results can provide information to reconstruct the spatial organization within these settlements as well as an epoch-spanning analysis of settlements and their role in urbanization processes and within settlement hierarchies.

Our case study is focusing on the area along the Wadi Shamlu, situated within the Shahrizor plain (fig. 1) in northeastern Iraq, where more than 30 ancient settlements were documented and surveyed; the project is funded by Gerda Henkel Stiftung. The area consists of a few multi-period settlements (Gird-i Shamlu, Tell Begum) and of a multitude of single-phase settlements or farmsteads. The sites, dating from the Neolithic to Islamic period, are archaeologically surveyed and verified by pottery findings. The first magnetometer surveys in the Shahrizor plain were already undertaken in 2014. They revealed structures of settlements and traces of a Parthian temple at four sites (fig. 1). In spring and autumn 2017, we investigated flat ancient settlements during two geophysical campaigns. These sites are visible on the surface by a slight elevation and grey soil color. The survey brought to light distinct archaeological features such as remains of buildings, which contain rows of rooms including installations such as ovens or kilns. Furthermore, geoarchaeological features such as ancient river beds and irrigation canals were detected in proximity of these sites. Such features are often covered by sediments and rarely attested by remote sensing methods in this region.

The region

The Shahrizor plain (fig. 1) covers approx. 1300 sq km, forms a large valley at the foothills of the Zagros Mountains and is situated in the provinces Sulaymaniyah and Halabja in Iraqi Kurdistan, close to the Iraqi-Iranian border. The valley is situated in the rain fed

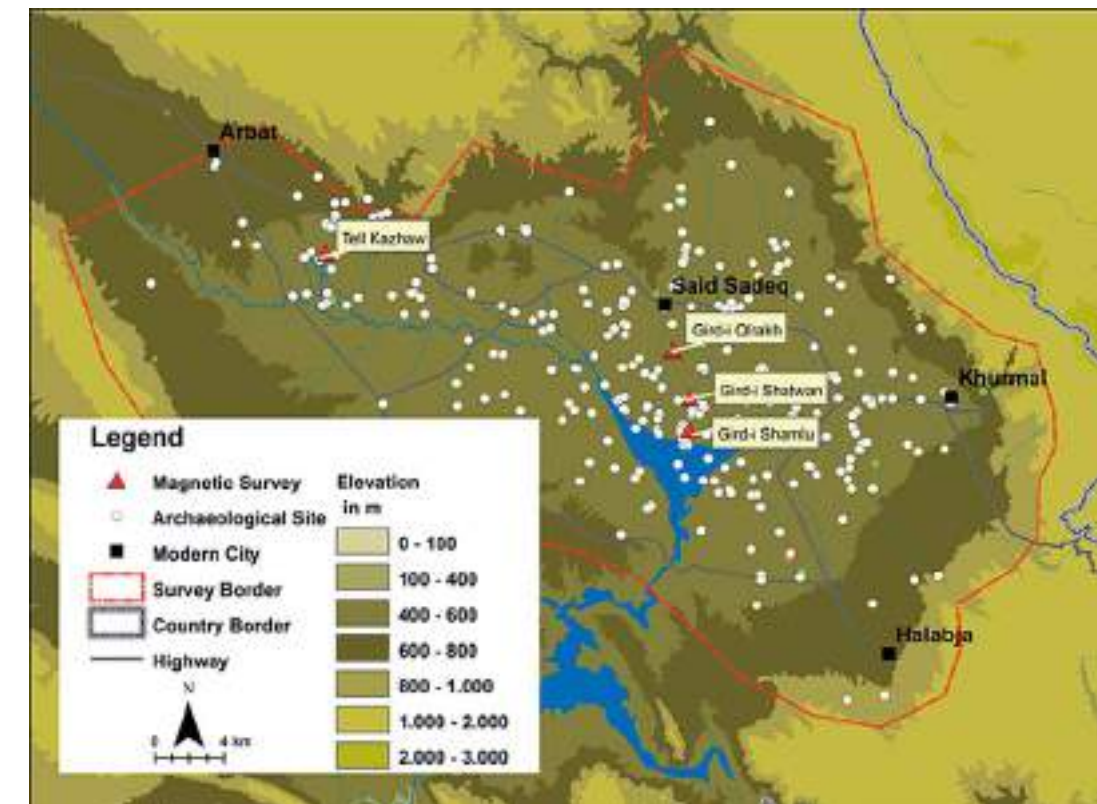


Fig. 1.
The Wadi Shamlu within the Shahrizor plain; sites magnetically surveyed
up to 2016 are marked with red triangles.
Image: S. Mühl

agriculture zone, southeast of the provincial capital Sulaymaniyah (Mühl, Faßbinder 2015, 113; Mühl, Nieuwenhuys 2016, 37–38). The plain forms one of the most fertile regions of Iraq (Mühl 2010, 48). The main river Tanjero runs from northwest to the southeast, joined by headstreams and seasonal streams of the surrounding mountains and the Sirwan River to the Diyala River, which connects the region with central and southern Mesopotamia (Altaweel et al. 2012, 3). The Wadi Shamlu in the center of the Shahrizor plain carries water during the whole year. The water flows in the north-southern direction and nowadays runs into the Darband-i Khan reservoir (Nieuwenhuys et al. 2016, 258). Until the 1950s, it joined the Tanjero River (Nieuwenhuys et al. 2016, 258). In the framework of the Shahrizor Survey Project the remnants of 31 ancient sites were discovered and investigated alongside the Wadi Shamlu already explored in 2012 and 2013. The sites date from the Neolithic to Islamic periods (Altaweel et al. 2012, 20).

The Shahrizor Survey Project combines newest methods of archaeological, geological, geophysical and archaeobotanical exploration and prospection; its results are linked with historical sources to investigate the history of the landscape and its habitation (Altaweel et al. 2012, 1). Since 2009, an international team investigates tell sites in the Shahrizor plain by analyzing satellite images and by archaeological field survey done in collaboration with the Directorate of Antiquities in Sulaymaniyah (Mühl 2010, 48; Altaweel et al. 2012, 1; Mühl, Nieuwenhuys 2016, 27–28). CORONA-satellite images of the 1960s as well as modern Quickbird images deliver a basis for remote sensing (Alberty 2001, 106–153; Faßbinder et al. 2015, 72; Matoušková et al. 2015, 331–332), which was used to detect archaeological

sites for targeted investigations. At the Wadi Shamlu, 31 sites were identified by satellite image analysis and were verified by ground based archaeological field survey. Excavations were undertaken at the larger settlement mounds of Tell Begum (Leiden University) and Gird-i Shamlu (LMU Munich). These investigations were accompanied by magnetometer prospecting in 2014 (fig. 1, red triangles; Mühl, Faßbinder 2016).

Geophysical methods

Magnetometer measurements reveal archaeological structures as well as geo-archaeological features in the ancient landscape. Archaeological and geological subsurface structures, such as stone and mudbrick/baked brick architecture, ditches, pits, graves, ovens or kilns, canals and ancient river courses or ancient roads cause weak disturbances of the Earth's magnetic field and that can be visualized by sophisticated digital image processing (Becker 1996, 73–74; Faßbinder 2007, 53; Neubauer 2001, 18–22; Scollar et al. 1990, 422–423; Wilkinson 2003, 40). In combination and by fusion of further prospecting methods – aerial archaeology, satellite imagery, field survey – research questions in respect of emergence and further development of settlement systems can be answered. To investigate the settlements of the Wadi Shamlu we chose magnetometer prospecting as the most effective and suitable method for clayey soils on alluvial subsurfaces and geological background (Faßbinder 2007, 53). Two types of instruments have been applied, the Smartmag SM4G-Special (Scintrex; fig. 3) and the Geometrics G-858-Special, both systems as total field magnetometers in a so-called duo-sensor variometer configuration. The instruments were used to investigate four selected sites (SSP-58, SSP-59, SSP-60, SSP-57) near Tell Begum and three sites (SSP-35, SSP-40, SSP-42) in the vicinity of Gird-i Shamlu (fig. 2). This paper will focus on the three sites mentioned first.

For the magnetometer survey of the flat settlements, we set up a 40 × 40 m grid system and surveyed in zig-zag mode with a sampling density of 12.5 cm and a traverse interval of 50 cm with duo-sensor-configuration (Faßbinder 2017, 500). The magnetometer probes were fixed on a wooden frame and were carried at a height of 30 cm above the ground (Faßbinder 2017, 500). The advantage of total field magnetometers in such a configuration is obvious; compared with gradiometers we measure anomalies with up to five times higher intensity thus by an extremely higher sensitivity and hence also get more information from deeper soil horizons from up to approx. 1 to 3 m depth (Faßbinder 2017, 500). The data of the measurements are recorded and stored by the read-out-unit as a binary file; afterwards we download and process the data as a grey shade image called magnetogram.

To verify the results of the magnetometer measurements in detail and to discriminate and distinguish materials, additional measurements of magnetic susceptibility were conducted. Both the natural top soil and the underlying undisturbed sediments, archaeological materials and fragments of mudbricks as well as a soil profile that we found on a new field boundary that contained remnants of ancient mudbrick architecture were documented and measured by the Kappa meter SM 30 (Zh-Instruments). Moreover, we collected soil samples of the site that will be analyzed by rock magnetic measurements in the laboratory in Munich for a more complete understanding and interpretation of the magnetometer survey.

SSP-58

The magnetometer survey of the first settlement (SSP-58; fig. 4) north of Tell Begum revealed a positive elliptical anomaly, which opens to the north. Due to the low magnetic intensity, it could be a ditch, a wall or a limitation of the site. Outside of the feature, at least three to five strongly positive magnetic anomalies can be detected. Due to the high



Fig. 2.
Results of geophysical measurements in the surrounding of Tell Begum and Gird-i Shamlu.
Map: M. Scheiblecker

intensity and their direction towards the Earth's magnetic field, we interpret them as ovens or kilns. Inside the semi-circle, the magnetogram reveals both positive and negative anomalies with regular and linear shapes. We found rectangular features but also rounded structures and we interpret them as remnants of architecture and buildings. The used architectural materials reveal both negative and positive magnetic anomalies, but due to their low magnetic intensity, they do not imply baked bricks or high magnetic stones, but consist rather of rammed clay or sun-dried mudbricks. A multitude of further positive



Fig. 3.

Surveying SSP-59 in front of Tell Begum with the Scintrex Smartmag SM4G-Special in zig-zag mode; view to the southwest. Photo: J. W. E. Faßbinder

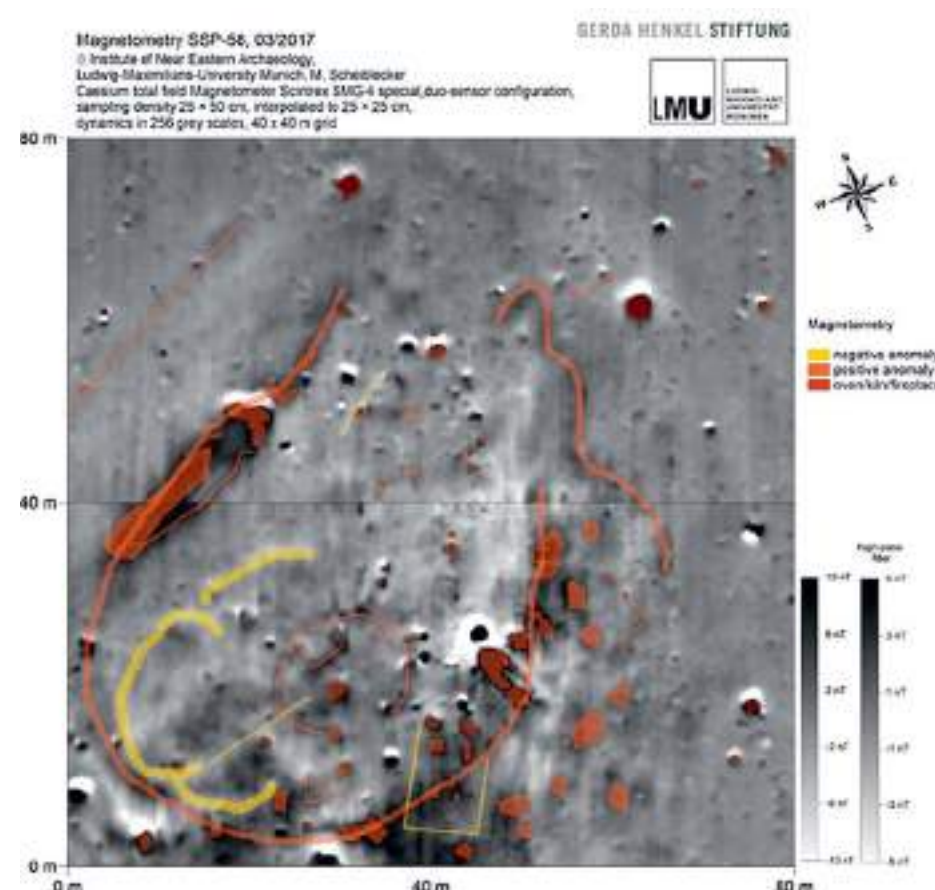


Fig. 4.

Interpreted magnetogram of SSP-58. Magnetogram: M. Scheiblecker

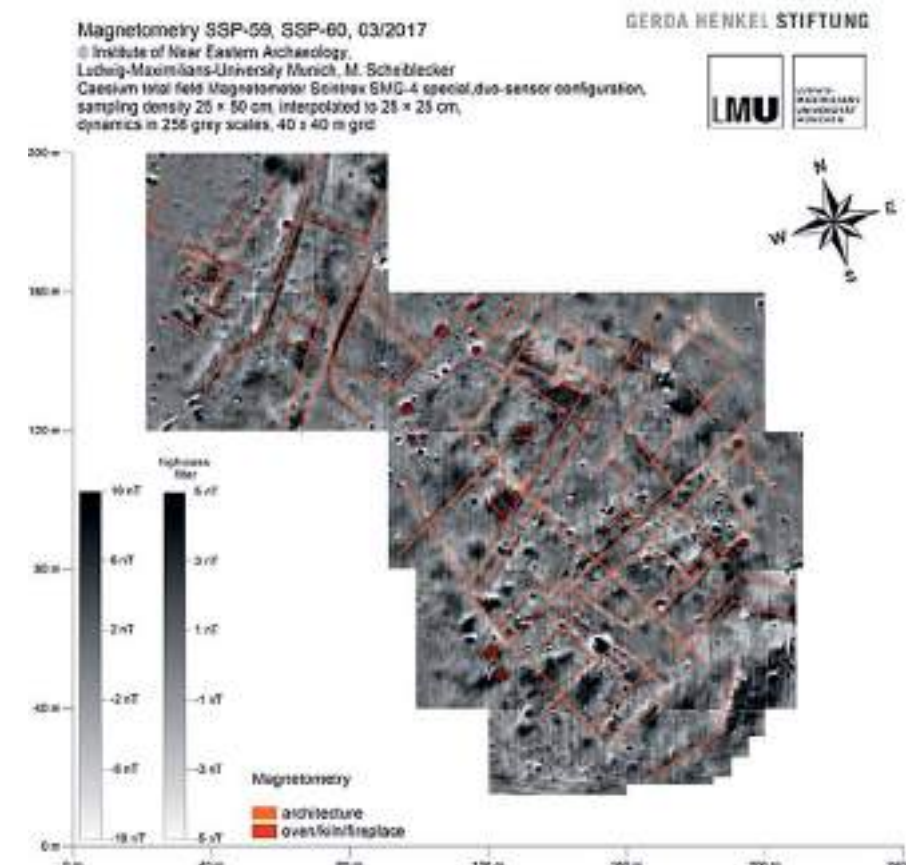


Fig. 5.

Interpreted magnetogram of SSP-59 and SSP-60. Magnetogram: M. Scheiblecker

anomalies represents inhomogeneity of the ground, which is caused probably by pits as well. They could have served as storage pits, but they could be also traces of animals.

The ceramic assemblage indicates a late Neolithic or Chalcolithic date (Mühl, Nieuwenhuyse 2016, 41, fig. 10), and it is comparable to the pottery from the excavation of Tell Begum (Mühl, Nieuwenhuyse 2016, 42, fig. 11 and 43, fig. 12). The features discovered through magnetometry are characteristic for farmsteads from the Neolithic period, described by Bernbeck (Bernbeck 2013, 53, fig. 3) and Frangipane (Frangipane 2013, 95, fig. 6.6).

SSP-59 and SSP-60

The sites SSP-59 and SSP-60 were chosen because of their close neighborhood within an area of 200 × 200 m. They are located northeast of Tell Begum and east of SSP-58 (fig. 3 and 5). Linear features are found throughout the whole magnetogram. Often they show right-angled orientation. They can be reconstructed as single rooms or as buildings with rows of rooms inside. The weak positive anomalies, respectively the negative linear anomalies, indicate mudbricks or limestone as building material. A lot of limestone fragments and blocks are scattered over the field and prove this assumption. Furthermore, remnants of mudbricks were observed at the southern limit of the survey area, where a new field boundary cuts ancient architecture. There, a section was cleaned of which the lower part revealed mudbrick wall remains; this can be verified by our measurements of the magnetic susceptibility. The deviation of the magnetic susceptibility data between the natural soil (0.302 [10⁻³ SI]) and the mudbrick (0.294 [10⁻³ SI]) is almost low or neglectable.

Besides these remnants of architecture, the magnetogram revealed several ovens/kilns both inside and outside the buildings. Further positive anomalies could be pits.

Pottery collected at the site SSP-60 indicates an Early Bronze Age and Medieval date. The lower town of Gird-i Shamlu revealed a similar pattern of rooms along narrow streets during the excavations in 2016 and 2017. Furthermore, the layout of SSP-60 reminds of architecture at Kazane Höyük (Creekmore 2014, 53, fig. 2.7 C). It consists also of rows of rooms or buildings with intermediate streets just as Titriş Höyük (Nishimura 2014, 86, fig. 3.3). But the formal similarities of course need further investigation.

Conclusion

During the late Neolithic, respectively the Chalcolithic, period, the Tell Begum cluster (fig. 2) consisted not only of the main mound with an upper and lower town (Hijjara 1997, 127–129; Nieuwenhuyse et al. 2016, 258; Mühl, Nieuwenhuyse 2016, 40–43), but also of further related small settlements in the northern and the southern area. The northeastern site was first populated during the Early Bronze Age and contributes to the younger history of Tell Begum.

The case study of the sites near Tell Begum provides us with a good example for the potential of an interdisciplinary approach towards a complemented archaeological interpretation of results derived from high resolution geophysical prospecting, remote sensing and soil magnetic measurements in combination with ground based archaeological survey.

REFERENCES

Albertz 2001

Albertz J. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern : Eine Einführung in die Fernerkundung. Darmstadt, 1991.

Altaweel et al. 2012

Altaweel M., Marsh A., Mühl S. et al. New Investigations in the Environment, History, and Archaeology of the Iraqi Hilly Flanks: Shahrizor Survey Project 2009–2011 // Iraq. 2012. Vol. 74. P. 1–35.

Becker 1996

Becker H. Die magnetische Prospektion // Archäologische Prospektion : Luftbildarchäologie und Geophysik : Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege 59 / Hrsg. H. Becker. München, 1996. S. 73–76.

Bernbeck 2013

Bernbeck R. Multisited and Modular Sites in the Halaf Tradition // Interpreting the Late Neolithic of Upper Mesopotamia / eds. O. P. Nieuwenhuyse, R. Bernbeck, P. M. M. G. Akkermans, J. Rogasch. Turnhout ; Brepols, 2013. P. 51–61.

Creekmore 2014

Creekmore A. T. The Social Production of Space in Third-Millennium Cities of Upper Mesopotamia // Making Ancient Cities : Space and Place in Early Urban Societies / eds. A. T. Creekmore, K. D. Fisher. Cambridge, 2014. P. 32–73.

Faßbinder 2007

Faßbinder J. W. E. Unter Acker und Wadi : Magnetometerprospektion in der Archäologie // Einführung in die Archäometrie / ed. G. A. Wagner. Berlin, 2007. S. 53–73.

Faßbinder 2017

Faßbinder J. W. E. Magnetometry for Archaeology // Encyclopedia of Geoarchaeology, Encyclopedia of Earth Sciences Series / eds. A. S. Gilbert, P. Goldberg, V. T. Holliday, R. D. Mandel, R. S. Sternberg. Dordrecht, 2017. S. 499–514.

Faßbinder et al. 2015

Faßbinder J., Hofmann I., Mühl S. Über den Zaun : Archäologisch-geophysikalische Prospektion am Rande des Zagrosgebirges in Kurdistan // Denkmalpflege Informationen. 2015. Bd. 160, März. S. 71–73.

Frangipane 2013

Frangipane M. Societies Without Boundaries : Interpreting Late Neolithic Patterns of Wide Interaction and Sharing of Cultural Traits : The Case of the Halaf Communities // Interpreting the Late Neolithic of Upper Mesopotamia / eds. O. P. Nieuwenhuyse, R. Bernbeck, P. M. M. G. Akkermans, J. Rogasch. Turnhout ; Brepols, 2013. P. 89–99.

Hijjara 1997

Hijjara I. The Halaf Period in Northern Mesopotamia. Edubba 6. London, 1997.

Matoušková et al. 2015

Matoušková E., Pavelka K., Nováček K., Starková L. Documentation of Archaeological Sites in Northern Iraq Using Remote Sensing Methods // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2015. Vol. 90. P. 331–336.

Mühl 2010

Mühl S. Durchs wilde Kurdistan – Neue Forschungen in der Provinz Sulaimaniya, Irak // Agora. 2010. Vol. 1. P. 48–53.

Mühl, Faßbinder 2015

Mühl S., Faßbinder J. W. E. Archaeological Geophysics in the Shahrizor Plain (Iraqi Kurdistan) // Archaeologia Polona. 2015. Vol. 53. P. 481–485.

Mühl, Faßbinder 2016

Mühl S., Faßbinder J. Magnetic Investigations in the Shahrizor Plain : Revealing the Unseen in Survey Prospection // The Archaeology of the Kurdistan Region of Iraq and Adjacent Regions / eds. K. Kopanias, J. MacGinnis. Oxford, 2016. P. 229–236.

Mühl, Nieuwenhuyse 2016

Mühl S., Nieuwenhuyse O. Halaf and Ubaid Period Settlement: a View from the Central Zagros Piedmont // Trajectories of Complexity. Socio-Economic Dynamics in Upper Mesopotamia in the Neolithic and Chalcolithic Periods / ed. by M. Iamoni. Wiesbaden, 2016. P. 27–56.

Neubauer 2001

Neubauer W. Magnetische Prospektion in der Archäologie : Mitteilungen der Prähistorischen Kommission der Österreichischen Akademie der Wissenschaften 44. Wien, 2001.

Nieuwenhuyse et al. 2016

Nieuwenhuyse O., Odaka T., Mühl S. Halaf Settlement in the Iraqi Kurdistan : the Shahrizor Survey Project // The Archaeology of the Kurdistan Region of Iraq and Adjacent Regions / eds. K. Kopanias, J. MacGinnis. Oxford, 2016. P. 257–266.

Nishimura 2014

Nishimura Y. North Mesopotamian Urban Neighborhoods at Titriş Höyük in the Third Millennium BC // Making Ancient Cities : Space and Place in Early Urban Societies / eds. A. T. Creekmore, K. D. Fisher. Cambridge, 2014. P. 74–110.

Scollar et al. 1990

Scollar I., Tabbagh A., Hesse A., Herzog I. Archaeological Prospecting and Remote Sensing : Topics in Remote Sensing 2. Cambridge, 1990.

Wilkinson 2003

Wilkinson T. J. Archaeological Landscapes of the Near East. Tucson, 2003.

Peter Sheehan
Abu Dhabi Culture and Tourism, United Arab Emirates

Dmitry Karelin, Maria Karelina, Tatiana Zhitpeleva
Moscow Institute of Architecture (State Academy), Russian Federation

RECONSTRUCTION OF THE DIOCLETIANIC FORTRESS IN BABYLON OF EGYPT: SOURCES AND RECONSTRUCTION ARGUMENTATION

Introduction

The paper is dedicated to the virtual reconstruction of the Late Roman fortress of Babylon, located in the district now known as Old Cairo. The aim of the reconstruction is to show the architectural and constructional peculiarities of the best-preserved parts – the southern gatehouse and the round towers flanking the Amnis Trajanus.

The history of the fortress research

The fortress is mentioned in the *Déscription de l'Égypte* (DÉ.T.5. Pl. 20) and has been explored and recorded since the end of the 19th century. From the 1990s onwards archaeological investigations have accompanied conservation work and the lowering of the groundwater level in the area, and the results of this work and explanation of its importance for the origins of the city of Cairo have been published (Grossmann et al. 1994; Lambert 1994; Sheehan 1996; Grossmann et al. 1998; Sheehan 2010; Sheehan, Gascoigne forthcoming).

The fortress description

The fortress is situated in the southern part of modern Cairo. The earliest mention of a Roman fortification at Babylon can be found in the works of Strabo, who visited Egypt in 25–24 BC. According to him, Babylon was the location of a military camp (Strabo. The Geography. XVII.1.30), and one of the three legions in Egypt at that time was quartered there. During the reign of the Emperor Trajan, the entrance to the ancient canal linking the Nile to the Red Sea was shifted to Babylon and a stone harbour with massive embankments constructed there (Sheehan 2010, 35–53). Under Diocletian this entrance to the canal from the Nile was enclosed within a massive fortress (Sheehan 1996, 95; Sheehan 2010, 55–75).

Babylon was situated at the junction of important routes by both water and land, i.e. the Nile, the Red Sea Canal (Sheehan 2010, 35–53), as well as important routes running north-south along the east bank of the Nile and crossing the river east-west via the island of Roda (Sheehan 2010, 65–66). Babylon thus stood on the routes from the Nile Valley and Sinai Peninsula to Alexandria – the port through which no less than one third of its grain supply was exported to Rome.

Just as in Luxor (El-Saghir et al. 1986) and Nag el-Hagar (Wareth, Zignani 1992), U-shaped towers at Babylon were set along the walls, and the corner towers were square (fig. 1). However Babylon's fortifications were much more substantial – around 12 m high and 4 m thick (Sheehan 2010, 72, fig. 36), against around 5 meters in Luxor and Nag el-Hagar, and were made of stone and burned bricks in *opus mixtum*, while in Luxor they were made of mud bricks. This ruggedness seems unique for Roman fortifications in Egypt (Karelin et al. forthcoming). The fortifications of Babylon (and apparently those of the contemporary fortress of Nikopolis in Alexandria, now no longer extant) were huge due to

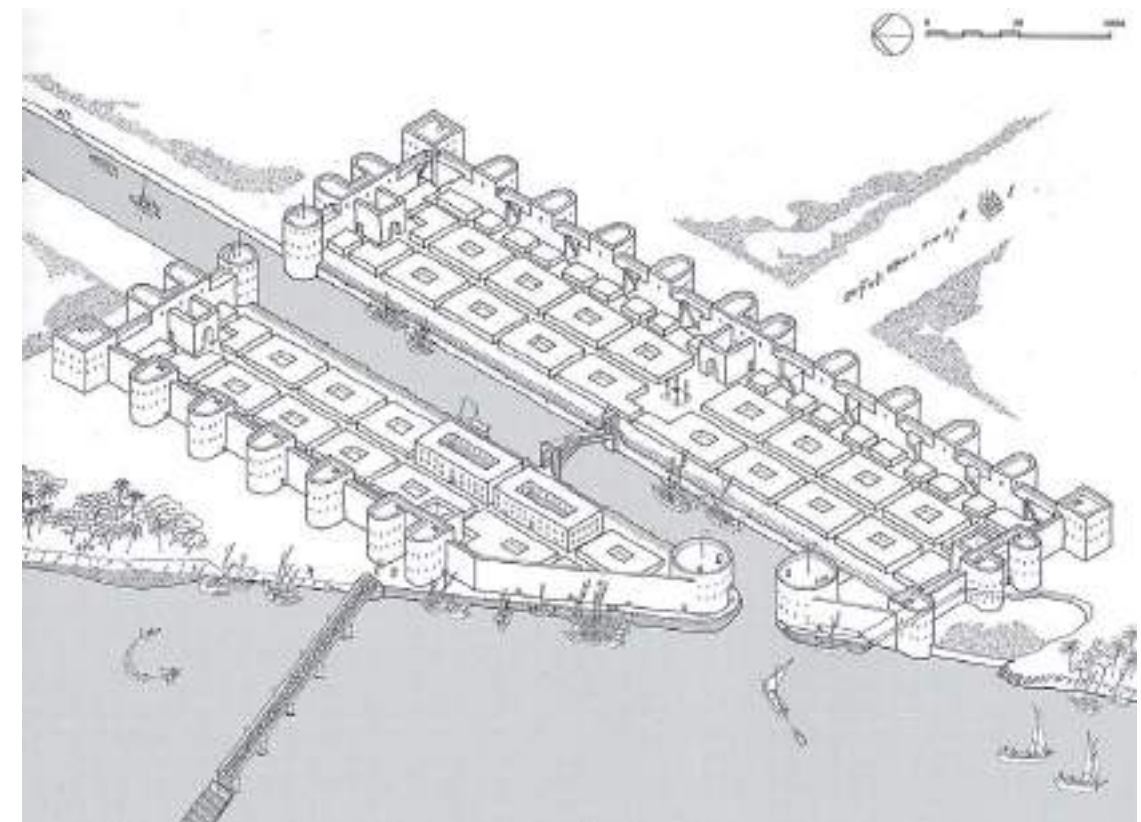


Fig. 1.
Axonometric reconstruction of the Roman Fortress of Babylon and the entrance to the Amnis Trajanus ca. AD 300. Drawn by Nicholas Warner

its strategic location guarding the approaches to Egypt and Alexandria from the East, and were therefore intended to resist an enemy, such as the Sasanian or Palmyrene empires, that was skilled in siege warfare. The other fortresses for the field army didn't need to be so massive because they acted more as bases against local lightly armed raiders and were not intended for long sieges (Lander 1984, 258; Gregory 1995, 150).

The fortress of Babylon was laid out in two parallel enclosures on either side of the canal. In the centre of the southern wall of the eastern enclosure there is a well-preserved gatehouse (fig. 2), above which the Coptic "Hanging Church" (*Al-Mu'allafa*) was later constructed. The southern half of another gate set in the centre of the eastern wall of the fortress also survives above ground (Sheehan 1994, 14–16).

The southern gate led to a street that stretched through the eastern enclosure of the fortress to a corresponding gate in the northern wall. Another similar street would have run through the centre of the western enclosure, and the major internal roads of the fortress were completed by another leading from the preserved gate in the centre of the eastern wall to another in the western wall guarding the head of a bridge across the Nile. The southwestern wall of the fortress follows the line of the earlier Trajanic riverside wall running at an angle of about 30 degrees to the rectangle of the rest of the fortress enclosure. In this southwestern wall there are two round towers (fig. 3), flanking the junction of the Nile and the canal, one of them that is now within and below the Greek Orthodox Church of St George (*Mari Girgis*). Although they are unique structures (the fact that led earlier researchers (Toy 1937) to the conclusion they were of Byzantine origin), the towers were



Fig. 2.
Southern gate of Babylon fortress. 2008. Photo: D. Karelin



Fig. 3.
View of the southern round tower probably taken in the 1930s

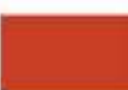
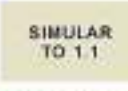
erected at the turn of the 3rd century, and are identical in construction to the other parts of the fortress (Grossmann et al. 1994, 272). It is possible that where the canal passed through the northern wall of the fortress, there used to be similar round towers (Sheehan 2010, 67–70, fig. 26, 27, 31–33).

The reconstruction sources

All the sources used for the reconstruction can be divided into several groups, in order of decreasing reliability (tab. 1). The reconstruction is provided with a visual scheme showing the connection between some details of the construction and the sources on which we based our view (fig. 5, 7).

Table 1

Sources used for the reconstruction of the fortress of Babylon

1.1		The surviving elements of the fortress with known dimensions, and up-to-date photo documentation (the part of the towers and the gatehouse above ground)
1.2		The surviving elements of the fortress discovered in the course of archaeological research (the foundations and the lower floors)
2		The architectural and constructional details recreated on the basis of the surviving elements of other parts of the fortress (the arrow-slits etc.)
3		Surviving <i>ex situ</i> architectural elements (the capitals and the cornice)
4		The architectural and constructional details recreated on the basis of similar elements from other Roman fortresses (parapets)
5		Drawings by the Comité de Conservation des Monuments de l'Art Arabe
6		Photographs dated to the end of the 19 th – the beginning of the 20 th centuries (the archive of the Comité de Conservation des Monuments de l'Art Arabe)
7		The engraving from <i>Description de l'Égypte</i> (DÉ) и other historic images
8		The logic of construction

The parts of the reconstruction recreated with the help of sources of groups 1.1 and 5 broadly coincide, as it was the drawings by the Comité de Conservation des Monuments de l'Art Arabe that were used as the basis for subsequent restorations of the surviving towers and gatehouse.

Unfortunately, earlier depictions of the fortress, for example, engravings (prints) from the *Description de l'Égypte* (DÉ. T. 5. Pl. 20), were not of much help, except for the version of

the reconstruction (based on the depiction in the *DÉ* of a small symmetrical arcade above the portal of the southern gate) showing that in the 6th – 7th centuries the gate might have had a fourth level similar to the Aurelian Walls under Narses (Karelin et al. forthcoming).

Architectural peculiarities of the fortress

It is necessary to discuss the sources used for the reconstruction of some particular architectural elements of the fortress in a more detailed way. First, let us consider the configuration of the arrow-slits. The southern round tower has several surviving openings. The eastern tower of the southern gatehouse has four openings of different sizes. The lowest opening and the second from the top are relatively small, while the topmost and the second from the bottom are much larger. We can suppose that the latter were arrow-slits and that the smaller openings served for lighting and ventilation. The suggestion regarding the function of the windows of the lower level as being only for lighting was proposed by Peter Grossmann (Grossmann et al. 1994, 281). Examples of windows set very high above the floor of a tower, which have no traces of a wooden floor set into the wall, are known both in Greek (Lawrence 1979, 218) and in early Byzantine architecture (Lawrence 1983, 182).

Unlike the arrow-slits commonly used in the Roman Empire in the 3rd – 5th centuries AD (as an example we can take one of the arrow-slits of the second floor of the *Porta Ostiensis*, as well as surviving analogies in the Near East (Gregory 1995, 154)), these openings had practically no narrowing. This conclusion is based on the fact that the size of the surviving openings in the inner wall of one of the U-shaped towers in the eastern wall of Babylon (Grossmann et al. 1994, 274, fig. 4; Spence et al. 1994, Pl. 1.3; Sheehan 1994, Pl. I. 3) coincides with the size of the exterior openings in the towers of the southern gate. Whereas in the *Porta Ostiensis* example we might suggest that it was a later reconstruction, in the fortress of Babylon a soldier, while shooting, could be protected by a stone or wooden screen with a slit.

The next point concerns the parapets. Unfortunately, we could find only one clearly surviving parapet of Roman times in Egypt – in the fortress of *Maximianon* (Cuvigny 2003, 240–241, fig. 77), which dates back to the beginning of the 1st – mid-3rd centuries AD. The wall to the east of Ben Ezra Synagogue at Babylon also preserves a section of the rampart walk with parapet and one partially surviving merlon (Spence et al. 1994, Pl. 1.5; Sheehan 1994, fig. I.10). We can suppose how these parapets looked, judging by examples from other parts of the Roman Empire, which have been widely studied (Baatz 1983, 136–137). The surviving Late Roman examples of parapets show that their height was usually about 1 m, the height of the merlons was also 1 m. The merlons were no less than 1 m wide and the embrasures between them could be of different sizes (Karelin et al. forthcoming).

Southern gate

The reconstructed southern gatehouse of the fortress (fig. 4, 5) had a number of important features, like the posterns in the towers or the walls. Apart from Babylon, Luxor and Nag el-Hagar, posterns were also found in El-Kab (Grossmann 2003). The fortress of Babylon also had *portcullises*. Traces of these devices are quite often discovered in Late Roman fortifications, but in Egypt they are very rare. However it is clear that *portcullises* fortified the southern gate of Babylon. In the first gate the inner reveal of the jamb of the arched doorway displays a groove for a portcullis that is marked on the plan of the fortress of the Comité de Conservation des Monuments de l'Art Arabe drawn by Max Herz in 1902 (Sheehan 2010, 129, fig. 69). There was also a fortified courtyard beyond the first passage of the southern gate. This was a widespread technique in Roman military architecture. The

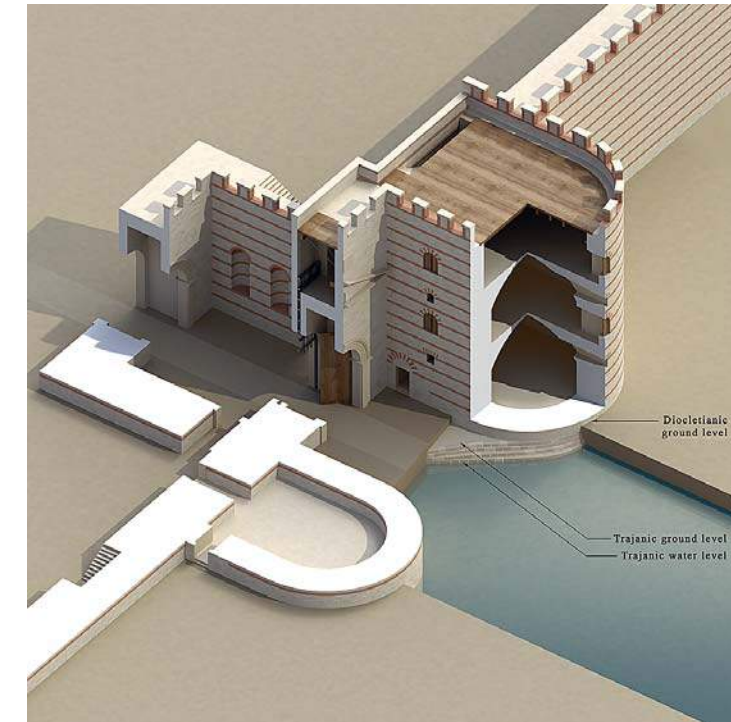


Fig. 4.
Reconstruction of the southern gate of the fortress of Babylon. Axonometric view.
Image: D. Karelin

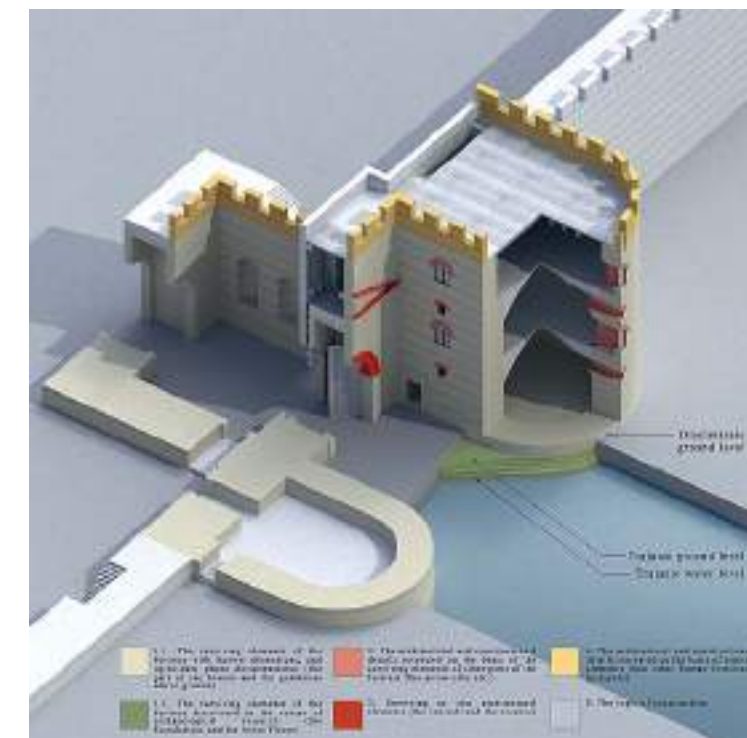


Fig. 5.
Reconstruction of the southern gate of the fortress of Babylon.
Axonometric view 3D-modelling reconstructive conjecture uncertainty map.
Image: D. Karelin

most well-known examples are the *Porta Ostiensis* and *Porta Appia* in Rome. In Egypt similar courtyards were found in Babylon, Luxor, El-Kab, *Dionisias* and probably *Pelusium*. The gate has a relieving arch between the archivolt and the pediment. There is also evidence at Babylon for a fortified locking-bar for the southern gate (Grossmann et al. 1994, 282); traces of similar locking-bars were found in the fort for *auxilia* in El-Deir (Brones, Duvette 2007. Pl. 12.6).

Some scholars single out the special Alexandrian school (McKenzie 2007, 80–118) for its distinctive architectural features and decorative elements. The Corinthian and Ionic orders in the monuments built in the Alexandrian style also had a special type of cornice provided with distinctive narrow flat-grooved modillions alternating with square hollow modillions. It differed from more ornate cornices of the Roman Corinthian and Ionic orders. At the beginning of the Roman rule this style was the most popular one in Egypt. The portal of the southern gate at Babylon was also framed with an archivolt resting on pilasters, and above the gate was a pediment decorated with a typical Alexandrian cornice.

Round towers

It is difficult to find analogies in Roman military architecture of the 3rd – 4th centuries for the two reconstructed towers (fig. 6, 7), flanking the entrance to the Red Sea Canal that ran through the fortress. We can suggest therefore they were quite unique for their time. There was a small atrium in the centre of each tower, framed by a circular arched colonnade. Two capitals of the columns survived and were found during previous excavations in the tower, as well as some fragments of the cornice that probably surmounted the arcades. This cornice is very much like the one that topped the pediment of the southern gatehouse. On the inner walls of the southern tower today, as well as on old photographs and technical



Fig. 6.

Reconstruction of the round towers of the fortress of Babylon. Axonometric view.
Image: D. Karelin

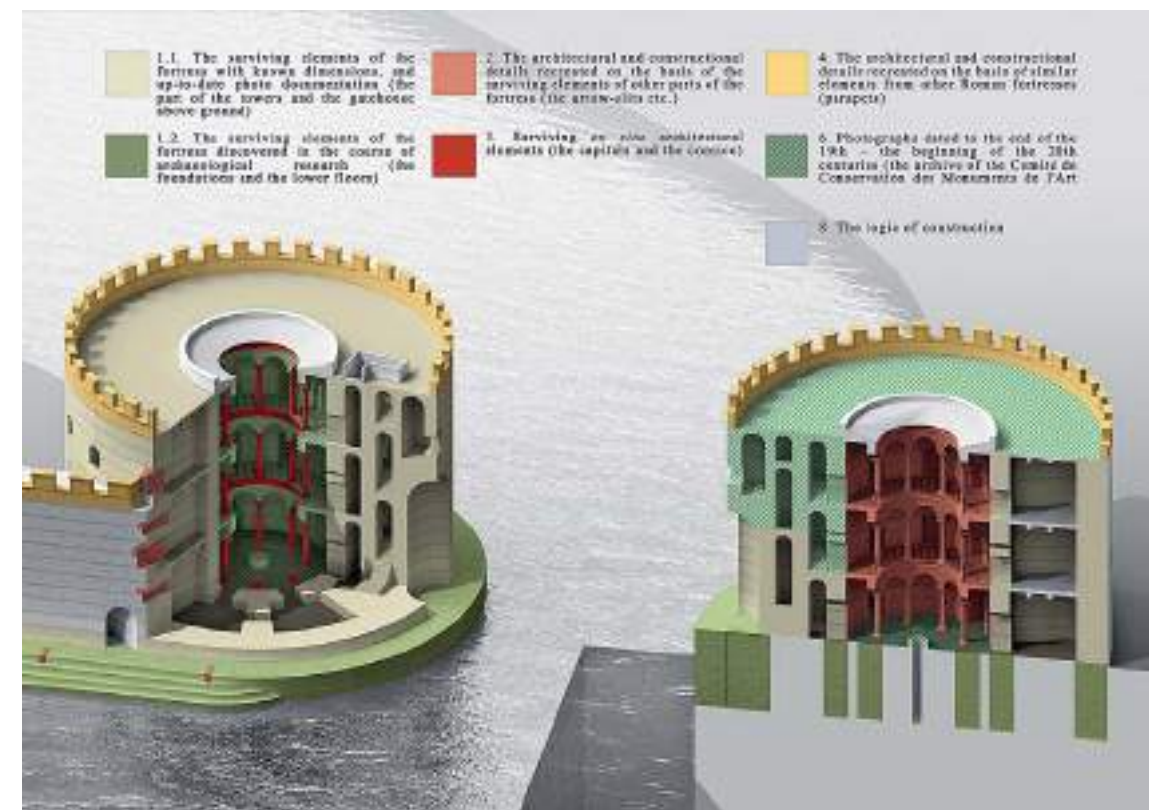


Fig. 7.

Reconstruction of the round towers of the fortress of Babylon. Axonometric view
3D-modelling reconstructive conjecture uncertainty map. Image: D. Karelin

drawings from the archive of the Comité, we can see the slots used for fixing beams, which suggests the tower was provided with wooden floors. In the outer façades of the towers facing each other across the canal there were also semi-circular alcoves where statues of Emperors or honorific columns may have stood. It seems unlikely that a metal chain blocked the entrance of the canal, as the only known analogy – the chain in the Golden Horn Bay – was placed there much later and it had to protect the huge bay of the capital of the Byzantine Empire from enemy fleet. However there may have been some sort of lock between the towers to retain the water level in the canal which was filled during the time of the Nile Flood.

Conclusion

The present reconstruction shows how the two best-preserved parts of the fortress – the round towers and the southern gatehouse – may have looked. It also shows that the importance and strategic location of the fortress made its architecture unique for Roman Egypt, a fact that is illustrated by the very solid fortifications and the unique round towers, parts of which have survived largely intact for more than 1,700 years. The reconstruction is not finished yet, and we intend to continue working in two directions. Firstly, we have to figure out some complicated details, such as, for example, the material from which the floors in the towers of the southern gatehouse were built, the contents of the semi-circular niches of the round towers, the structure and constructional peculiarities of the walls etc. Secondly, we plan to reconstruct the views of the fortress from the Nile and also to recreate the interior design of the monument, as far as the information we have allows us.

Acknowledgement

Part of this article was prepared by D. Karelina and M. Karelina within a project supported by RFH No. 15-04-00349 "From a maquette to a virtual model. Scientific reconstruction in architectural history considering the newest technologies (on the example of 'classical' architectural monuments)". The authors acknowledge their debt to the earlier axonometric views of the fortress produced by Nicholas Warner and George Dawes and published in Sheehan 2010 (Sheehan 2010, fig. 27).

REFERENCES

Baatz 1983

Baatz D. Town walk and defensive weapons // Roman urban defences in the west / ed. by J. Maloney, B. Hobley. London, 1983. P. 136–140.

Brones, Duvette 2007

Brones S., Duvette C. Le fort d'El-Deir, oasis de Kharga : "Etat des lieux" architectural et archéologique // Bulletin de l'Institut Français d'Archéologie Orientale. 2007. T. 107. P. 5–41.

Cuvigny 2003

Cuvigny H. La route de Myos Hormos : L'armée romaine dans le désert Oriental d'Égypte. Le Caire, 2003. Vol. 1.

DÉ

Description de l'Égypte. Paris, 1809–1828. (CD: Les grandes expéditions scientifiques du 19-é siècle. Collection dirigée par Jean-Yves Empereur ; vol. 1).

Gregory 1995

Gregory S. Roman Military Architecture on the Eastern Frontier. Amsterdam, 1995–1997.

Grossmann 2003

Grossmann P. Zu dem angeblichen befestigten Kloster über der Südmauer von al-Kāb // Bulletin de la Société Archéologique d'Alexandria. 2003. T. 47. P. 113–125.

Grossmann et al. 1994

Grossmann P., Le Quesne C., Sheehan P. Zur römischen Festung von Babylon – Alt-Kairo // Archäologischer Anzeiger. 1994. Bd. 2. S. 271–287.

Grossmann et al. 1998

Grossmann P., Jones M., Noeske H.-C. et al. Zweiter Bericht über die britisch-deutschen Grabungen in der römischen Festung von Babylon – Alt-Kairo // Archäologischer Anzeiger. 1998. Bd.1. S. 173–207.

Karelina et al. forthcoming

Karelina D., Zhitpeleva T., Karelina M. Some Problems and Peculiarities of the 3D-Reconstructions of Late Roman Forts in Egypt // Limes XXIII : Proceedings of the XXIIIth International Congress of Roman Frontier Studies held in Ingolstadt, Bavaria (September 2015). *Forthcoming*.

Lambert 1994

Lambert P. Fortifications and the Synagogue : The Fortress of Babylon and the Ben Ezra Synagogue. Cairo ; London, 1994.

Lander 1984

Lander J. Roman Stone Fortifications : Variations and Change from the First Century AD to the Fourth. Oxford, 1984. (British Archaeological Reports, International Series 206).

Lawrence 1979

Lawrence A. W. Greek Aims in Fortification. Oxford, 1979.

Lawrence 1983

Lawrence A. W. A Skeletal History of Byzantine Fortification // The Annual of the British School at Athens. 1983. Vol. 78. P. 171–227.

McKenzie 2007

McKenzie J. S. The Architecture of Alexandria and Egypt 300 B.C. – A.D. 700. New Heaven ; London, 2007.

El-Saghir et al. 1986

El-Saghir M., Golvin J.-C., Reddé M. Le camp romain de Louqsor (MIFAO 83). Le Caire, 1986.

Sheehan 1994

Sheehan P. The Roman fortifications // Fortifications and the Synagogue. The Fortress of Babylon and the Ben Ezra Synagogue / ed. by P. Lambert. Cairo ; London, 1994. P. 49–63.

Sheehan 1996

Sheehan P. The Roman Fortress of Babylon in Old Cairo // Journal of Roman Archaeology. Supplementary Series Number 19: Archaeological Research in Roman Egypt. 1996. P. 95–97.

Sheehan 2010

Sheehan P. Babylon of Egypt : The Archaeology of Old Cairo and the Origins of the City. Cairo, 2010. (American Research Center in Egypt Conservation Series 4).

Sheehan, Gascoigne forthcoming

Sheehan P., Gascoigne A. Babylon/Qaṣr al-Sham: Continuity and Change at the Heart of the New Metropolis of Fuṣṭāṭ // Incorporating Egypt from Constantinople to Baghdad / eds. J. Brunning, J. de Jong, S. Denoix, P. Sijpesteijn. *Forthcoming*.

Spence et al. 1994

Spence K., Sheehan P., Le Quesne Ch. Archaeology Survey Drawings of the Fortress of Babylon // Fortifications and the Synagogue : The Fortress of Babylon and the Ben Ezra Synagogue / ed. by P. Lambert. Cairo ; London, 1994. P. 40–47.

Toy 1937

Toy S. Babylon of Egypt // Journal of the British Archaeological Association. 1937. Vol. 1, 3rd ser. P. 52.

Wareth, Zignani 1992

Wareth U., Zignani P. Nag al-Hagar : A Fortress with a Palace of the Late Roman Empire // Bulletin de l'Institut Français d'Archéologie Orientale. 1992. Vol. 92. P. 185–210.

BLENDER КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Принято считать, что памятники материальной культуры изучает археология, а историки довольствуются изучением письменных источников. Это не выдерживает никакой критики. Совершенно очевидно, что люди живут в едином неразделённом мире, и материальная культура играет такую же важную роль, как и символическое представление окружающего мира. Человеческие поселения являются сценой, на которой разыгрывается драма истории. Эти «подмостки» столь же важны для понимания «пьесы», как и внешний вид, и монологи актёров, и сам характер действия. Очень часто в истории «обустройство сцены» является столь же важным, как и другие политические действия. Вспомним, например, историю строительства Санкт-Петербурга в контексте всего хода петровских реформ. Очевидно, что это далеко не изолированный пример, а, скорее, подтверждение общего правила.

Историк, решающий ту или иную историческую задачу, находится в отличной ситуации, если сцена, на которой разворачивались исторические события, хорошо сохранилась, и мы можем увидеть её как бы «глазами современника». Например, городское пространство, где разыгрывались события столетней давности, во многом сохранилось в изначальном виде. Утрачены только социальность и смыслы, которые привели к соответствующему оформлению этого пространства именно в том виде, в каком оно существует сейчас. К тому же это пространство может быть введено глазами разных специалистов: урбанистов, социологов, искусствоведов, архитекторов. Конечно, один и тот же дворец по-разному предстаёт в глазах архитектора, социолога, специалиста по планированию, инженера, садовника, реставратора. Однако пока он существует как материальный объект, у нас есть возможность интегрировать все эти точки зрения или сделать осознанный выбор, поставить акцент на том или ином аспекте проблемы.

Гораздо хуже обстоит дело, если фрагмент исторической сцены оказывается утраченным. Тем самым историк-исследователь лишается точки референции, к которой он мог бы приводить различные взгляды других специалистов. В такой ситуации он вынужден следовать предрассудкам, искажениям, которые присутствуют в каждой профессии. Имея дело с определёнными фрагментами утраченного исторического памятника, скажем архитектуры, каждый видит его в силу специфики своих источников. Историк видит только то, что нашло отражение в письменных источниках. Архитектор видит только то, что определяется аналогами или конструктивными особенностями здания. Археолог, соответственно, видит только то, что сохранилось в качестве археологических находок. И только так, как оно сохранилось или представлено в аналогах. Хорошо, когда представители разных исследовательских направлений могут объединить свои усилия и обсудить в живом диалоге те сведения, которыми они располагают. К сожалению, междисциплинарные границы в современном мире таковы, что такие диалоги фактически не имеют площадки для возникновения. Редкая конференция или симпозиум объединяют представителей всех исследовательских направлений до реставраторов включительно. Современное положение дел предлагало историку

незавидную долю: полагаться на результаты, достигнутые другими специалистами, причём делать это фактически слепо.

Положение изменилось, когда в рамках современных технологий возникла возможность трёхмерной компьютерной реконструкции материальных объектов. Специалисты по компьютерному моделированию сформировали ещё одну группу исследователей, присоединившись к обсуждению проблем реконструкции исторических памятников и исторической застройки. Однако в силу того, что трёхмерная модель «воссоздаёт» утраченный памятник, специалисты по трёхмерному моделированию оказались теми людьми, которые заинтересованы в интеграции всех имеющихся точек зрения, для того чтобы лучше выполнить поставленную перед ними задачу.

Такой подход к комплексному исследованию сцены исторических событий приводит к тому, что формируется новая точка референции, которая позволяет историкам критически сводить материалы, полученные другими специалистами: археологами, архитекторами, инженерами, которые использовали письменные источники. В рамках подобного подхода становятся хорошо видны те ограничения, которые присутствуют в той или иной дисциплине. Таким образом, с помощью трёхмерного моделирования удаётся создать не только подпорку рациональному сознанию в виде наглядных образов, но и провести ревизию уже имеющегося в историографии знания, обобщить его в критическом ключе.

В этом отношении полезным инструментом является Blender, свободный профессиональный пакет программ для создания трёхмерной компьютерной графики, включающий средства моделирования, анимирования, рендеринга, постобработки и монтажа видео со звуком, а также создания интерактивных игр. В настоящее время Blender пользуется наибольшей популярностью среди бесплатных 3D-редакторов, он быстро развивается, чему способствует профессиональная команда разработчиков.

Blender был создан как рабочий инструмент голландской студией мультипликации NeoGeo 2 января 1994 года. В июне 1998 года автор программы Тон Розендааль (Ton Roosendaal) основал компанию Not a Number (NaN) с целью дальнейшего развития и сопровождения Blender. Программа распространялась по лицензии shareware.

В 2002 году компания NaN обанкротилась. Усилиями Тона Розендаля кредиторы согласились на изменение лицензии распространения Blender в пользу GNU GPL с условием единовременной выплаты ста тысяч евро. 18 июля 2002 года начался сбор пожертвований, необходимая сумма была собрана 7 сентября 2002 года, процесс занял меньше двух месяцев. 13 октября 2002 года компания Blender Foundation представила лицензированный под GNU GPL продукт.

В настоящее время Blender является проектом с открытым исходным кодом и развивается при активной поддержке Blender Foundation. Blender написан на языках C, C++ и Python, последний он использует как API. Blender является кроссплатформенным решением и поддерживает операционные системы Linux, Windows, macOS, Solaris, BSD и OpenBSD. Интерфейс Blender переведён на несколько языков, включая русский. Последняя версия Blender имеет номер 2.79 и вышла 12 сентября 2017 года. Blender поддерживает следующие форматы файлов: .blend, Obj, COLLADA, Alembic, 3DS, FBX, Biovision Hierarchy, PLY, X3D и STL. Blender распространяется по лицензиям GNU GPL 2 и GNU GPL 3. Программа имеет свой сайт: <http://blender.org>. Кроме того, существует развитая сеть национальных форумов, специальных групп в социальных сетях, видеоканалов. Blender предъявляет серьёзные требования к оборудованию пользователя. Минимальные системные требования: центральный процессор 32 бита, 2 ГГц двухъядерный процессор с SSE2; рекомендуемые требования – 64-битный восьмиядерный процессор; минимальный объём RAM 2 ГБ, рекомендуемый – 16 ГБ. Минимально для

работы Blender нужна графическая карта с поддержкой OpenGL 2,1 с 512 МБ ОЗУ (рекомендуемая графическая карта с поддержкой OpenGL 3,2 с 4 ГБ ОЗУ); монитор с поддержкой разрешения 1280 × 1024 и 24-битным цветом (рекомендуемые – два Full HD монитора с поддержкой разрешения 1920 × 1080 и 24-битным цветом). Особенностью Blender является небольшой размер программы по сравнению с другими популярными пакетами для 3D-моделирования.

Кроме поддержки разнообразных геометрических примитивов, включая полигональные, системы быстрого моделирования в режиме подразделения полигонов (SubSurf), кривых Безье, поверхностей NURBS, метасфер, Blender имеет функцию скульптурного моделирования, встроенные механизмы рендеринга и интеграции с внешними рендерами YafRay, LuxRender и др. Blender имеет мощные инструменты анимации, среди которых инверсная кинематика, скелетная анимация и сеточная деформация, анимация по ключевым кадрам, нелинейная анимация, редактирование весовых коэффициентов вершин. Blender имеет физический движок, который позволяет анимировать трёхмерные объекты как реально взаимодействующие физические тела и который включает ограничители, динамику мягких тел (в том числе определение коллизий объектов при взаимодействии), динамику твёрдых тел и систему частиц (включая имитацию волос и шерсти). Язык Python используется как средство создания инструментов и прототипов, системы логики в играх, как средство автоматизации задач, о чём мы уже упоминали выше. Blender поддерживает базовые функции нелинейного редактирования и комбинирования видео (монтажа). Blender Game Engine – подпроект Blender, предоставляющий интерактивные функции.

Blender считается сложной для изучения программой (Blender 2018; Прахов 2009; Прахов 2016).

Однако практически каждая функция имеет соответствующее ей сочетание клавиш, и учитывая количество возможностей, которые предоставляет Blender, каждая клавиша включена в более чем одно сочетание. В Blender были добавлены полные контекстные меню ко всем функциям, а использование инструментов стало более логичным и гибким. Был улучшен пользовательский интерфейс с введением цветовых схем, прозрачных плавающих элементов, новой системы просмотра дерева объектов и другими мелкими изменениями. В Blender имеются два основных режима редактирования: объектный (Object mode) и режим редактирования (Edit mode), которые переключаются клавишей Tab. Объектный режим в основном используется для манипуляций с объектами, в то время как режим редактирования – для манипуляций с пространственными характеристиками объекта (добавление и удаление вершин, рёбер, полигонов). Полигональную модель в объектном режиме можно перемещать, изменять размер и вращать её целиком. В режиме редактирования можно перемещать (удалять, дополнять) для манипуляции отдельные вершины конкретного объекта. Также имеются режимы Vertex Paint, UV Face select и др. Графический интерфейс Blender состоит из одного или нескольких экранов, каждый может быть разделён на секции и подсекции, которые могут быть любой частью интерфейса. Графические элементы каждой секции (кнопки инструментов, пиктограммы, поля ввода, индикаторы) можно уменьшать и увеличивать тем же путём, что и при 3D-просмотре. Пользователь полностью контролирует расположение и организацию графического интерфейса, это делает возможным настройку интерфейса под конкретные задачи, такие как редактирование видео, UV mapping, текстурирование и сокрытие ненужных элементов интерфейса, для чего есть ряд готовых шаблонов вида рабочей области. Рабочее пространство Blender считается одним из самых новаторских концепций интерфейса для графических инструментов.

В программе Blender сущность, взаимодействующая с окружающим миром, и её данные (форма или функции объекта) разделяемы. Отношение «Объект – Данные» представляется отношением «один-ко-многим» (термин, относящийся к теории баз данных, обозначает возможность нескольких объектов использовать одни и те же данные, сюръекция). Внутренняя файловая система позволяет хранить несколько сцен в едином файле. Все файлы Blender совместимы как со старыми, так и с новыми версиями Blender. Также они переносимы с одной платформы на другую и могут использоваться как средство переноса созданных ранее работ. Blender создает резервные копии проектов во время всей работы программы, что позволяет сохранить данные при непредвиденных обстоятельствах. Все сцены, объекты, материалы, текстуры, звуки, изображения, эффекты постпродакшн могут быть сохранены в единый «.blend»-файл. Настройки рабочей среды могут быть сохранены в один файл, и при загрузке пользователь получает именно ту рабочую среду, которую сохранил в него. Файл можно сохранить как «пользовательский по умолчанию», и каждый раз при запуске Blender будет выдаваться необходимый набор объектов и подготовленный к работе интерфейс. Следует отметить весьма продвинутый механизм экспорта в разнообразные форматы, такие как obj, dxf, stl, 3ds и прочие (список постепенно растёт).

WebGL-фреймворк Blend4Web позволяет экспортировать подготовленные в Blender сцены для воспроизведения в стандартных браузерах, без необходимости установки каких-либо расширений.

К достоинствам программы Blender обычно относят бесплатность, открытый код, постоянное развитие, небольшой размер установщика, возможность создания игр, кроссплатформенность, большое количество модификаторов, возможность создания анимации, анимация с помощью «арматуры», настройка фона, монтаж видео, скиннинг, трекинг видео.

Недостатками Blender можно назвать отсутствие документации в базовой поставке, которую вполне можно заменить книгами и on-line видеокурсами. Эту и иную информацию в достаточно исчерпывающем объёме содержит сайт «Википедия».

Пакет программ Blender позволяет моделировать трёхмерные объекты любой сложности, что даёт возможность создавать различные модели исторических объектов, без ограничений по типу и форме (рис. 1). Ограничением являются только аппаратные возможности компьютера.

Перед историком могут стоять различные задачи. Если необходимо проиллюстрировать исследование, посвящённое интерьеру жилища, то исследуемый интерьер может быть воссоздан с помощью программы Blender с максимальной точностью (рис. 2). Ограничением является только время, которое исследователь может потратить на такого рода деятельность. Blender имеет очень мощный набор инструментов, например, карту нормалей (рис. 3), которая позволяет имитировать сложные детали, например резьбу, в том числе и прорезную. Тем самым экономится не только время исследователя, но и ресурсы, необходимые для обработки модели и создания финального результата (рендера).

Как и любая другая программа для трёхмерного моделирования, Blender позволяет создавать трёхмерные модели существующих исторических объектов по чертежам с точностью до миллиметра (рис. 4). Крупные объекты лучше создавать с применением масштаба уменьшения или увеличивать исходную сетку, которая в Blender по умолчанию имеет размер 10 × 10 условных единиц. Например, историк может воссоздать трёхмерную модель группы построек, используя опубликованные археологом планы раскопа с локализацией найденных остатков этих архитектурных сооружений или без них (рис. 5). Если для данной группы построек уже имеется созданная архитекторами

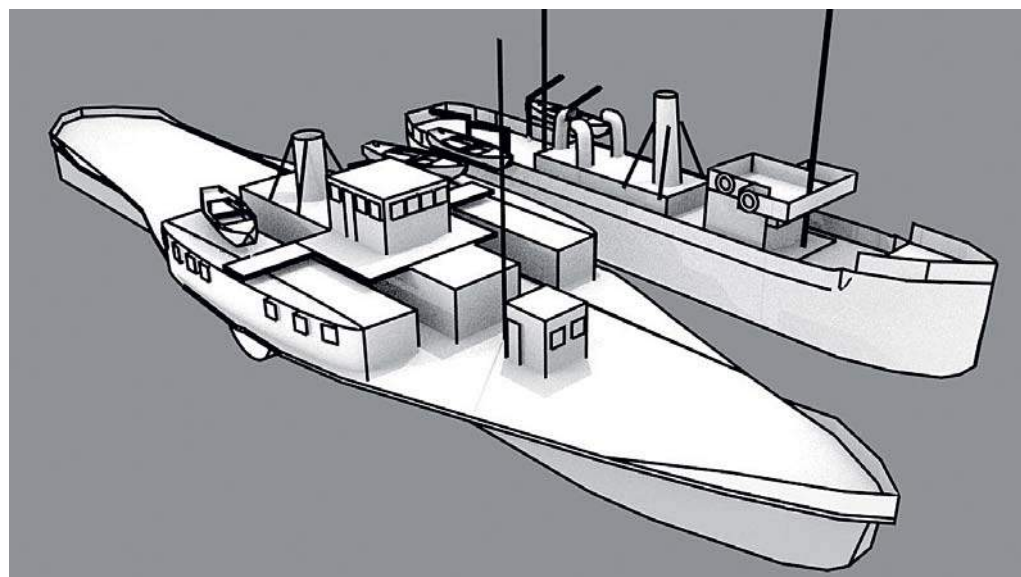


Рис. 1.
Трёхмерная модель материального объекта, созданная с помощью Blender.
Рисунок автора

по сохранившимся документальным описаниям архитектурная модель, то совмещение этой модели с археологическими данными будет, как говорится, «делом техники». Также легко историк может воссоздавать фрагменты застройки, если для них имеются более или менее точные описания. Как, например, известно для многих острогов XVII века, существуют «рописи» элементов, необходимых для их постройки. Зная диаметр бревна и число венцов, можно легко восстановить общую высоту постройки.

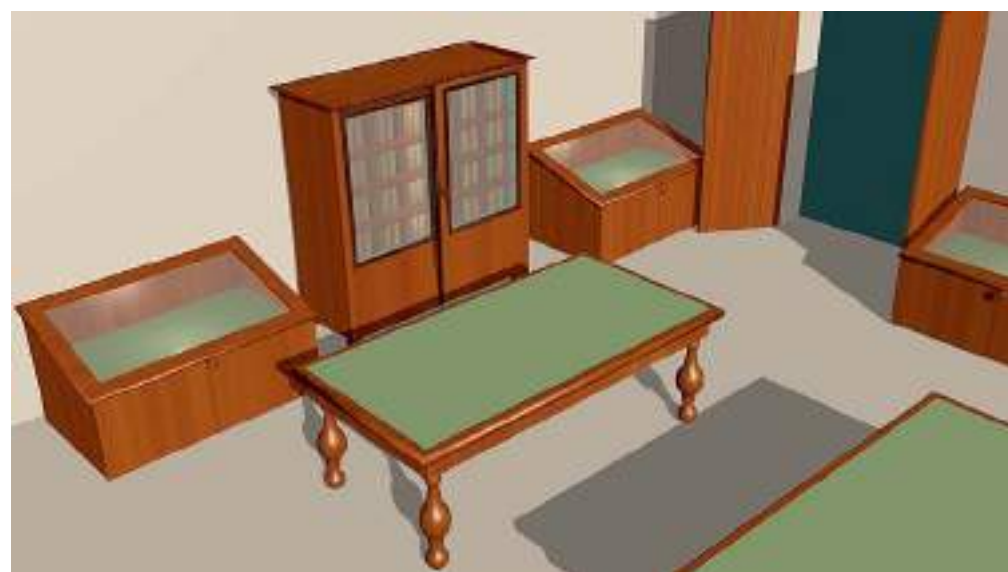


Рис. 2.
Реконструкция интерьера с помощью Blender.
Рисунок автора

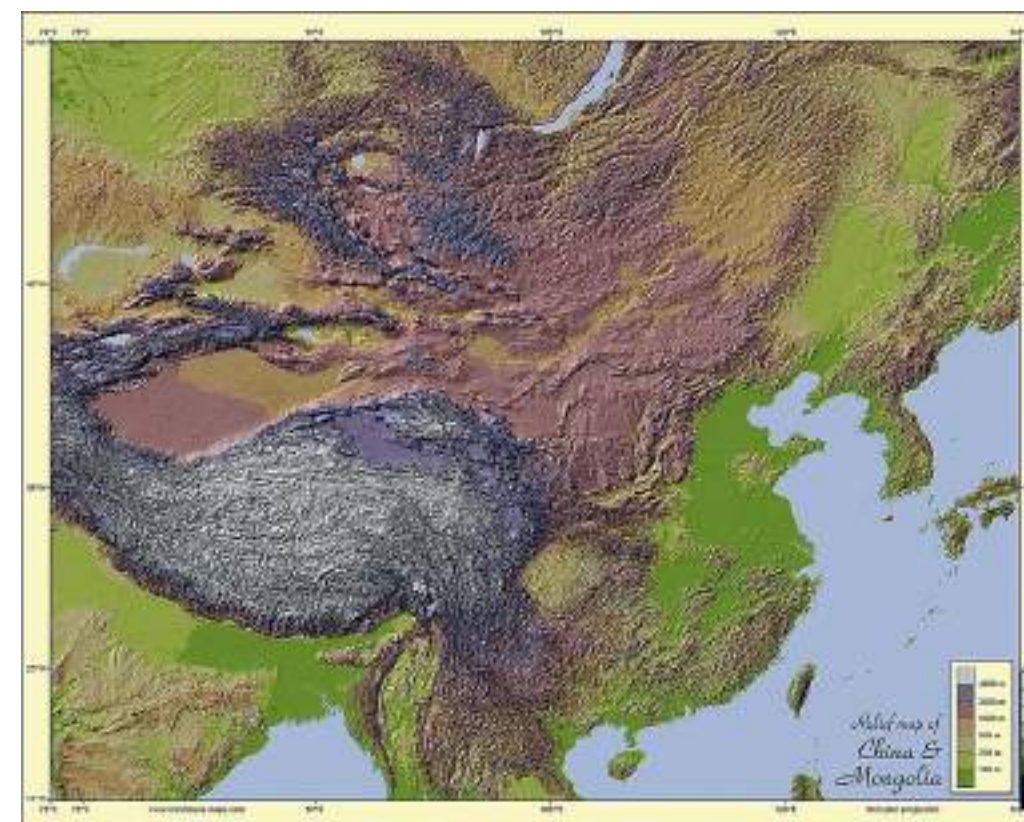


Рис. 3.
Эффект трёхмерной рельефной карты из одного плоского объекта в программе Blender.
Рисунок автора

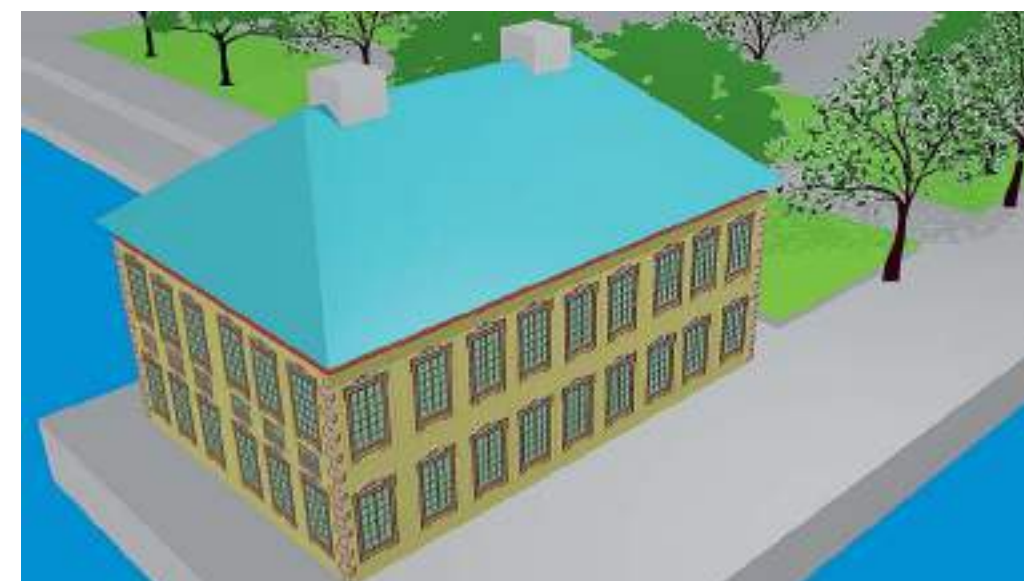


Рис. 4.
Реконструкция историко-культурного ландшафта с помощью Blender.
Низкополигональные модели на вид не отличимы от высокополигональных.
Рисунок автора

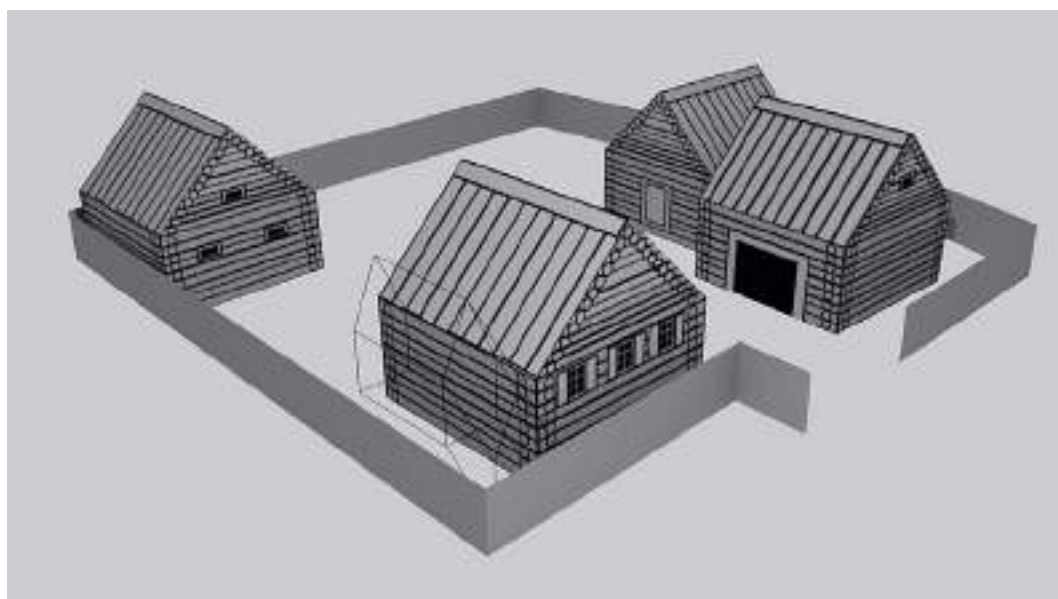


Рис. 5.

Реконструкция группы построек как высокополигональных, так и низкополигональных, но имитирующих высокополигональную модель. Рисунок автора

Определённые трудности возникают при моделировании групп построек. Если речь идёт о реконструкции русской усадьбы или хутора XVII века, то, видимо, оправданно использовать при данной реконструкции также и модели отдельных брёвен, из которых она возведена. Однако если исследователю нужна модель целого города, то соблюдение достоверности в воспроизведении каждого элемента кажется нам совершенно неоправданным (рис. 6, 7). Аргументом в пользу упрощения подобной



Рис. 6.

Метод низкополигональных моделей, визуально воспринимаемых как высокополигональные, позволяет создать модель целого поселения, содержащую десятки отдельных построек. Рисунок автора

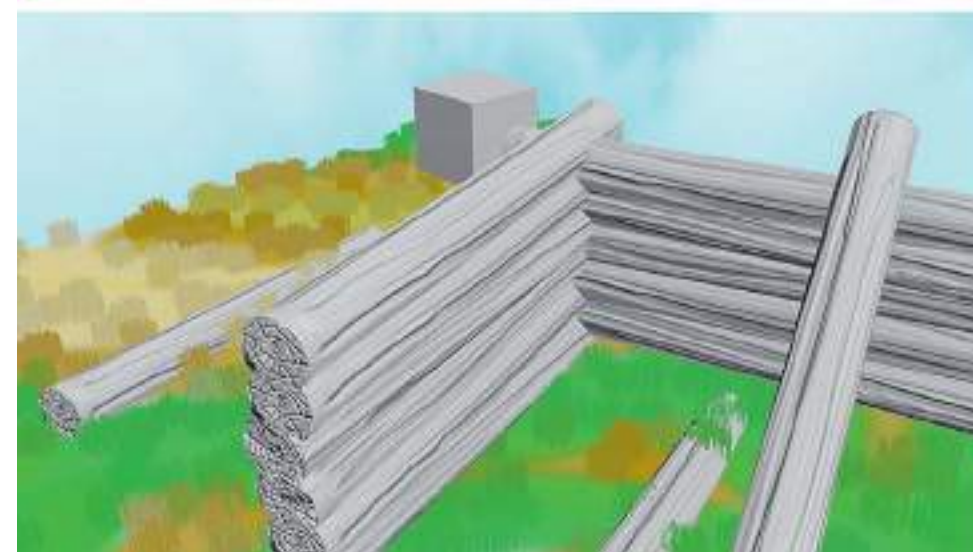
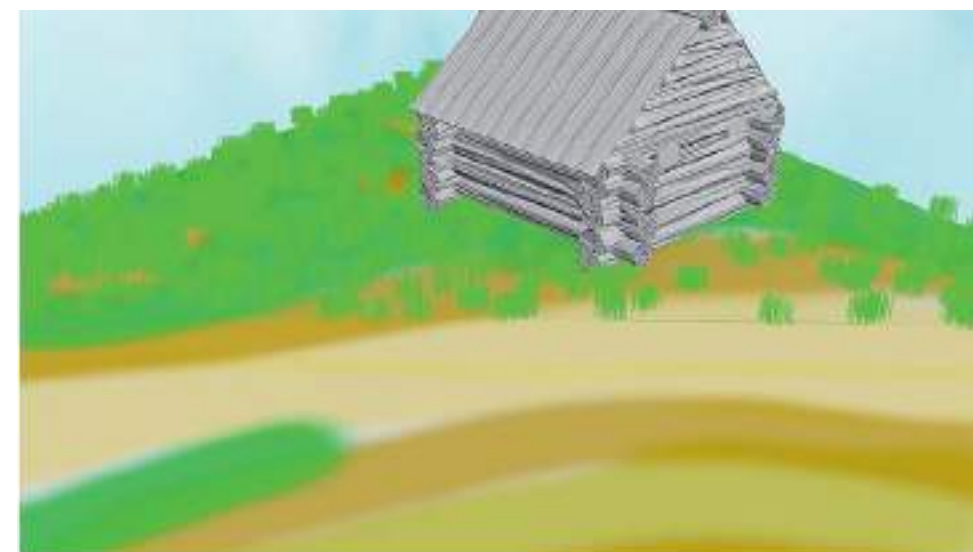


Рис. 7.

Карта нормалей придаёт брёвнам на изображении реалистичный вид, тогда как на уровне сеток это простые цилиндры с минимальным числом граней. Рисунок автора

модели может служить то, что большинство таких элементов не сохранилось и является результатом «художественной фантазии» автора подобной реконструкции. Надо отметить, с другой стороны, что современное развитие индустрии компьютерных игр позволяет создавать сколь угодно сложные реконструкции больших групп объектов, которые можно рассматривать с разных точек зрения. Однако для решения стоящих перед историком исследовательских задач такая практика представляется нам избыточной. И здесь подспорьем может оказаться предоставляемая программой Blender возможность имитировать сложные элементы зданий, включая текстуры стен (рис. 7–9). Иначе говоря, мы можем создать иллюзию бревенчатой избы, тогда как реальная модель будет иметь минимальное количество полигонов и приближаться по форме к кубу, увенчанному призмой.

Blender отлично взаимодействует с другими пакетами бесплатного программного обеспечения с открытым кодом (Inscaper, GIMP, LibreCAD). Это позволяет

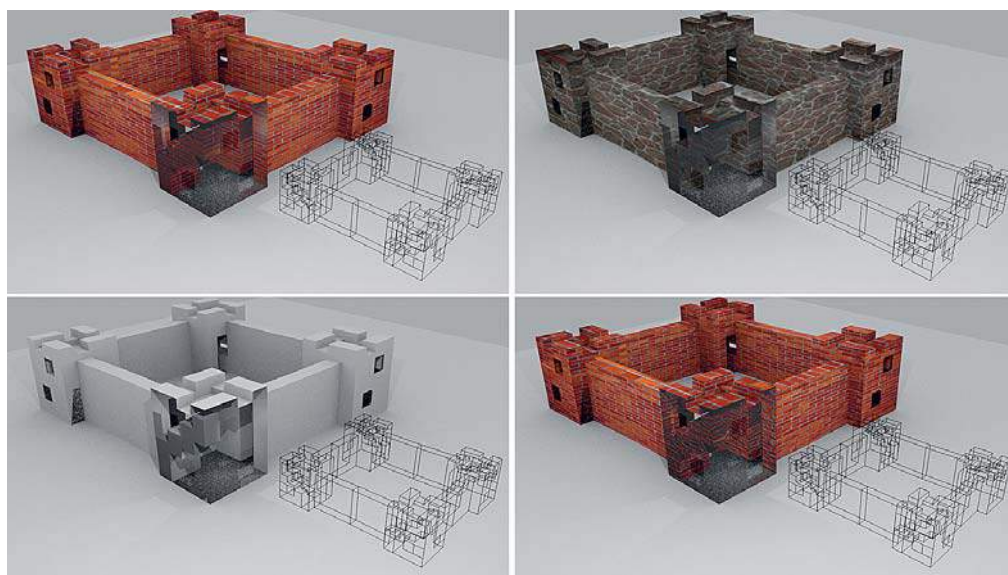


Рис. 8.

Метод быстрого текстурирования низкополигонных построек помогает проверить некоторые гипотезы относительно внешнего вида объекта или подобрать варианты.
Рисунок автора

реконструировать и другие сложные объекты, которые могут быть получены путём булевых операций над чертежами трёх проекций данных объектов. Применение этого метода позволяет достичь высокой точности и одновременно эффективности в использовании тех сил, средств и времени, которыми располагает современный историк (рис. 10). Кроме того, блендер включает в себя набор инструментов, облегчающий



Рис. 9.

Интересные результаты при текстурировании в Blender даже без применения специальных свойств рендера (например, трассировки лучей).
Рисунок автора



Рис. 10.

Трёхмерная модель человека, манипулирующего материальными объектами, созданная при помощи плагина в Blender.
Рисунок автора

моделирование сложных объектов, поскольку позволяет получить их из достаточно простых форм методами вращения, пропорционального увеличения числа полигонов и так далее.

Таким образом, в настоящее время историк располагает инструментом, который даёт ему возможность уже не идти слепо за результатами, полученными специалистами других профессий, но самостоятельно сравнивать их и пытаться выработать свою точку зрения на проблему реконструкции тех или иных исторических объектов. Это позволяет историку обратиться к таким вопросам, как социальный характер пространства, вариативность культурных практик в рамках одного гомогенного социума, изменение представлений о пространстве и образовании социального в ходе исторического развития. Эти проблемы обычно не интересуют специалистов других направлений, но решение их поможет лучше понимать исторические процессы, которые давно уже не представляются как результат «правильных» или «неправильных» поступков и действий отдельных лиц, но мыслятся как итог взаимодействия различных сил и течений, имеющих разную временную природу.

ЛИТЕРАТУРА

Blender 2018

Blender [Электронный ресурс] // Википедия. Свободная энциклопедия. 2018. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Blender> (дата обращения: 10.04.2018).

Прахов 2009

Прахов А. Blender : 3D-моделирование и анимация : Руководство для начинающих. СПб., 2009.

Прахов 2016

Прахов А. Самоучитель Blender 2.7. СПб., 2016.

Л. В. Татаурова

Омский филиал Института археологии и этнографии СО РАН, РФ

Л. В. Быков

Омский государственный аграрный университет, РФ

А. П. Фирсов, И. Н. Злыгостев, А. В. Савлук,

А. С. Колесов, А. С. Шеремет

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука
СО РАН, РФ

А. З. Светлейший

ООО «Рось-2015», РФ

АРХЕОЛОГИЯ, ГЕОДЕЗИЯ И ГЕОФИЗИКА КАК ИСТОЧНИКИ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ПЛАНИГРАФИИ РУССКИХ ПОСЕЛЕНИЙ НОВОГО ВРЕМЕНИ В СИБИРИ¹

Развитие современной науки требует применения междисциплинарных методов исследования не только при проведении археологических работ, но и при использовании неразрушающих методик в изучении памятников. Это особенно актуально для объектов культурного наследия периода Нового времени, к которым причисляются комплексы, оставленные русскими переселенцами Сибири. Поселения XVII–XVIII веков, как правило, занимают большие площади, которые очень сложно раскопать полностью, кроме того, они имеют инфраструктуру, включающую хозяйственные объекты (кузницы, мельницы, кладбища и т. д.), что ещё более осложняет их изучение и реконструкцию систем жизнеобеспечения.

В этой работе представлен опыт реконструкций одного из первых русских поселений Омского Прииртышья, деревни Ананьино, появившейся в первой четверти XVII века, почти сразу после постройки города Тары (основан в 1594).

Для понимания структуры памятника и его планиграфии, которые важны при моделировании раскопанных объектов и размещении их в реальном природно-географическом контексте, были использованы результаты применения археологических методов исследования, геодезические и геофизические методики.

О деревне Ананьино имеется информация в письменных источниках. В XVII–XVIII веках здесь проживали стрельцы, казаки из Тары, имеющие пашни, пашенные выпасы и сенокосы вблизи деревни и озера Ананьино и по Иртышу. Деревня разъехалась в 70-х годах XIX века (Татаурова, Крих 2015). Археологический комплекс Ананьино-I находится на правом берегу реки Иртыш и южном берегу одноимённого озера – старицы реки Иртыш. К юго-западу от поселения устроено кладбище, отделённое от деревни ручьём, впадающим в озеро. Археологические раскопки на памятнике в 2005, 2010–2017 годах проводила Л. В. Татаурова; было вскрыто более 2000 м²

площади поселения и 360 м² кладбища. Изучено пять жилищ, представленных избами-связями и формирующих два усадебных комплекса, разделённых свободным пространством и частоколами. На кладбище исследовано 56 погребений.

Археологические работы на памятнике с 2011 года ведутся с применением геодезических методов фиксации местоположения раскопанных строений, погребальных комплексов и индивидуальных находок. Для этого разработана система полевого кодирования археологических объектов, основанная на использовании классификатора, составленного авторами на базе условных обозначений к полевым планам (Быков, Татаурова, Светлейший 2016).

Сделана аэрофотосъёмка памятника с помощью различных БПЛА и цифровая фотограмметрическая обработка снимков для создания топографического плана с границами раскопов в разные годы изучения комплекса (рис. 1), фотоплана с координатами реперных точек, трёхмерных и ландшафтных моделей местности.

Цифровая модель рельефа создавалась по результатам наземной тахеометрической съёмки. Отдельные артефакты снимались методом наземной стереосъёмки. Были получены обзорные фотопланы местности (рис. 2) и крупномасштабные модели раскопов и их фрагментов (рис. 3).

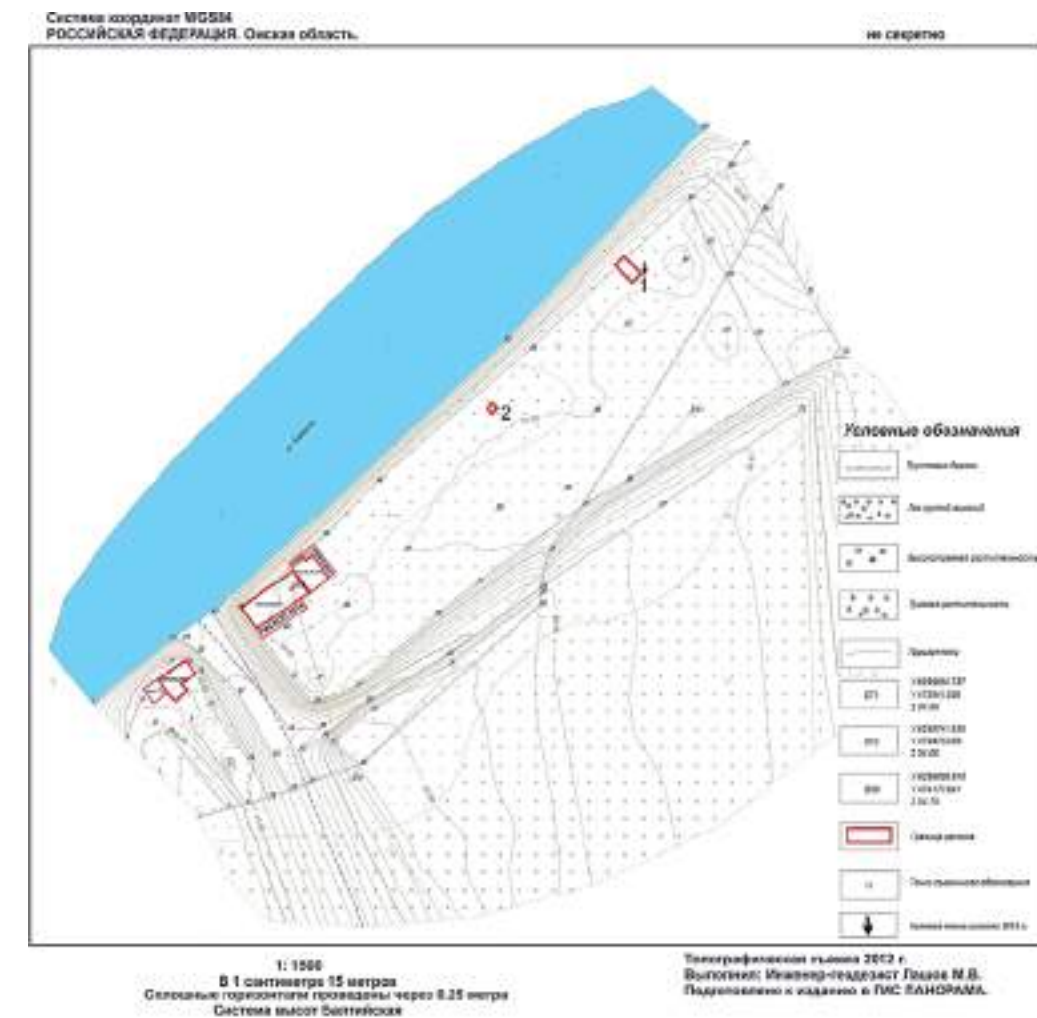


Рис. 1.
Топографический план памятника Ананьино-I с границами раскопов
в разные годы изучения комплекса

¹ Исследование выполнено по гранту РНФ № 14-50-00036.



Рис. 2.
Фотоплан местности с условной границей памятника. Фотография Л. В. Быкова



Рис. 3.
Фотоплан части раскопанного жилища. Фотография Л. В. Быкова

Применение ГНСС для привязки снимков позволило объединить все картографические материалы в единой системе координат в виде ландшафтной модели местности памятника и определить его условные границы, площадь, протяжённость, свести вместе все ранее раскопанные участки памятника.

С созданием ландшафтной модели местности стало возможным выйти на планиграфические реконструкции расположения деревни Ананьино, входивших в неё жилищных и хозяйственных комплексов.

Археологические и геодезические работы на поселении позволили сделать 3D-реконструкцию раскопанной части и благодаря полученным координатам привязать её к ландшафтной модели местности (рис. 4). Так как половина раскопанной площади памятника исследовалась без применения геодезических методик, её привязка к местности выполнялась путём совмещения полевых планов и данных аэрофотосъёмки (Быков, Татаурова, Светлейший 2016). Для этого было использовано программное обеспечение ArchiCAD-64-16, позволяющее создать план моделируемого памятника, его 3D-модель, разрезы объектов и их деталей.

На полученной основе, соответствовавшей археологическому плану и его привязке к ландшафту местности, была выполнена трёхмерная модель каждого изученного объекта с учётом его реальных размеров, зафиксированных при раскопках (рис. 5).

Внешний вид жилищ моделировался с использованием этнографических и археологических материалов других памятников (Этнография русского крестьянства Сибири 1981; Ащепков 1950; Визгалов, Пархимович 2017; и др.), внутренняя планиграфия реконструировалась на основе анализа археологической полевой документации: описаний, планов и фотоматериалов с учётом месторасположения развала печи и планировочных структур, характерных для северорусского жилища (рис. 6).

Определению границ памятника способствовали проведённые в 2015 году археологические исследования в северо-восточной его части, в 2016–2017 годах раскопы, прирезанные к ранее изученной площади поселения с северо-западной и юго-восточной сторон (Татаурова 2015; Татаурова 2017), а также мониторинг площади



Рис. 4.
Реконструкция планиграфии раскопанных объектов деревни Ананьино на ландшафтной модели местности. Реконструкция А. З. Светлейшего



Рис. 5.

3D-реконструкция жилищ раскопанной части деревни:
сверху – вид с севера, снизу – с северо-запада. Реконструкция А. З. Светлейшего

распространения культурного слоя. Эти мероприятия позволили установить достоверно только северо-восточную, северо-западную и юго-западную границы: с юго-запада это берег ручья, за которым было расположено кладбище, с северо-востока раскопом 2015 года зафиксировано постепенное истончение культурного слоя. С северо-запада культурные напластования заканчиваются на берегу озера, что и маркирует край деревни. Не достоверно определённой оставалась только юго-восточная околица поселения. Полученные с БПЛА фотопланы и ландшафтная модель местности (рис. 2) позволили предположить, что границу поселения может обозначать специфическая растительность (конопля и крапива), преобладающая на месте памятника (Татаурова 2015). Косвенным подтверждением этой гипотезы послужил осмотр грабительских «закопушек» – те из них, которые локализовались за пределами зарослей конопли и крапивы, на лугу, как правило, не содержали под дёрном культурного слоя.



Рис. 6.

3D-реконструкция внутреннего интерьера горницы самого крайнего с севера жилища.
Реконструкция А. З. Светлейшего

Исходя из этого, была определена примерная площадь деревни, которая составила около 17 га (Татаурова 2015).

В 2017 году на памятнике была сделана геомагнитная съёмка, которая показала, что юго-восточная граница поселения определена нами неверно.

Основным методом решения поставленной задачи выбрана аэромагнитная векторная высокочастотная низковысотная многоуровневая съёмка (Эпов и др. 2016а). Для выполнения работ использовался БПЛА типа квадрокоптер собственной



Рис. 7.

Квадрокоптер с магнитометром в эксплуатации (вверху); управление полётом (внизу).
Фотографии Л. В. Татауровой

конструкции. Аппарат оснащён системой передачи данных телеметрии, видео- и магнитной съёмки в режиме реального времени с одновременной записью всех данных на встроенную съёмную флэш-память. В качестве модуля автопилота использовался полётный контроллер типа 3DR Pixhawk. Для позиционирования БПЛА применялась СНС GPS/ГЛОНАСС. Относительная точность определения координат по

латерали – не хуже 0,3 м. Высота полёта определялась с помощью барометра и СНС GPS/ГЛОНАСС не хуже 0,5 м.

На платформе БПЛА размещён высокочастотный магнитометрический комплекс ВМК-016/2 (рис. 7). Он представляет собой автоматизированную ИИС, состоящую из: а) датчика вектора магнитного поля; б) нормирующих усилителей, синхронного трёхканального аналого-цифрового преобразователя, специализированного процессора, универсального блока питания от аккумуляторной батареи (в составе блока электронного обеспечения); в) приёмника СНС, смонтированного в отдельном корпусе; г) активной антенны СНС.

В комплект системы входит серийный трёхкомпонентный феррозондовый магнитометр фирмы SENSYS типа FGM3D/75. Датчик магнитного поля подвешен на кабель-тросе, по которому осуществляется связь с блоком электронного обеспечения.

Измерительная система ВМК-016/2 вместе с датчиком FGM3D/75 имеет следующие технические характеристики:

- число аналоговых каналов – 24;
- диапазон измерения модуля вектора магнитной индукции – 75 000 нТл;
- чувствительность датчика – 0,05 нТл;
- собственные шумы системы – не более 0,1 нТл;
- шумы в составе аэрокомплекса – не более 0,2 нТл;
- вес измерительной системы – не более 250 г;
- частота измерения – 1500 Гц.

Наблюдение за внешним полем Земли осуществлялось с помощью магнитовариационной станции МВ-07, имеющей точность измерения 0,001 нТл при частоте получения данных 0,2 Гц. Время на вариационной станции, ВМК и БПЛА синхронизировалось по GPS.

Аэромагнитная низковысотная съёмка проводилась по той же методике, что и на других археологических объектах (Эпов и др. 2016б; Эпов и др. 2017а; Эпов и др. 2017б). Расстояние между профилями полётов составляло 3 м. Измерения



Рис. 8.

Маршрутная карта полётов на участке

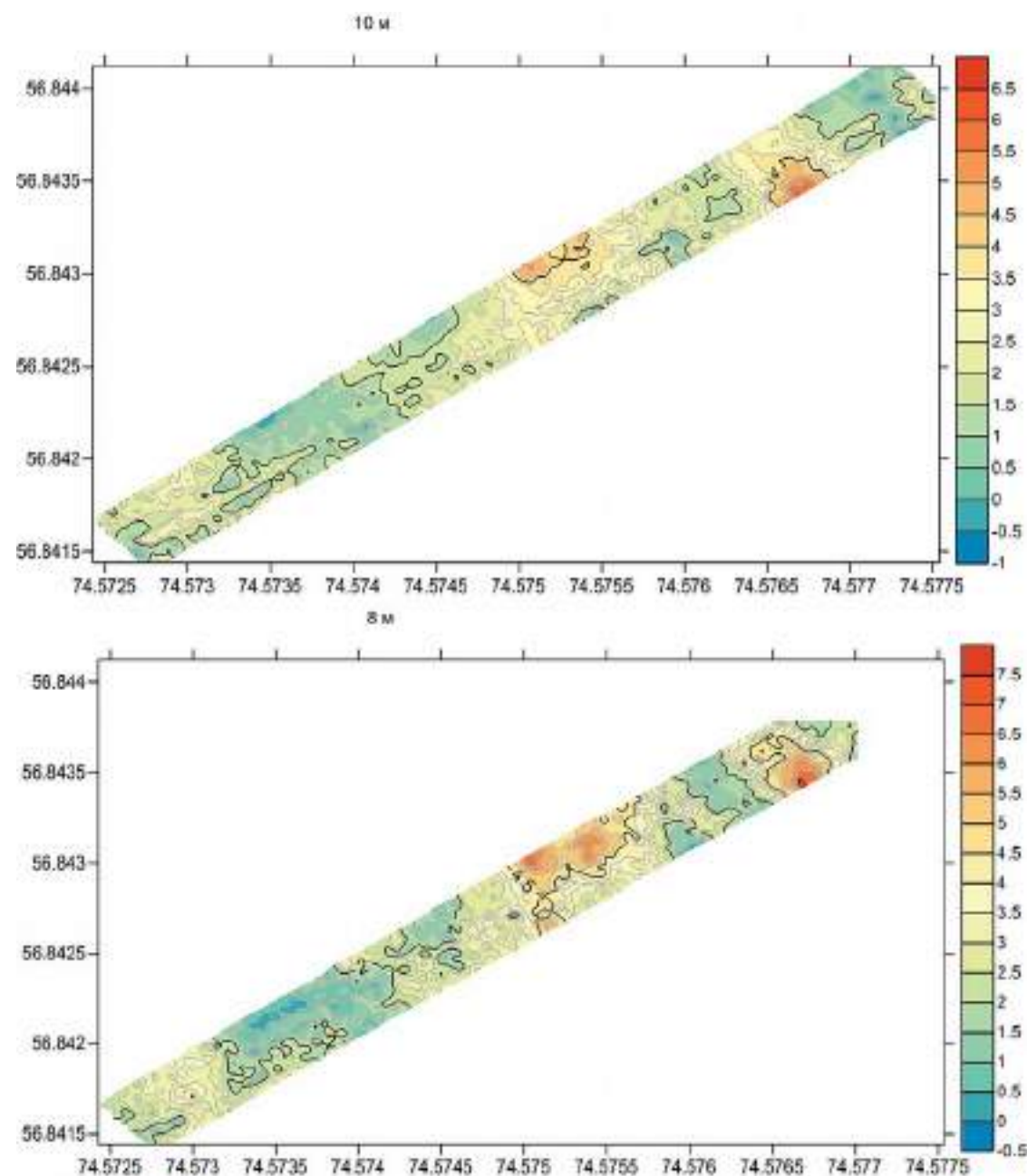


Рис. 9.

Сравнение карт магнитного поля, сделанных с высоты 6 и 8 м
(верхний и нижний рисунок соответственно)

выполнялись при скорости полёта 4 м/с. Плотность получаемых данных о магнитном поле составляла 350 отсчётов на метр. Съёмка проводилась на двух уровнях: 6 и 8 м над поверхностью (рис. 8). После проведения основных полётов по профилям проводились увязочные полёты вкrest простираения изучаемой структуры таким образом, чтобы охватить весь объект за один полёт. Общая протяжённость полётов составила 20 км.

Полученные первичные данные обрабатывались оригинальной программой, позволяющей убрать эффекты, связанные с раскачкой датчика во время полёта и влиянием внешних электромагнитных источников. В дальнейшем уже обработанные

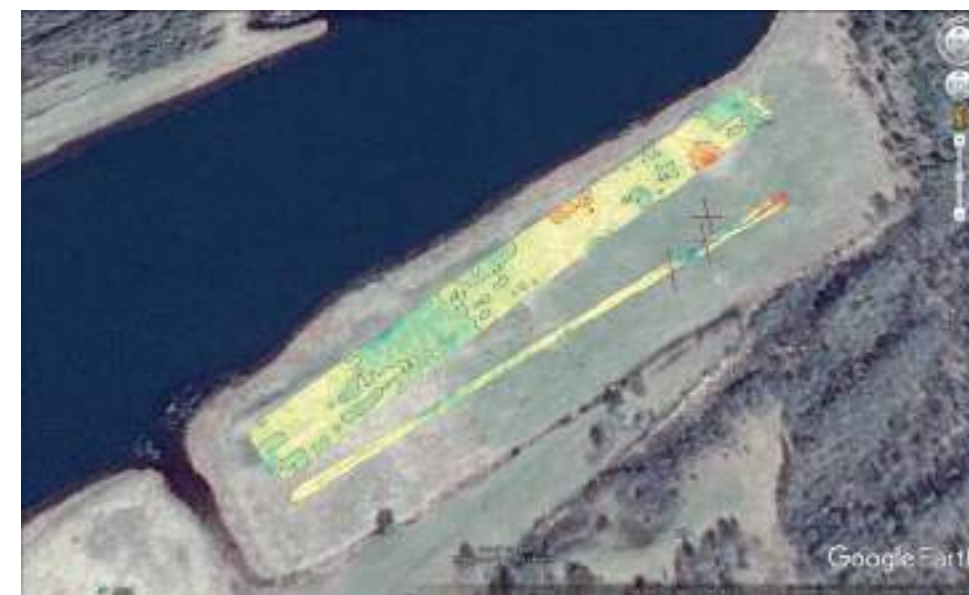


Рис. 10.

Карта магнитного поля на высоте 6 м, наложенная на космоснимок



Рис. 11.

Карта магнитного поля на высоте 8 м, наложенная на космоснимок

данные децимировались, из них вычиталось внешнее магнитное поле, полученное с помощью магнитовариационной станции и получалось значение аномального магнитного поля, образованное подстилающими породами. В дальнейшем массив данных обрабатывался стандартными программными средствами (GS Surfer).

Карты полученного магнитного поля приведены на рис. 9.

Наложение карт магнитного поля на космоснимки приведено на рис. 10 (высота 6 м) и рис. 11 (высота 8 м). Часть полётов выполнена на удалении от 10 до 40 м от основной площади съёмки.

Аномальное магнитное поле на высоте 6 м имеет максимальное значение 8 нТл, а на высоте 8 м – 6 нТл. Поля на разных высотах имеют высокую степень сходства, это свидетельствует о том, что полученные данные соответствуют магнитному полю подстилающих пород и не являются сами по себе артефактом. На площади работ не обнаружено больших значений поля, которые могли бы указывать на присутствие на исследуемой территории предметов из железа. Скорее всего, положительное аномальное поле вызвано наличием здесь строительного материала: обожжённой красной глины. Таких аномалий три. Самая интенсивная на северо-востоке, сопряжённая с отрицательной аномалией. В центральной части площади работ – сдвоенная положительная аномалия. На юго-западе слабая положительная аномалия, сопряжённая со слабой же отрицательной.

Для сравнения планировалось получить значение магнитного поля за пределами изучаемого памятника. Такие полёты были выполнены на юго-востоке от исследуемой площади. Однако и на удалении от основной площади работ отчётливо прослеживаются структуры, подобные тем, что есть и на основном участке. Это свидетельствует о том, что или границы археологического объекта значительно больше, или происходил разнос артефактов. Первое предположение является предпочтительным, так как при разнесе глины должны были появиться поля с малой интенсивностью, «размазанные» по площади. На контрольных профилях значения магнитного поля не падают, контуры аномалий чёткие и находятся на «продолжении» аномалий, которые зафиксированы на основном участке работ.

Трудно допустить, что на протяжении 20 м будет прослеживаться аномалия от обожжённой глины. Можно допустить, что это разные аномалии, находящиеся напротив друг друга, как дома на одной улице. В этом случае территория археологических работ должна быть значительно расширена. Однако возможны и другие объяснения.

Проведённые междисциплинарные исследования на русском поселении Ананьино-I позволили решать охранные, научно-исследовательские задачи и сделать реконструкции разного уровня. С точки зрения охраны памятников как объектов культурного наследия геодезические работы на Ананьино-I способствовали привязке комплекса к местности, обозначению его условных границ, получению координат поворотных точек, которые необходимы для составления паспорта памятника и постановки его на учёт в органах по охране памятников истории и культуры. Научные задачи методического и прикладного характера дали возможность создать ландшафтную модель местности, которая позволяет не только проанализировать природно-географическую ситуацию, отследить изменения ландшафта, но и привязать к ней все исследованные археологически площади. Затем на базе полевых материалов сделать 3D-модели раскопанных жилищ, которые формировали планиграфию поселения, проследить северо-восточную, северо-западную и юго-западную границы памятника.

Геомагнитная съёмка показала несостоятельность гипотезы о юго-восточной границе деревни, которую, как мы предполагали, маркировала своеобразная растительность, характерная для хорошо унавоженной почвы, представленной культурным слоем поселения. Вероятно и то, что данные магнитной съёмки для поздних памятников могут отличаться от полученных результатов на комплексах ранних эпох, так как культурный слой объектов Нового времени достаточно рыхлый, изобилует органикой, и магнитные аномалии фиксируются только для артефактов с повышенной плотностью (например, глинобитные печи). Остатки деревянных сооружений, нарушения материкового слоя, например, ямы под постройки, погреба, периметры ранее раскопанной части памятника не фиксируются. Хотя, вероятно, для решения этих задач необходимо продолжение геофизических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

Ащепков 1950

Ащепков Е. А. Русское народное зодчество в Западной Сибири. М., 1950.

Быков, Татаурова, Светлейший 2016

Быков Л. В., Татаурова Л. В., Светлейший А. З. Трёхмерная реконструкция археологических памятников и объектов на основе данных дистанционного зондирования и глобальных навигационных спутниковых систем // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 3 (23). С. 185–192.

Визгалов, Пархимович 2017

Визгалов Г. П., Пархимович С. Г. Мангазея : усадьба заполярного города. Нефтеюганск ; Екатеринбург, 2017.

Татаурова 2015

Татаурова Л. В. Исследования русского комплекса XVII–XIX вв. Ананьино-I в 2015 году // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий : материалы итоговой сессии Института археологии и этнографии СО РАН. Новосибирск, 2015. Т. 21. С. 413–416.

Татаурова 2017

Татаурова Л. В. Новые материалы для реконструкции системы жизнеобеспечения русского сельского населения XVII–XVIII веков // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий : материалы итоговой сессии Института археологии и этнографии СО РАН. Новосибирск, 2017. Т. 23. С. 421–424.

Татаурова, Крих 2015

Татаурова Л. В., Крих А. А. Система жизнеобеспечения сибирской деревни Ананьино в XVII–XVIII вв. (по археологическим и письменным источникам) // Былые годы. 2015. Т. 37, вып. 3. С. 479–490.

Эпов и др. 2016а

Эпов М. И., Фирсов А. П., Злыгостев И. Н., Савлук А. В. Магниторазведчик: нам сверху видно все // Наука из первых рук : Грани науки будущего. Новосибирск, 2016. Т. 71/72, № 5/6. С. 104–109.

Эпов и др. 2016б

Эпов М. И., Молодин В. И., Позднякова О. А. и др. Опыт магнитометрического картирования археологических памятников с использованием беспилотных летательных аппаратов // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск, 2016. Т. 22. С. 478–282.

Эпов и др. 2017а

Эпов М. И., Молодин В. И., Балков Е. В. и др. Археогеофизические исследования в СО РАН, 2013–2015 годы // Мультидисциплинарные методы в археологии : новейшие итоги и перспективы. Новосибирск, 2017. С. 405–413.

Эпов и др. 2017б

Эпов М. И., Молодин В. И., Фирсов А. П. и др. Применение высокочастотного комплекса на базе БПЛА для поиска археологических объектов // Сборник трудов V (XXI) Всероссийского археологического съезда. Барнаул, 2017. С. 1197–1198.

Этнография русского крестьянства Сибири 1981

Этнография русского крестьянства Сибири XVII – середина XIX в. М., 1981.

А. П. Фирсов, И. Н. Злыгостев
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука
СО РАН, РФ

О. А. Позднякова
Институт археологии и этнографии СО РАН, РФ

А. В. Савлук
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука
СО РАН, РФ

А. Н. Василевский
Новосибирский государственный университет, РФ

МАГНИТНАЯ СЪЁМКА С БПЛА: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ В АРХЕОЛОГИИ

Магнитометрия является одним из самых производительных и информативных методов поиска и идентификации археологических объектов. При благоприятных условиях магнитная съёмка позволяет получить фактически план памятника. Однако для достижения такого результата необходимо проводить детальное картирование, поскольку объекты поиска имеют неопределённое геометрическое строение, небольшой размер и невысокую намагниченность. По этой причине крупномасштабная наземная магнитная съёмка сопряжена со значительными временными и финансовыми затратами. В настоящее время, когда археологические памятники активно уничтожаются под воздействием природных и антропогенных факторов, требуется найти способ, позволяющий в короткие сроки обследовать обширные площади на наличие археологических объектов. Весьма перспективной является разработка технологии магнитной съёмки с помощью БПЛА, способной совместить производительность аэросъёмки с детальностью наземной съёмки и при этом уменьшить затраты.

В последнее десятилетие интерес мирового научного сообщества к этому направлению возрос, однако при попытках создания аэромагнитного комплекса на базе БПЛА возникали трудности. Необходимо существенно уменьшить весо-габаритные характеристики магнитометров и одновременно на порядки увеличить частоту дискретизации магнитного поля без потери точности его измерения. В 2014 году в ИНГГ СО РАН был разработан опытный образец аэрогеофизического комплекса с высокочастотным магнитометрическим каналом, размещённым на борту беспилотного летательного аппарата сверхлёгкого класса (Эпов и др. 2016а; Эпов и др. 2016б). В качестве носителя использовался квадрокоптер собственной конструкции. Датчик магнитного поля – серийный трёхкомпонентный феррозондовый магнитометр фирмы SENSYS типа FGM3D/75. Точность измерения магнитного поля датчиком не менее 10 пТл, точность измерения поля в составе аэромагнитного комплекса не менее 0,5 нТл. Уровень магнитных шумов измерительной части, полученный в условиях естественного магнитного поля Земли вдали от промышленных объектов и линий электропередач,

не превышает 0,2 нТл. Частота измерений созданного магнитометрического канала – 1,5 кГц. Таким образом, при скорости полёта до 10 м/сек дискретизация в измерении магнитного поля составляет 10 мм, что является недостижимым для всех других аналогичных разработок в мире. С появлением новой техники был разработан метод низковольтной аэромагнитной съёмки, позволяющий осуществлять картирование территорий на разных высотах и сочетать большую скорость с детальностью измерений.

Перспективы использования новых разработок для решения задач археологии очевидны. Это возможность исследовать большие площади в короткие сроки, а также проводить работы на труднодоступных территориях (болота, кустарниковые заросли, подтопленные участки и т. п.). Кроме того, при работе на археологических памятниках преимуществом новой аппаратуры может стать высокая частота замеров, благодаря которой вероятность попадания в точки экстремумов магнитного поля существенно увеличивается. Для интерпретации данных геофизической съёмки информация об экстремальных значениях поля очень важна, поскольку именно эти значения лучше всего характеризуют археологический объект. Сложность работы на археологических памятниках заключается в том, что объекты поиска имеют, как правило, небольшие размеры и незначительную глубину залегания, что определяет и размер магнитных аномалий. Максимальная частота стандартного магнитометра 10 Гц, поэтому даже при непрерывной наземной съёмке отсчёты по значению поля можно получать не плотнее чем через 10–15 см, а полученные значения величины магнитного поля будут средними по пространству. Небольшая частота замеров в совокупности с незначительными размерами аномалий делает вероятность попадания в точки экстремума магнитного поля минимальной. При аэромагнитной съёмке высокая дискретизация данных позволяет не пропускать экстремумы магнитного поля и точно определять места расположения аномального объекта.

При работе на археологических памятниках существенное значение может иметь фактор высоты замера. При наземной съёмке измерение модуля вектора индукции магнитного поля происходит на высоте 30–40 см над поверхностью Земли. Технология аэромагнитной съёмки с помощью БПЛА не предполагает измерения на высоте менее 2 м, что приводит к существенному ослаблению сигнала. При залегании объекта на глубине от 1 до 3 м измеренное от него поле на высоте съёмки БПЛА ослабевает от 2 до 5 раз по сравнению с наземной съёмкой. Однако гораздо большая вероятность попадания в точки экстремумов магнитного поля может компенсировать этот отрицательный эффект.

Для оценки возможностей использования высокочастотного магнитометрического комплекса для поиска археологических объектов были проведены полевые работы на разнотипных памятниках Барабинской лесостепи, Новосибирского Приобья и Прибайкалья. С целью повышения объективности исследования их отбор осуществлялся по определённым критериям. Во-первых, территория памятника должна быть полностью или частично картирована методом наземной магнитной съёмки; во-вторых, на памятнике должны быть проведены хотя бы небольшие точечные раскопки, чтобы иметь достоверные сведения об особенностях археологических объектов. В результате для проведения площадной аэромагнитной съёмки были выбраны курганные могильники Аул-Кошкуль-1, Погорелка-2, Новопичугово-2, поселенческие комплексы Преображенка-2 и Сергино-2, грунтовый могильник на памятнике Тартас-1, а также металлургический комплекс Барун-Хал. На памятнике Новопичугово-2 измерения проведены на четырёх высотах.

Все работы проводились по единой методике. При проведении измерений с помощью БПЛА на профиле фиксировались величина измеренного модуля вектора

индукции магнитного поля, координаты каждой точки измерения, мировое время. Данные обрабатывались с помощью высокочастотного аналого-цифрового преобразователя с частотой 1,5 кГц. Рядом с участком работ устанавливалась магнитовариационная станция МВ-07 М, которая производила запись значений модуля естественного магнитного поля Земли с привязкой к мировому времени. Для позиционирования БПЛА применялась система спутниковой навигации GPS/ГЛОНАСС стандартной модели. Положение датчика относительно БПЛА не измерялось, и его отклонение относительно определяемого местоположения БПЛА нами оценивалось не более чем 0,5 м. Скорость полёта держалась в рамках 4–6 м/сек, высота фиксировалась по данным GPS/ГЛОНАСС и уточнялась по показаниям бортовой аппаратуры. В общей сложности было выполнено более 400 погонных километров профилей с шагом от 1 до 3 м. В результате были построены карты распределения модуля вектора магнитной индукции, после чего было произведено сравнение данных наземной и аэромагнитной съёмки. Интерпретация карт проводилась с учётом поверхностного рельефа и показателей магнитной восприимчивости грунтов.

Первые опытные исследования были проведены на памятнике Барун-Хал, который представляет собой археометаллургический комплекс, функционировавший примерно в 200 году до н. э. Целью магнитной съёмки был поиск железоделательных печей, состоящих из обожжённой глины (рис. 1). На объекте в течение двух дней проводилась наземная съёмка (масштаб 1:100) и в течение одного часа – высокочастотная аэромагнитная съёмка. Сравнение результатов показало, что данные, полученные с помощью БПЛА на высоте 3 м, оказались более информативными по сравнению

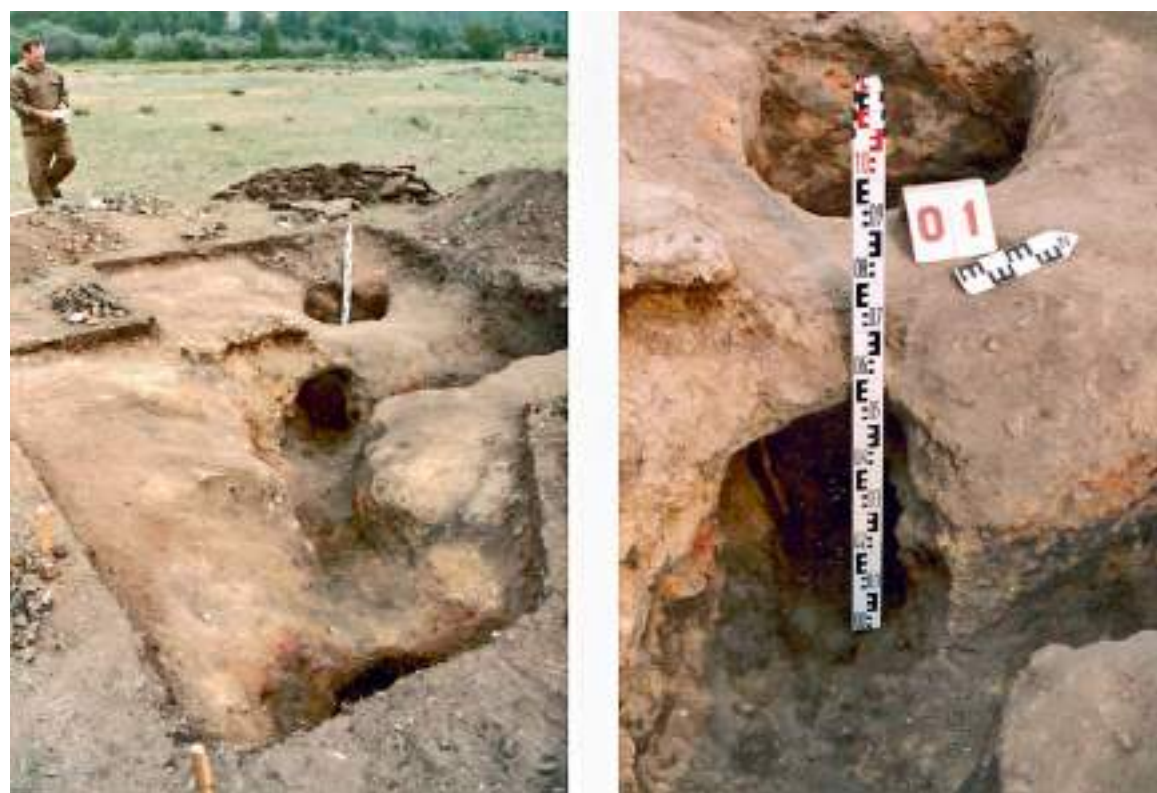


Рис. 1.

Памятник Барун-Хал. Общий вид печей для производства железа.
Фотография Н. О. Кожевникова

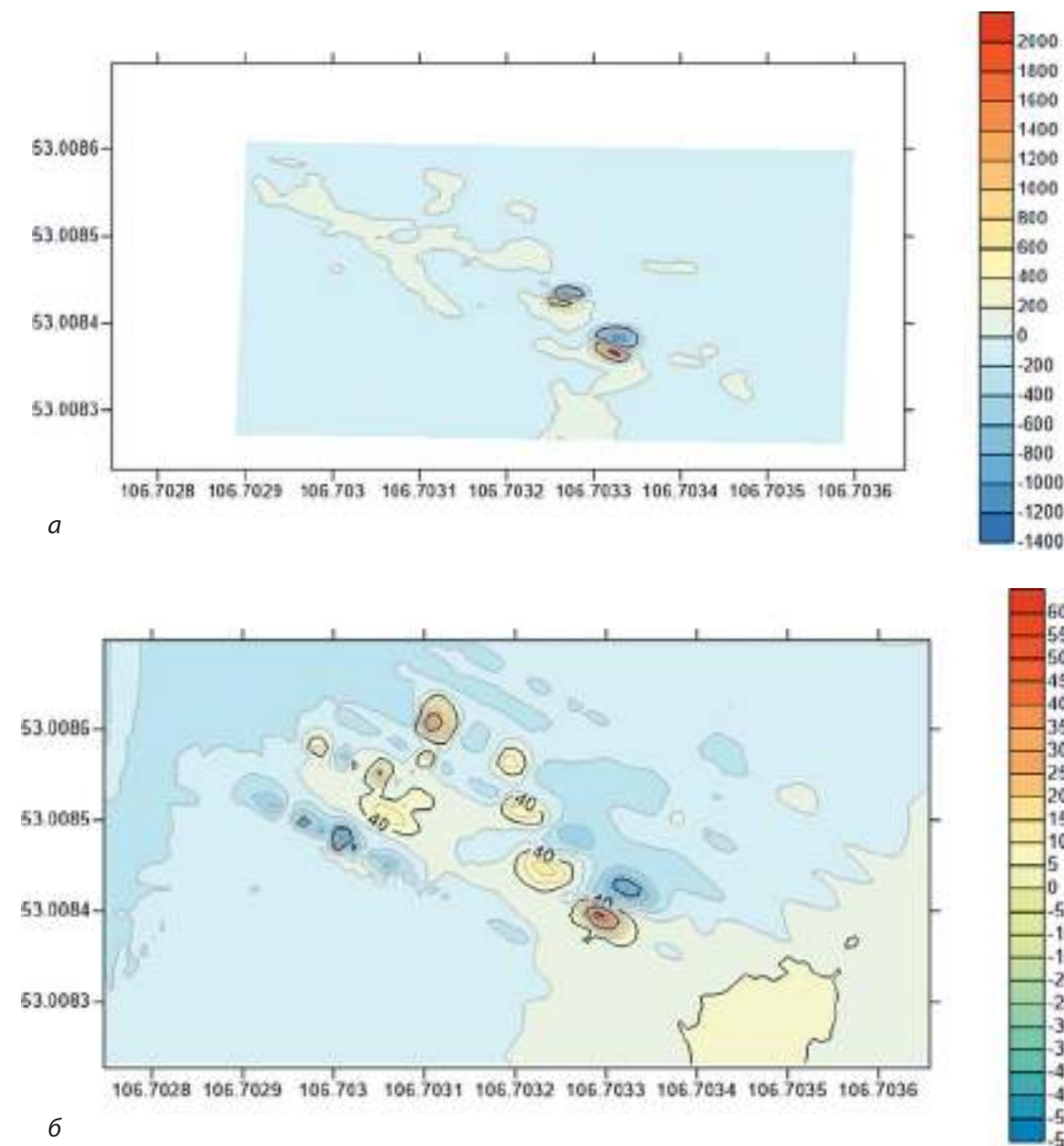


Рис. 2.

Памятник Барун-Хал: а – результаты наземной магнитной съёмки;
б – результаты аэромагнитной съёмки.

Рисунок А. В. Савлука

с наземной съёмкой (рис. 2). Высокая частота замеров позволила зафиксировать точки экстремумов магнитного поля, связанные с залеганием в грунте остатков печей, и получить репрезентативную карту памятника.

Хорошая корреляция данных отмечена по результатам работ на курганных могильниках Аул-Кошкуль-1 (древнетюркское время) и Погорелка-2 (андоновская, саргатская культуры). Наземная магнитная съёмка этих памятников была выполнена геофизиками из Германии в рамках программы сотрудничества Германского археологического института и ИАЭТ СО РАН (Молодин и др. 2010; Наглер и др. 2011). На момент открытия могильника Аул-Кошкуль-1 визуально было выделено шесть насыпей (Молодин и др. 2010. Рис. 3) (рис. 3, в). После проведения наземной магнитной съёмки обнаружено

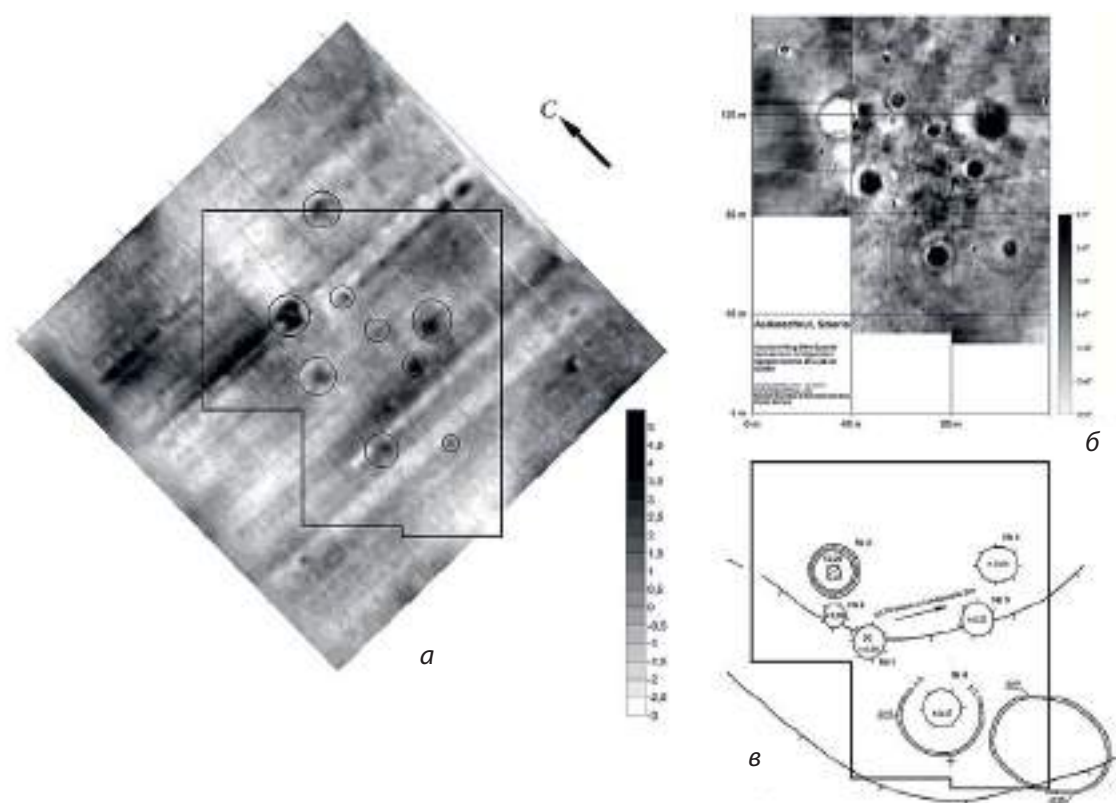


Рис. 3.

Курганный могильник Аул-Кошкуль-1: *а* – участок работ по данным аэромагнитной съёмки; *б* – участок работ по данным наземной магнитной съёмки; *в* – план памятника

ещё как минимум три кургана (Молодин и др. 2010. Рис. 6) (рис. 3, б). По данным аэромагнитного картирования удалось зафиксировать все визуально видимые сооружения, кроме небольшой насыпи № 2 (рис. 3, *а*). Благодаря аэромагнитной съёмке удалось обнаружить ещё один не выраженный в рельефе курган на границе с наземным участком. По размерам он сопоставим с самыми крупными сооружениями комплекса. Исходя из результатов осмотра насыпи № 3, нарушенной местным населением, можно предположить, что в структуре курганов могильника Аул-Кошкуль-1 содержится обожжённая глина, магнитная восприимчивость которой на порядок выше значений, типичных для обычных грунтовых объектов (Молодин и др. 2010. Табл. 1). Судя по всему, это обстоятельство положительно сказалось на характере результатов аэромагнитной съёмки. Подтверждением могут служить работы на распаханном участке памятника Погорелка-2. Здесь наилучшая корреляция результатов наземного и аэромагнитного картирования была отмечена для кургана саргатской культуры № 12, в насыпи которого также зафиксирована обожжённая глина (Эпов и др. 2016а; Эпов и др. 2016б) (рис. 4).

Места локализации остальных распаханых курганов на карте аэромагнитной съёмки памятника Погорелка-2 проявились в виде аморфных аномалий, мало контрастных по отношению к фоновым значениям магнитного поля. Аномалии имеют очень малую амплитуду и даже при наземной съёмке фиксируются слабо. Увеличение высоты замеров (даже при их большой частоте) не даёт возможности получить чёткую картину. Подобные проблемы, несмотря на достаточный магнитный контраст почв и подстилающих пород, возникают при исследовании распаханых городищ (Сергино-2, саргатская культура), грунтовых могильников (Тартас-1),

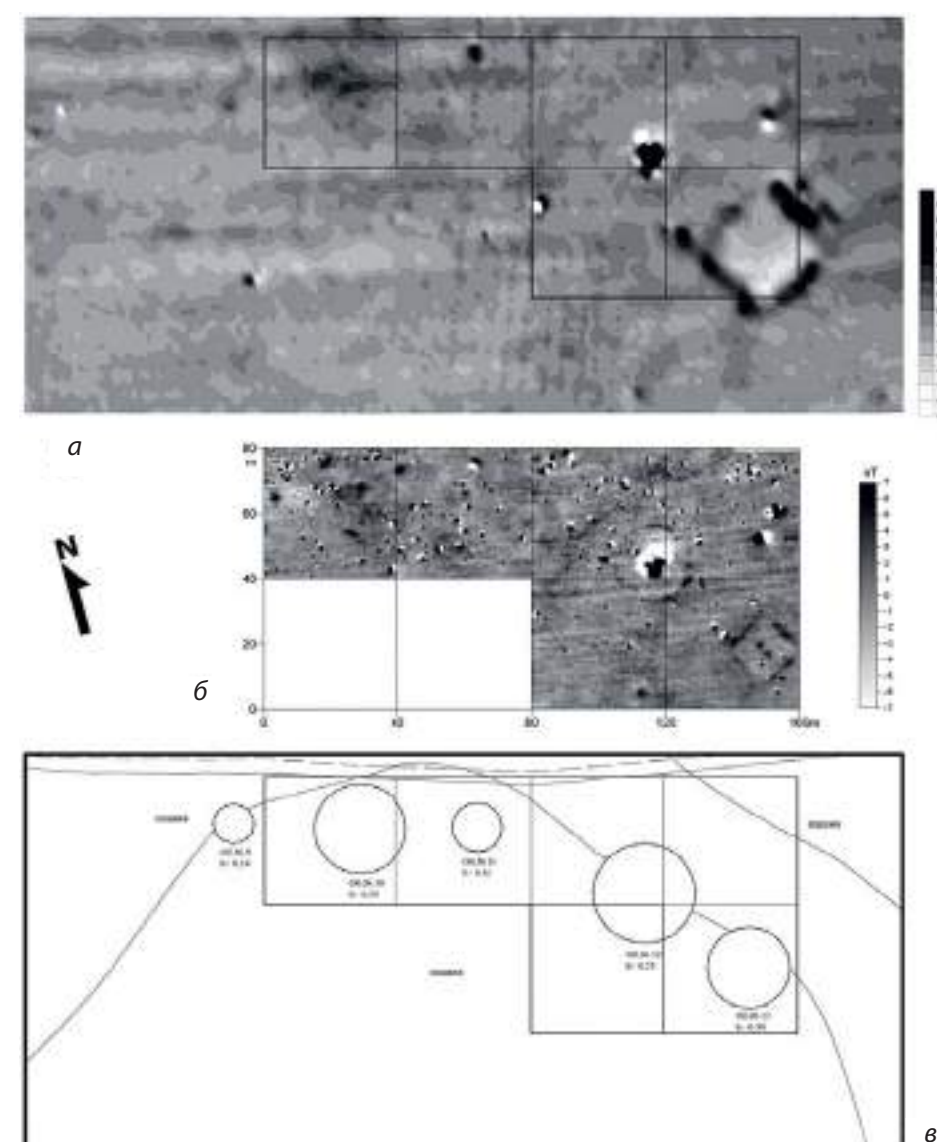


Рис. 4.

Курганный могильник Погорелка-2. Участок работ по данным: *а* – аэромагнитной съёмки; *б* – наземной магнитной съёмки; *в* – тахеометрической съёмки.

Рисунок И. В. Е. Фассбиндера

а также лишённых насыпи подкурганных площадок (Новопичугово-2). При работе на рельефно выраженных городищах в условиях малой магнитной контрастности грунтов (Преображенка-2) отмечается хорошая корреляция наземных и аэромагнитных данных. При этом ни наземная, ни низковысотная съёмка не фиксируют расположенные рядом распаханые поселенческие комплексы (Молодин и др. 2006).

Большим преимуществом нового аэромагнитного метода является возможность выполнения съёмки на нескольких уровнях высоты. Учитывая большую плотность данных, это даёт достаточно информации для описания верхнего полупространства, позволяя формировать «томографическую» картину магнитного поля. Становится возможным на существенно более точном, чем представлялось прежде, уровне описать поле в нижнем полупространстве. Таким образом, можно получить гораздо более полную интерпретацию геофизических данных.

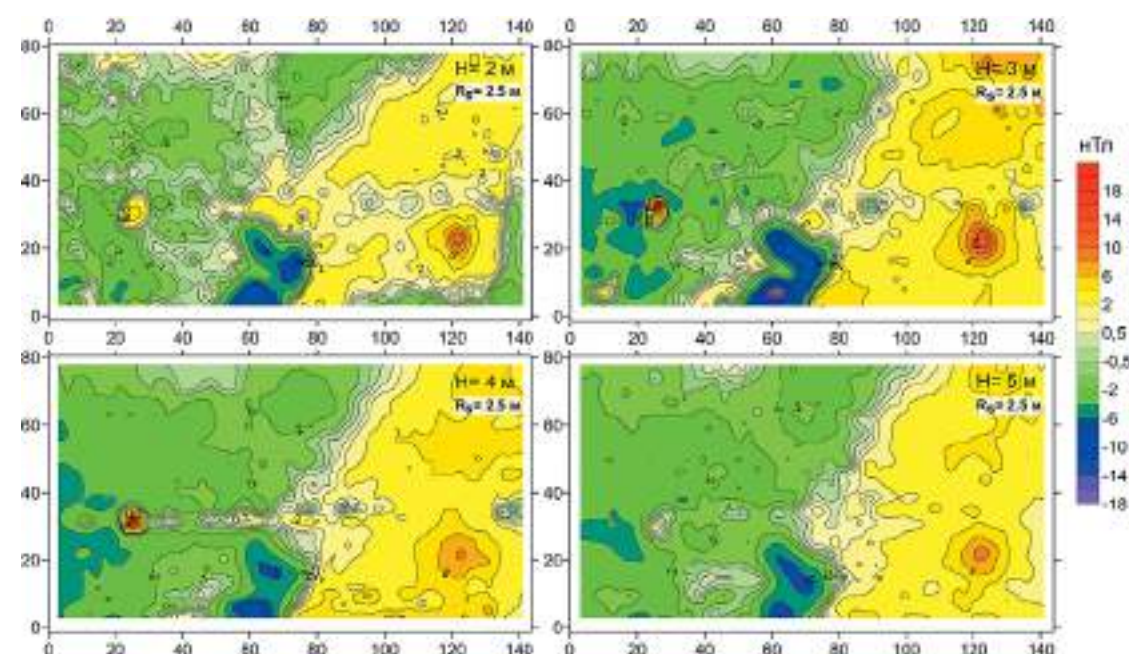
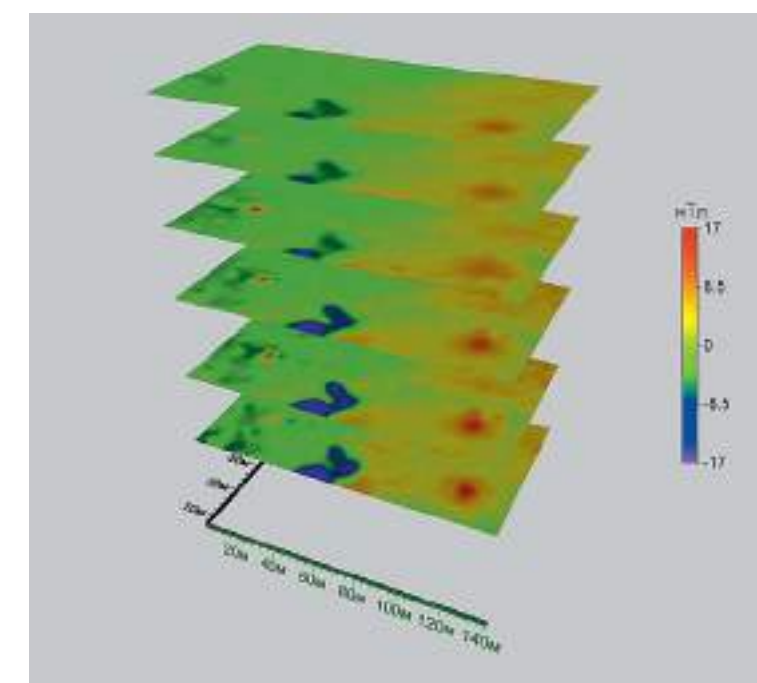


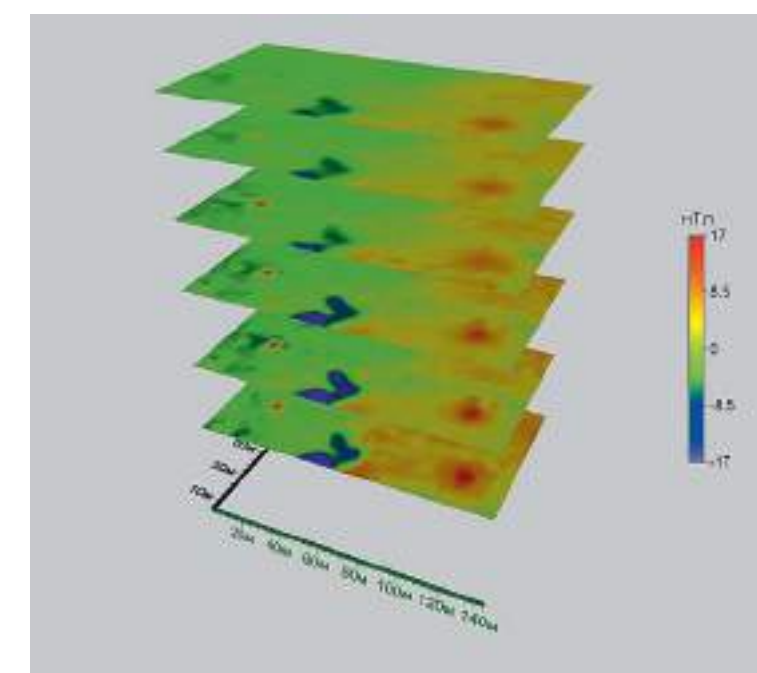
Рис. 5.
Курганный могильник Новопичугово-2.
Результаты разновысотной аэромагнитной съёмки

Подтверждением этого являются результаты работ на курганном могильнике Новопичугово-2. Сравнение данных, полученных на нескольких уровнях высоты, показало их высокое соответствие по всем элементам выявленного аномального магнитного поля (рис. 5). В результате анализа и согласования данных было получено описание верхнего (рис. 6) и нижнего (рис. 7) полупространств. В западной части участка на месте разрушенного кургана зафиксирована небольшая аномалия, которая интерпретируется нами как разграбленное захоронение с остатками привнесённых железосодержащих предметов. Объект размером не более 25 см расположен на глубине около 0,7 м. В восточной части участка выявлена структура значительно больших размеров, но меньшей интенсивности. Аномальное магнитное поле, скорее всего, создано телом диаметром около 6 м и мощностью около 0,5 м, залегающим на глубине около 5 м. По физическим свойствам данный объект более всего похож на обожжённую глину. Цепь мелких аномалий, вытянутых в субширотном направлении, интерпретируется как старая заброшенная дорога. Таким образом, анализ результатов работ на памятнике Новопичугово-2 показал, что проведение разноуровневой аэромагнитной съёмки позволяет выявлять объекты, которые могли быть пропущены на минимальных высотах, а также судить об их свойствах, размерах и глубине залегания.

Первые опытные испытания, проведённые на археологических памятниках Барабинской лесостепи, Новосибирского Приобья и Прибайкалья, показали правомерность и перспективность применения новой технологии. Аэрогеофизический комплекс с высокочастотным магнитометром позволяет эффективно проводить съёмку масштаба до 1:200, способную заменить наземную съёмку аналогичного масштаба. Картирование в более крупном масштабе может проводиться при применении других технологических решений: дифференциального GPS и отслеживания положения датчика магнитного поля относительно летательного аппарата. В настоящее время использование аэромагнитного комплекса на базе БПЛА позволяет довольно



а



б

Рис. 6.
Курганный могильник Новопичугово-2. Верхнее полупространство по данным геомагнитной томографии: а – интерполяция; б – томографическая коррекция. Рисунок А. Н. Василевского

успешно обнаруживать распаханые или слабо выраженные в рельефе курганы, а также объекты с повышенной магнитной восприимчивостью (печи и сооружения из обожжённой глины). Для эффективного решения задач по поиску и идентификации небольших грунтовых археологических объектов необходима дальнейшая адаптация метода, которая возможна в условиях проведения комплексных археолого-геофизических исследований. Использование разработанного метода низковысотной

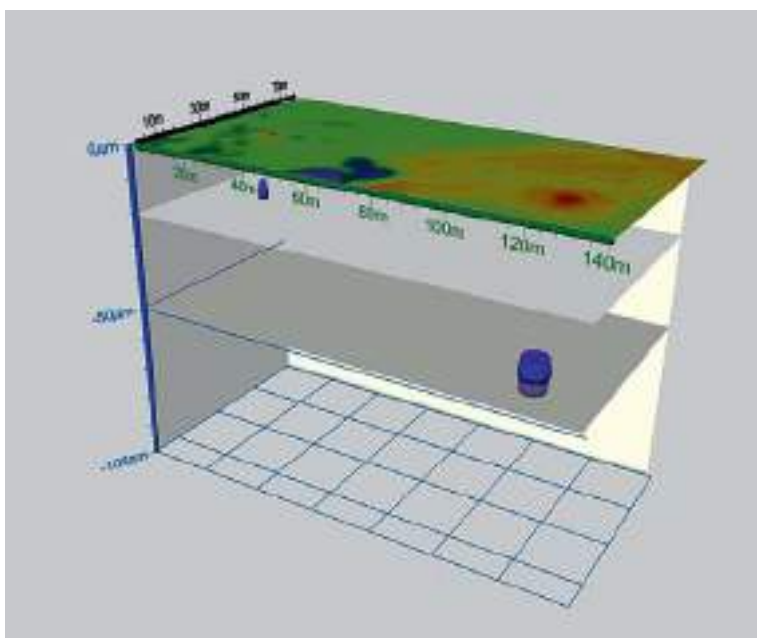


Рис. 7.
Курганный могильник Новоичугово-2.
Результаты геомагнитной томографии нижнего полупространства

аэромагнитной съёмки позволяет в короткие сроки и с меньшими затратами обследовать большие площади с последующим картированием выделенных перспективных участков с помощью наземных поисковых методов. Таким образом, в археологию может быть внедрён принцип стадийности разведочных работ, который успешно используется, например, в геологоразведке.

ЛИТЕРАТУРА

Молодин и др. 2006

Молодин В. И., Чемякина М. А., Дядьков П. Г. и др. Результаты геофизических исследований памятника Преображенка-2 в Барабинской лесостепи // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск, 2006. Т. 12, ч. 1. С. 434–439.

Молодин и др. 2010

Молодин В. И., Фассбиндер Й. В. Е., Горка Т. и др. Новый могильник древнетюркского времени Аулкошкуль-1 в Барабинской лесостепи: геофизические исследования // Вестник Новосибирского государственного университета. 2010. Т. 9, вып. 7. С. 46–56. (Серия : История : Филология).

Наглер и др. 2011

Наглер А., Кобелева Л. С., Дураков И. А. и др. Андроновский (федоровский) курган на могильнике Погорелка-2 (Центральная Бараба) // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск, 2011. Т. 17. С. 212–216.

Эпов и др. 2016а

Эпов М. И., Фирсов А. П., Злыгостев И. Н., Савлук А. В. Магниторазведчик: нам сверху видно всё // Наука из первых рук : Грани науки будущего. 2016. Т. 71/72, № 5/6. С. 104–109.

Эпов и др. 2016б

Эпов М. И., Молодин В. И., Позднякова О. А. и др. Опыт магнитометрического картирования археологических памятников с использованием беспилотных летательных аппаратов // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск, 2016. Т. 22. С. 478–282.

Sorin Hermon
The Cyprus Institute, Cyprus

INTEGRATED DIGITAL APPROACHES TO THE VIRTUAL RESTORATION, RE-UNIFICATION AND RE-ASSOCIATION OF FRAGMENTED CULTURAL HERITAGE ARTIFACTS – THE EU-FUNDED GRAVITATE PROJECT

Introduction

The Salamis terracotta statues were discovered in Cyprus more than 100 years ago, within the large ancient site of Salamis, once a major harbor-city of the island. These are standing male figures, some life-size, dressed in decorated clothing, some holding sacrificial offers such as small animals, others wearing decorative cuirasses and swords. The exact location of their discovery is unknown today, since the excavators, the British based Cyprus Exploration Fund, has not provided sufficient material for its clear identification. Some 250 fragments, possibly belonging to ca. 30 terracotta statues, constitute today the Salamis collection, attributed on stylistic grounds to the VIIth century BC. Following norms from the period of their discovery, ca. 30 pieces, representing larger fragments of heads or torso, were given to the Cyprus Museum, and now in their permanent exhibition, while the vast majority went to the British Museum, where a few are on display while the rest are stored in its deposits. The Ashmolean Museum and the Fitzwilliam Museum received some objects as well, to enrich their educational collections, while a few fragments ended in private collections and are un-available for further study.

Researchers trying to study the collection today as a whole, or trying to physically restore the statues, face several challenges. Their descriptions consist at the most of a set of images with accompanying text, each institution following their own standards for documentation and access to digital content; current ownership policies prevent their permanent re-association, while physical restorations are an impossible task, given their current ownership. Digital technologies may however offer a solution to the above.

Having the approval of all museum curators and related administration to provide full access to fragments and following the successful bid for funds through the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (grant agreement 665155) a consortium led by the IT Innovation of the Southampton University and having as partners the University of Amsterdam, the Institute for Applied Mathematics and Information Technologies of the Italian National Council of Research, The Cyprus Institute, the Israel Institute of Technology – Technion and the British Museum, was established. Consequently, the GRAVITATE project aims to **create a set of software scientific visualization and analysis tools** that will allow archaeologists, curators, conservators and illustrators to identify and **Re-Unify** heritage artifacts that have been separated across collections, **Re-Associate** objects of Material Culture that have some relationships (e.g. same production workshop, same period or style) and eventually **Re-Assemble** fragments belonging to a single object. The guiding assumption is that the above aims are achievable by integrating semantic technologies with 3D geometry analysis, supported by strong interpretative and analysis tools based on scientific visualization and semantic search. While presenting each tool in detail is beyond the scope of this article (please visit the project's website for such details – <http://gravitate-project.eu/>) the aim here is to present an overview of the project's approaches and challenges encountered during its development phases with some preliminary results.

Documentation of the collection

There are only a handful of archaeological publications regarding the Salamis terracotta fragments, all focusing on stylistic description of the statues and their chronologic position (see <http://gravitate-project.eu>). Moreover, during the more than 100 years since their discovery, objects were catalogued under various systems, some changed ownership while others were moved from deposits to exhibit vitrines and vice-versa. Therefore, the first and initial task was to identify correctly all fragments belonging to the Salamis collection, and make sure that all catalogued as such belong indeed to this collection. Instrumental in this phase was the collaboration of Prof. V. Karageorghis, leading expert in the coroplastic art and archaeology of Cyprus, who ascertained that all fragments to be documented are from the same collection. Consequently, all fragments were 3D documented using either laser or image-based sensors, in order to accurately capture their geometry; each fragment was photographed as well, using high-resolution imaging, in order to record color information. A few fragments bearing colors were further analyzed by non-invasive chemico-physical methods of spectroscopy (FORS and XRF) and their clay composition investigated by means of digital microscopy.

The conceptualization of the digital investigation platform

The design and implementation of the investigation pipeline has to consider several aspects concomitantly:

- a) the disparate location of digital replicas of objects, as they belong to various museums;
- b) their consequent registration under different Intellectual Properties Rights;
- c) objects are described under different standards, according to the registration norms of each institution;
- d) the digital documentation process produces 3D models with various resolutions, errors, non-manifolds, etc.;
- e) there is a need for the provision of a rich semantic description of objects, that goes beyond archival museum practices.

The envisioned use of the platform should provide the following options and tools to researchers:

- 1) a semantic search tool;
- 2) the possibility to investigate 3D objects (measurements, surface analysis, features extraction, annotations on interesting areas, etc.);
- 3) a virtual research environment to manipulate and compare 3D models;
- 4) relate 3D restoration results to a template (the idealized shape of a complete object).

The virtual restoration, re-association and re-unification of the fragmented items is therefore based on three integrated approaches:

- i. similarity of color properties (automatic identification of similar color patterns and features based on 2D puzzle concepts);
- ii. similarity in 3D geometry, such as curvature, delineation of features (e.g. eyes, lips and other body parts) and continuation of surface properties, such as similar roughness patterns of, for example beard, hair, etc.;
- iii. semantic search through existing textual descriptions enriched and corroborated by the interaction with the 3D models.

Figure 1 details the schematic structure of the GRAVITATE platform; once data is 3D digitized (including high-accuracy color information) and post-processed in order to enable further investigation, it is stored in a digital repository, based on CIDOC-CRM ontology along with other information material (textual description, metadata, images) and which serves as the main archival environment from where data is searched and retrieved for analysis. A search engine, based on the core concepts of the CRM (event, time, place, etc. and related

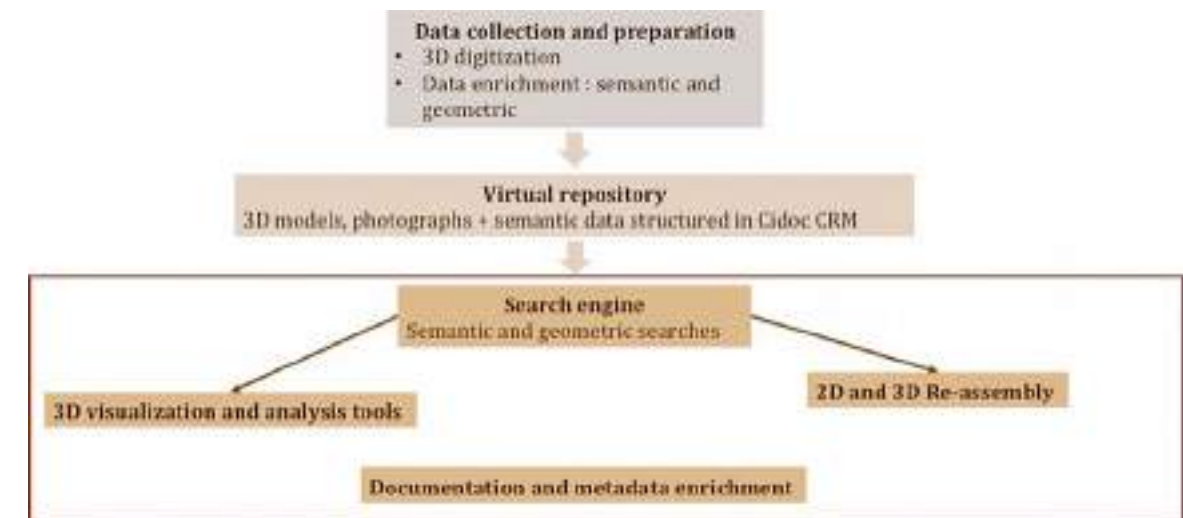


Fig. 1.
The GRAVITATE platform

terms deriving from the objects' metadata descriptions) allows the retrieval of objects from the repository. The semantic information is further enriched by researchers through annotations, results of queries and so forth. A set of scientific visualization tools for interaction with the 3D content and a virtual environment for attempting at re-associating, re-unifying and restoring the fragmented objects under investigation complete the platform. The platform is designed in such a way that new knowledge acquired from the interaction with the 3D models is enriching their semantic description, while the semantic search helps refining and better defining geometric features of the 3D models related to style, typology or technology of manufacture of the investigated items. Thus, the overall knowledge graph describing each feature is enriched semantically by the scientific interaction with the 3D models. Intuitive associations based on geometric similarities should be now tested quantitatively and their consistency validated through complex computational tools.

The GRAVITATE solution

The approach adopted by the GRAVITATE consortium is based on the assumption that better results of re-association, re-unification and restoration of fragmented Cultural Heritage artifacts can be achieved when rich semantic descriptions are corroborated with 3D geometry of items and their 2D color information at the same time. Moreover, the semantic description of objects can be further enriched through annotations on 3D models and from new knowledge achieved while interacting with the 3D models. Such an interaction is based on the quantified characterization of several descriptors, which follows the traditional procedures of archaeologists and conservators when attempting at restoring fragmented / broken objects. For example, the developed tools enable the identification of distinctive parts, such as "eye", "lips", "hand", etc. (fig. 2), features extraction based on the Hough transformation (fig. 3), or surface patterns, such as "curly beard", "straight lines beard". Other descriptors enable measurements of the curvature of the object, its surface roughness in selected areas or delineation and extraction of features for further comparison.

A major investment has been devoted to the development of an automatic pipeline for the preparation of 3D models to be suitable for accurate 3D geometry analysis. This included, among others, a correct identification and delineation of facets (fig. 3) – apparently a simple task for the human eye, an algorithm needs to have clear rules on how to delineate correctly the edges of the "upper face", versus the "fracture edge" and the "lower

SUMMARIES

Amir Ahtamzyan, Nurlan Ahtamzyan

RECONSTRUCTION OF THE FACIAL EXPRESSION AND SPEECH OF HISTORICAL CHARACTERS BASED ON 3D-SCANNING WORKS BY M. M. GERASIMOV. OPPORTUNITIES, SPECIFICS OF WORK AND RELIABILITY

Mikhail Gerasimov's technique of forensic sculpture is based on facial bones. Recent 3D-technologies for film production and computer games design give the possibility to make facial animations including small mimetic muscles and link them to the deformation of a 3D-model. The 3D-model can be based on scans of busts or sculptures.

Is it possible to reveal the storylines useful for the reconstruction of facial expressions chart and speech idiosyncrasy of a historical figure? What is the level of art and scientific reliability of these reconstructions? Do the dynamic reconstructions give a more complete impression of an image than static? How can interactive 3D-avatars based on reconstructions be used in a museum?

Keywords: 3D-scanning, facial animation, 3D-avatars, 3D-skinning, 3D-rigging, facial expressions, face capture

Ключевые слова: 3D-сканирование, лицевая анимация, 3D-аватары, 3D-скиннинг, 3D-риггинг, мимика, захват движения лица

Translated by Olga Dvoretzkaya

Ksenia Bondar, Marina Daragan, Sergei Polin

MODELLING OF SPACE AND RECONSTRUCTION OF THE FUNERAL RITUAL AT A SCYTHIAN KURGAN BURIAL AFTER MAGNETOMETRY AND ARCHAEOLOGICAL PROSPECTIONS

Non-destructive research of kurgans and inter-kurgan space of the Scythian burials near the village of Katerinovka with the help of geophysical methods and GIS aimed to better target the archaeological excavations and to fix spatial structure of the monument giving new data on Scythian funeral rituals.

Magnetometer survey on the 3.65 hectares showed numerous kurgans invisible in relief and a set of other structures behind the kurgan ditches. On the magnetic map there are different kurgans of various sizes. The external diameter of circular ditches varies from 6–23 metres, and there was also a semicircular anomaly from a 37m diameter mound whose date is not evident (possibly Bronze Age?).

As a result of the magnetic survey archaeological excavations were carried out on the area of the burial, five kurgans were explored, four out of them had not been detected visually.



Fig. 6.

Snapshot from the desktop based research environment

The GRAVITATE virtual research environment

The envisioned workflow is based on a web-based service for the semantic search (fig. 5) and a main desktop environment where most of the research tasks are performed (fig. 6). The semantic search is based on the main CIDOC-CRM concepts of time, space, actors and events. Query results are displayed and similarities based on shape and color can be mentioned. Once objects are selected, their 3D models are brought into the desktop environment for further investigation. It has four interaction modes: Inspection, Fragment, ReAssembly, History and Groups, each with its specific tools. The central window is dedicated to the visualization of the data (see <http://gravitate-project.eu/> for further details). Measurements, annotations, analyses of surface and comparisons of shapes are performed here. Results are then fed back into the repository for enrichment of data.

Summary

Preliminary results of the project are very promising. A new approach to the study of fragmented artifacts and collections dispersed among various museums has been designed and its related tools developed. These in turn can be re-used in other domains dealing with fragmented artifacts, such as osteology, geology, forensics and so forth. Research in mathematics, computer graphics, ontology engineering has benefited from the results of the project, by providing, among others, a pipeline for automatic control of 3D models quality for non-manifold areas, robust algorithms for faceting of 3D models, 2D puzzling based on color and descriptors similarities, CHAP description of features and so on. The archaeology, museology and conservation communities benefit from the project by gaining access to digital tools that eventually will revolutionize their daily work as restorers, curators or scientists.

Acknowledgements and Disclaimer

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement 665155. The above text is the author's summary of the entire consortium work (<http://gravitate-project.eu/?q=content/partners>).

Completely new facts in the understanding of the construction of Scythian kurgans that were found include: the discovery of the ditch encapsulated into the burial without a funeral chamber and the dredging holes near three kurgans erected without a ditch. It should be mentioned that all the surveys were done near an operational manganese ore mine. Heavy machinery and plant caused serious disturbance to the local magnetic field, so the traditional methods of magnetic measurements required corrections.

Keywords: Scythians, kurgan periphery, geophysics, GIS

Ключевые слова: скифское время, периферия курганов, геофизика, GIS

Translated by Olga Dvoretzkaya

Mikhail Vavulin, Olga Zaitseva, Irina Nevskaya,
Evgeny Vodyasov, Larissa Tybykova

PHOTOGRAMMETRY AS A TOOL FOR DOCUMENTING THE OLD TURKIC RUNIC ROCK INSCRIPTIONS IN THE ALTAI MOUNTAINS REGION

The old Turkic runic rock inscriptions in the Altai Mountains region (VIII-XI centuries AD) are less studied than famous epitaphs on the stone stelaes in Mongolia, Khakassia and Tuva. Apart from specific linguistic problems decoding is impeded by the technique of the engravings on the rock surfaces. The small size of the signs made with slim cuts causes difficulties in copying and identification. The fresh lines of cuts stood out against the rock background due to their colour, but over time they become less and less visible, and today a human eye can see the cuts with great difficulty and only at certain angles together with special lighting. The identification of runic inscriptions is also difficult due to the later petroglyphs and inscriptions made by modern vandals. The drawings of the same inscription made by different researchers vary so much, that they result in different variants of decoding. Existing traditional contact methods used for petroglyphs do not suit the runic inscriptions.

In 2017 we carried out field work aiming at documenting the Altai runic inscriptions with the help of modern technical tools. The particularities of runic signs described above require for their reliable documenting both microphotography of high resolution and fixing of rock relief. Totally we got 30 models of the rock surfaces with Turkic runic inscriptions. Photogrammetry turned out to be the cheapest and optimal solution. The collected data are the first attempt of 3D-documenting of the runic inscriptions in Altai region, which will help to finalize the long term discussion about decoding. Besides these data will help to preserve the runic signs at least in the digital form. Later the collection of the models will be available in the Internet for all specialists in Turkic philology that will give them the possibility to work with signs and to make new interpretations.

Keywords: old Turkic, runic writing, Altai Mountains, photogrammetry, 7th – 9th centuries AD

Ключевые слова: древнетюркская руническая письменность, Горный Алтай, фотограмметрия, VIII–XI вв. н. э.

Перевод О. Б. Дворецкой

Marina Daragan, Yuri Svoiski

MAPPING AND MORPHOMETRIC ANALYSIS OF AN INTERNAL SPACE OF WESTERN BELSKOE HILLFORT

At the beginning of the Early Iron Age, the entire Forest-Steppe and Forest regions of Eastern Europe underwent the “hillfort boom”.

The construction of mega-hillforts of 100 to more than 4,000 hectares in area are characteristic of this period.

Their fortifications are huge, built around the perimeter of the hillforts and have a very clear geometric round or oval shape. Fortifications consist of an earthen bank with a height of between to 7–8 m and a ditch of 5–6 m deep.

There are many questions surrounding the reasons for why they were built (e.g. in reply to Scythian threat etc.), their functions, and the status of hillforts (e.g. the centres of tribes, the centres of redistribution, hillforts-refuges). These big questions are being addressed by rather weak (in terms of the area that can be studied by excavation) archaeological study, and the rather inconsistent (or incomplete) data about their arrangement, the sizes and conditions in the nearest vicinity. Thus, it is quite obvious that actually archaeological methods (i.e. excavation) in the foreseeable future cannot answer these questions as archaeological research of such areas needs considerable amounts of time and great expense, (i.e. it is almost impossible and inexpedient).

However, revealing various problem situations concerning the monuments connected with their location, metric parameters, character of settling of hillforts should become a prime and uniting aspect of their study. For this purpose, the creation of multifactorial high-precision models of the monuments in the context of the surrounding landscape and cultural situation is necessary. Such models form a basis for carrying out a variety of research procedures, including investigation of interrelation between spatial conditions under which the monuments were constructed, and material expenses which were directed into their construction. A spatial analysis of the choice of the place of residence against the analysis of fortifications of the hillforts supports an adaptive strategy of a society and serves as a key to understanding a social society organisation, its military doctrine.

As mega-constructions, hillforts involve a bank and a ditch and the basic labour costs are connected with their building it is necessary to designate also methods of studying defensive constructions of various hillforts. How do we study and visualize monumentality of hillforts?

Earlier visualizations of hillforts used a complex of geo-information methods based on digitalization of the topographic maps of scale 1:5,000, 1:10,000, 1:25,000. This approach allowed us to represent the general relief on which the hillforts had been constructed, but did not allow to visualize actually defensive constructions of the hillforts. Tacheometry was applied to create profiles and three-dimensional models of defensive constructions (bank and ditches). Total station measurements were performed on some segments of banks and ditches on some hillforts. But considering size of the monuments and perimeter of their defensive systems, total station measurements take rather long time and are not equally effective for all sites. Therefore we started to use photogrammetry. The photographic materials received as a result of shooting as carriers of the topographical, geological and hydrological, landscape information, possess high informativity, objectivity and sufficient measuring accuracy.

Digital terrain models of two hillforts were created using UAV imagery and processing method – Western Belsky's (89.4 hectares) and Nemirovsky (123 hectares). We can now present

not only the large fortifications of the hillforts along their entire extent, but also the automated process of creation of a three-dimensional model of the landscape in various textural modes, construction of profiles across the defensive systems, and the most important thing, absolutely precise calculations of the area of sites of ancient settlements, perimeter and volume of their defensive constructions (bank and ditch).

Keywords: Early Iron Age, mega-hillforts, photogrammetry, UAVs

Ключевые слова: ранний железный век, мегароднища, фотограмметрия, БПЛА

Translated by Olga Dvoretzkaya

Alice Zubova, Alexander Kulkov,
Vyacheslav Moiseev, Valery Khartanovich

RESULTS OF THE VIRTUAL 3D-MODELLING FOR THE STUDY OF PALEOLITHIC ODONTOLOGICAL FINDS FROM THE KUNSTKAMERA COLLECTION

Since 1960–70s the collections of the Anthropological department of the Peter the Great Museum of Anthropology and Ethnography of RAS (the Kunstkamera) in addition to the serial hominid finds has stored single finds of hominid teeth dating back to Paleolithic times. Some of them are unique from the archaeological point of view, because they refer to the earliest stage of *Homo sapiens* settling in Eurasia. Amongst these finds are the samples from Akhtyshskaya 1 and Rozhok 1, found in late layers of the site of Mousterian period, and the isolated baby molar from Kostenki XIV dating the early Upper Paleolithic period. All these finds were not carefully studied because the external side of enamel has been mostly worn-out and the morphology of the tooth veneers cannot be described in detail. Moreover, the statistical methods could not be applied to a sample of a single tooth.

The complex research of the single finds started in 2017 by the Anthropological department of the Kunstkamera and Saint Petersburg State University Research Center for X-Ray Diffraction Studies (XRD Centre SPB SU). The complex microtomography of all samples was done on the X-ray microtomograph Skyscan-1172. The data were applied for the 3D-modeling of every tooth in the program CTAn (Bruker-microCT), which allowed researchers to separate virtually dentin and enamel. The visualisation of the digital model was done in CTVox (Bruker-microCT). The results of modelling made it possible to analyze the internal structures of veneer and get data necessary for the comparison of these finds with other samples using statistical methods. As a result, the taxonomic family of the finds from sites of the Mousterian period was defined as well as main directions of biological relations of the population to which they have belonged.

Keywords: micro-CT, 3D-reconstruction, odontology, Paleolith, paleoanthropology

Ключевые слова: компьютерная микромография, 3D-реконструкция, одонтология, палеолит, палеоантропология

Translated by Olga Dvoretzkaya

Йорг Фассбиндер, Флориан Беккер, Сара Абандовиц

АЭРОФОТОСЪЁМКА, ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ И МАГНИТОРАЗВЕДКА НА КЕЛЬТСКОМ ГОРОДИЩЕ ЖЕЛЕЗНОГО ВЕКА МЕНОСГАДА В БАВАРИИ (ГЕРМАНИЯ)

Укрепление железного века *Меносгада*, имеющее калиброванную дату 200 г. до н. э., было известно уже при Птолемеи и отмечено на картах, начиная со II века н. э., является самым северным кельтским поселением в Баварии. Поселение, расположенное на природном (геологическом) памятнике из известняка юрского периода, протяжённостью около 1 км в диаметре, было основано кельтами в гальштатское время, но полностью заброшено к 50 г. до н. э. «Акрополь», возведённый посредине горы, состоит из известнякового плато площадью приблизительно 300 × 140 м. Укрепление, ограниченное защитной стеной, продолжает фортификационная стена. За исключением плато и широкого участка в северо-восточном квартале цитадели территория была поделена на участки террасами и насыпями, что делало её непригодной для широкомасштабной моторизированной магнитной съёмки. С 1987 года мы провели магнитные измерения на временно доступных участках города при помощи ручного цезиевого магнитометра, а с 2017-го – при помощи феррозондового магнитометра, чтобы постепенно изучить скрытые археологические структуры. Объединение в ГИС данных с магнитометров, аэрофотосъёмки, снимков со спутника и данных лазерного сканирования с воздуха позволило нам не только детально проследить комплексы построек, но и понять границы и расположение всего укрепления.

Ключевые слова: аэрофотосъёмка, магнитометрия, LIDAR, железный век, кельтское городище, Меносгада

Keywords: aerial archaeology, magnetometry, LIDAR, Iron Age, Oppidum, Menosgada

Перевод О. Б. Дворецкой

Йорг Фассбиндер, Марион Шайблер,
Флориан Беккер, Кэй Каньют, Мартин Грубер

АХЕМЕНИДЫ НА ЮЖНОМ КАВКАЗЕ: АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗВЕДКИ, ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАСКОПКИ В ГАРАДЖАМИРЛИ (АЗЕРБАЙДЖАН) – МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД К ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Величественные роскошные постройки ахеменидского времени около Гараджамирли (Азербайджан), открытые Ильясом Бабаевым (Академия наук Азербайджана) и Флорианом Кнауусом (Глиптотека и Государственный музей античного искусства, Мюнхен), подтвердили значительное влияние и распространение империи Ахеменидов (539–331 гг. до н. э.). Данные археологических и магнитной разведок указывают на распространение археологических памятников на территории более 4 км². Цель разведочных работ состояла в крупномасштабном подробном изучении окружающего ландшафта археологическими и геофизическими методами для прояснения интеграции дворцовых зданий комплекса в микро-регион как структурно, так и хронологически, а также исследования последующих свидетельств продолжившегося освоения данной территории. Поселение было заселено в течение всего ахеменидского периода и даже ранее, в начале железного века. Самые первые

из исследованных участков находятся с северной стороны и примыкают к дворцовому комплексу. Далее выбор участков для исследования определялся доступностью и пригодностью для магнитной съёмки с высоким разрешением. Для междисциплинарного подхода и более глубокого понимания археологических разведок на местности и результатов магнитных измерений в рамках проекта была также проведена электромагнитная разведка с последующей выборочной закладкой шурфов, дополненная геоархеологическими исследованиями и измерениями магнитной восприимчивости минералов.

Ключевые слова: Ахемениды, Кавказ, археологические разведки, археологическая геофизика, ГИС, междисциплинарная интерпретация

Keywords: Achaemenid period, Caucasus, archaeological survey, archaeological geophysics, GIS, interdisciplinary interpretation

Перевод О. Б. Дворецкой

Макс Фидерлинг

ПРИМЕРЫ РАСПОЗНАВАНИЯ СТРУКТУР ПО ОТОБРАЖЕНИЮ ДВИЖЕНИЯ, КРУГОВЫЕ ПАНОРАМЫ И ДРУГИЕ МЕТОДЫ ДОКУМЕНТИРОВАНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПОД ВОДОЙ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НА СУШЕ

В работе освещены технологические новшества с большими потенциальными возможностями для качественных и эффективных подводных погружений с научными целями подводной археологии, представлены новые методы документирования и применения цифровых устройств. В качестве отдельных тем обсуждаются:

- Панорамное видео 360° – примеры, возможности, области применения, перспективы на будущее.
- Распознавание структур по отображению движения – примеры, фокус на факторе времени.
- Многоуровневая теневая фотосъёмка (RTI), адаптированная для подводных исследований (URTI), пример, перспективы и ограничения.

Приводятся примеры, показывающие значение и возможности методов документирования на основе фотограмметрии, а также их ограничения не только в области документирования, но и в сфере показа и концепций музеев. Освещены недавние полевые исследования в Хорватии, на Сицилии, в Тунисе и Румынии и их документальные свидетельства. Обсуждаются упущенное время и потребности для будущих археологических работ, в том числе подводных, чтобы эти методы стали рабочим моментом в каждой разведке, при раскопках или каком-либо другом виде исследования, как можно было бы соответствовать научным требованиям при дефиците времени в краткосрочных экспедициях. Суть не в технических нюансах, а в том, какие этапы, требующие больше времени и подготовки, могли бы быть заменены этими технологиями. Наконец, будут показаны некоторые новые технологии, которые могут сыграть аналогичную роль в скором будущем, действуя в различных направлениях, решая другие проблемы и отвечая на вопросы.

Ключевые слова: подводная археология, 3D-моделирование, круговые панорамы, виртуальная реальность, многоугольная теневая фотосъёмка, распознавание структур по отображению движения, Баварское общество подводной археологии

Keywords: underwater archaeology, 3D-modelling, 360 degree, virtual reality, Reflectance Transformation Imaging, Structure From Motion, Bavarian Society for Underwater Archaeology

Перевод О. Б. Дворецкой

Антон Гасс, Йорг Фассбиндер, Герман Парцингер, Сергей Викторович Демиденко, Алексей Николаевич Прямухин, Ина Хофманн

ЗАВОЛЖСКИЕ КУРГАНЫ РАННЕГО ЖЕЛЕЗНОГО ВЕКА И ИХ ПЕРИФЕРИЯ: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТОМЕТРИИ

Курганы раннего железного века являются сложным археологическим памятником, включающим захоронения, клады, жертвенные комплексы, построенное над ними сооружение, а также территорию, прилегающую к конструкции кургана, то есть околочурганное пространство, называемое также периферией кургана.

Исследованиям периферии курганов раннего железного века как дополнительным источникам информации о сооружениях древних кочевников и об их церемониях погребально-поминального цикла уделяется последнее время всё большее внимание специалистов. Существенным вкладом в изучение периферии являются геофизические исследования, среди которых наиболее эффективным можно назвать магнитометрию. Применение магнитометра позволяет за короткие сроки проводить высококачественную разведку объектов с высоким пространственным разрешением на обширных площадях могильников, включая как горизонтальную поверхность околочурганного пространства, так и наклонные плоскости склонов курганов. Полученные магнитограммы демонстрируют своего рода «рентгеновские снимки» первых 2–3 м поверхности почвы.

Использование магнитометрии при проведении полевых археологических разведок в Заволжье (Волгоградская обл.) позволило выявить как хорошо известные объекты периферии курганов, такие как рвы, опоясывающие курганы или пристройки к курганам, зафиксировать сложные курганные конструкции напластований нескольких сооружений, видимых на современной поверхности одним курганом, так и, впервые для данного региона, выделить на межкурганном пространстве наличие ям и погребений, расположенных в западинах между курганами.

Археолого-геофизические разведки с использованием магнитометра способствуют выявлению большого количества новых деталей, важных для реконструкции погребального обряда древних кочевников, и имеют большой потенциал археологических и геофизических исследований междисциплинарного характера.

Ключевые слова: ранний железный век, Заволжье, курган, периферия, геофизика, цезиевый магнитометр

Keywords: Early Iron Age, Transvolga, kurgan, periphery, geophysics, cesium magnetometer

Перевод О. Б. Дворецкой

Ирина Гревцова, Джоан Сибина

ДОПОЛНЕННАЯ, СМЕШАННАЯ И ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТИ. МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ

В настоящее время много проектов в сфере культуры названы *визит* или *маршрут*, которыми музеи, мультимедийные центры, постоянные, временные или передвижные выставки, исторические здания, промышленные сооружения, археологические

достопримечательности, исторические городские кварталы и т. п. популяризируют археологическое наследие через виртуальные визиты, виртуальную реальность, дополненную реальность и многие другие информационные и коммуникационные технологии, продавая вводящие в заблуждение рекламные лозунги и сбивая публику с толку, говоря, что они получают удовольствие от этих новых технологий, в то время как в действительности в большинстве случаев они просто используют записанные изображения или видео и в некоторых случаях панорамные изображения. В докладе во избежание этой путаницы предложены определения для каждого термина, составленные и классифицированные в соответствии с их применением, и представлен анализ примеров. Таблица переменных и комбинации из них объясняют разницу между применяемыми сегодня технологиями визуализации и представления культурного наследия.

Ключевые слова: археологический туризм, популяризация культурного наследия, дополненная реальность, смешанная реальность, виртуальная реальность

Keywords: archaeological tourism, dissemination of cultural heritage, augmented reality, mixed reality, virtual reality

Перевод О. Б. Дворецкой

Alexander Kulkov, Marianna Kulkova

USE OF X-RAY 3D-MICROCT FOR ARCHAEOLOGICAL ARTEFACTS' INVESTIGATION

Applications of X-ray 3D micro-tomography in archaeology and museum research are described. X-ray 3D micro-tomography makes it possible to study both external and internal structures of small (up to 3 cm) archaeological objects by non-destructive means. The scanning results are used for creation of a digital model, which can be further used for the future reconstructions. The investigations of ceramics, wooden artefacts and hominid finds can be carried out in three ways, in which the method provides best results.

- 1) A 3D-model of a sample based on results of scanning can be reproduced on a 3D-printer. The model can save, if necessary, the structure inside and / or virtually dissect and decompose an original sample.
- 2) Qualitative research and visualization of the inner structure of a sample. For example, the visualization of charcoal or timber allows us to define the type of wood and to study the distribution of mineral growths. By visualizing pore spaces in archaeological ceramics the genesis of pores and their distribution are determined (fracture, burnt organic). Sometimes species of vegetation found in ceramic dough can be identified.
- 3) Quantitative measurements include porosity, geometrical volume and linear measurements of the structure of a sample. Micro-tomography data allow us to analyse the porosity of a sample and geometric parameters (volume, surface area, linear dimensions etc.) for every pore.

Keywords: micro-CT, 3D-scanning, 3D-model, ceramics, pore space, type of wood

Ключевые слова: микротомография, 3D-сканирование, 3D-модель, керамика, поровое пространство, порода древесины

Translated by Olga Dvoretzkaya

Fedor Malkov, Artur Kharinsky

RECONSTRUCTION OF THE SMALL FRAGMENTS OF CERAMIC VESSELS USING TECHNOLOGIES OF VIRTUAL MODELLING AND 3D-PRINTING

The Laboratory of archaeology, paleoecology and indigenous systems for the population of the North Asia in the Irkutsk National Research Technical University has been working with 3D-scanners since 2012 and has got 3D-models of archaeological finds. The digitalization of ceramic vessels and fragments was done by 3D-scanning and in 2014 the methods of virtual reconstructions of vessels based on 3D-scanning were designed. The next step suggested the production of the missing parts with the help of a 3D-printer. In 2017 this work was continued, the missing fragments were reconstructed according to the method described above. Separate files presenting single elements were printed on a 3D-printer and then put on their place in a vessel. The results and conclusions are described in the article.

Keywords: virtual reconstruction, reconstruction of vessels, repairing of vessels, 3D-printing, 3D-model

Ключевые слова: виртуальная реконструкция, реконструкция сосудов, восстановление сосудов, 3D-печать, 3D-модель

Translated by Olga Dvoretzkaya

Мария Кристина Манцетти, Панайотис Парфениос

НОВЫЕ МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗ ОБ АРХИТЕКТУРЕ АНТИЧНЫХ ТЕАТРОВ

Цель доклада – показать возможное применение 3D-моделирования в археологии и преимущества цифровых технологий для последующего понимания руинированных археологических останков. Здания и памятники прошлого очень редко сохраняются полностью, и археологические раскопки не всегда дают достаточно информации для реконструкции оригинальных параметров памятника и его полной высоты. Кроме того, не в каждом случае археологические раскопки можно довести до конца, так как они находятся в зонах конфликтов или не имеют финансирования. Поэтому археологи основывают гипотезы на аналогиях, старых рисунках и описаниях, предыдущих исследованиях. В настоящее время 3D-моделирование может быть также применено для того, чтобы подтвердить наши предположения о реконструкции и интерпретации по архитектуре древних памятников.

В частности, анализ видимости и акустики в 3D был применён для получения информации по руинам нескольких римских театров на Крите (Греция). Эта методика может быть успешно использована в случае со зданиями, предназначенными для представлений (такими как театры, Одеон, амфитеатры и т. п.), структура которых предполагала возможность воочию видеть и слышать всех выступающих. Исходя из этого предположения, мы можем сделать тесты, состоящие из добавления или исключения неопределённых архитектурных элементов из 3D-модели памятника, с последующей проверкой их пригодности с точки зрения обзорности и акустики.

Ключевые слова: 3D-моделирование, трёхмерный анализ обзора, виртуальный анализ акустики, римские театры

Keywords: 3D-modelling, 3D-visibility analysis, virtual acoustics analysis, Roman theaters

Перевод О. Б. Дворецкой

Чисако Миямаэ, Фууюко Йошимура, Атсуши Ногучи, Хироюки Камэи

МЕТОД ОЦЕНКИ ГЛАДКОСТИ ПОВЕРХНОСТИ КАМЕННЫХ ОРУДИЙ

Многочисленные археологические находки были преобразованы в трёхмерные образы путём трёхмерного сканирования или фотограмметрии. Огромные массивы этих данных хранятся в так называемых цифровых архивах. Эти трёхмерные данные часто используются для визуализации объектов в информационном обеспечении музеев, в программах виртуальной реальности.

Археологи обращают внимание на характерные отметины, являющиеся следами или свидетельствами использования артефакта. Эти отметины иногда видны на цифровых данных. Также компьютеры могут легко сравнить внешний контур артефакта с трёхмерными цифровыми данными. Но состояние поверхности артефакта редко имеет количественное выражение. Например, трудно сравнить гладкость или шероховатость каменного орудия количественными методами. Однако есть несколько устройств для измерения шероховатости, их трудно применить к археологическим находкам. В работе изучены подходы, применяемые к количественному определению при помощи цифровых данных состояния поверхности археологических находок, в частности каменных орудий. Затем обсуждается, можно ли таким методом выявить разницу между естественной затёртостью и искусственной полировкой.

Ключевые слова: цифровые архивы, гладкость, трёхмерный анализ, каменные орудия

Keywords: digital archives, smoothness, 3D data analysis, stone tool

Перевод О. Б. Дворецкой

Франко Николучи, Никола Амико

ИСПОЛНЕНИЕ ЛОНДОНСКОЙ ХАРТИИ ПРИ СОЗДАНИИ ВИРТУАЛЬНЫХ РЕКОНСТРУКЦИЙ

В ходе реставрации шедевра Вазари «Тайная вечеря», сильно пострадавшего от наводнения 1966 года, спустя полвека были применены недоступные ранее методы, и в настоящее время он снова экспонируется в базилике Санта-Кроче во Флоренции. Живопись была изначально выполнена для трапезной находящегося рядом монастыря Мурате, теперь она частично уничтожена или полностью изменена, настолько, что посетитель не в состоянии понять её исходный вид. Виртуальная реконструкция Мурате и трапезной была поручена музеем специалистам PIN и PRISMA. Эта реконструкция основывается на анализе сохранившихся остатков, архивных документов, архитектурных расчётов и для более мелких деталей – на конструктивных аналогиях. Всё это составляет впечатляющую часть работы, но, как обычно, очень трудно зафиксировать и донести до посетителей и учёных черновую работу, сделанную группой историков архитектуры, архитекторов и археологов, предшествовавшую тому, что мы называем убедительной реконструкцией здания, трапезной внутри него и доминирующего положения живописного полотна в этом большом зале. Поэтому команда разработала систему ссылок на документы, соответствующие деталям реконструкции (текст, изображения, рисунки) в двух версиях: упрощённой – для посетителей музея, и более полной – для специалистов. Насколько нам известно, это первое оперативное соблюдение принципов Лондонской хартии, и демонстрирует методику, которой полезно придерживаться при дальнейших реконструкциях.

Ключевые слова: виртуальные реконструкции, Лондонская хартия

Keywords: virtual reconstructions, London Charter

Перевод О. Б. Дворецкой

Джиневра Николучи, Паоло Джульерини,
Симона Рафанели, Никола Амико, Чинция Лудди,
Вирджиния Николучи, Кристина Пуги

ВИРТУАЛЬНОЕ ЗАПОЛНЕНИЕ ЛАКУН В МУЗЕЯХ

Организация экспозиции в музее имеет первостепенное значение и отличается от хранения предметов искусства или археологических находок в фондах. Однако часто случается так, что тщательно продуманная концепция нарушается из-за пустых мест, которые разрывают ход коммуникации, как непонятные или пропущенные слова в разговоре. В докладе будут обсуждаться способы заполнения этих лакун. Один из типичных случаев пустоты обычно вызван перемещением экспоната на реставрацию или, что бывает очень часто, на временную выставку. «Виртуальный паспорт», предложенный PRISMA, является решением, он заменяет получившиеся лакуны возможностью виртуально включить текущее местонахождение экспоната в музейное повествование. Будет показано приложение для Национального музея в Неаполе (MANN). Лакуны также часто вызваны игнорированием потребностей посетителей, в частности, их особых потребностей. Несколько приложений виртуальной реальности, разработанных PRISMA для юных посетителей, для глухих, для посетителей с физическими ограничениями и психическими расстройствами, также будут представлены. Примерами послужат некоторые археологические музеи Тосканы.

Ключевые слова: виртуальные музеи, доступность, особые потребности

Keywords: virtual museums, accessibility, special needs

Перевод О. Б. Дворецкой

Джоп Орбонс

ГИС-ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ ПОДЗЕМНЫХ КАМЕННЫХ ВЫРАБОТОК

Область близ Маастрехта на юге Нидерландов насчитывает около пятисот подземных выработок и шахт, датирующихся от неолита до средневековья, и даже современной эпохой холодной войны. Более 500 км галерей в темноте, холоде и сырости создают невидимый подземный ландшафт. Хотя он и скрыт, он наполнен историей, археологией и местными достопримечательностями.

Заброшенность этих тоннелей делает их непопулярными для охраны и изучения, но при помощи ГИС может быть показана их примечательность. Анализ подземных галерей даёт представление о технологиях добычи подземных ископаемых и может быть соотнесён с историческими источниками. Такое исследование позволит оценить, сколько людей были заняты в промысле или работали на производстве. Это похоже на извлечение археологии из темноты подземелий на свет и представление её значения для науки и обществу.

Ключевые слова: визуализация в ГИС, ГИС-аналитика, индустриальная археология, каменные выработки, добыча кремня

Keywords: GIS visualisation, GIS analysis, industrial archaeology, stone quarrying, flint mining

Перевод О. Б. Дворецкой

Альфонсина Пагано, Даниэль Фердани, Ева Пьетрони, Гергей Сенте,
Сильвия Бартус-Сёлёши, Асунта Шаррилло, Энцо д'Аннибале

КОРОБКА С ИСТОРИЯМИ. ИННОВАЦИОННАЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ВИТРИНА ДЛЯ ОБЩЕНИЯ С МУЗЕЕМ

В рамках проекта Европейской комиссии «Соединяя европейские коллекции ранне-го средневековья» (СЕМЕС) был разработан новый тип мультимедийной инсталляции для выставки, которая будет путешествовать между музеями Европы до конца 2019 года. Инсталляция задумана так, чтобы создать устойчивую связь между реальными предметами и виртуальным содержанием, заключённым в голографической витрине. В этой витрине выставлен настоящий артефакт, и, благодаря виртуальным проекциям на него и вокруг него, он вновь «возвращён к жизни»: зрители могут видеть и слышать фрагменты из его истории, образы, события, голоса. Коммуникация построена на трёх концептуальных уровнях: нейтральное созерцание объекта, аналитический взгляд на его детали и погружение в контекст/интерпретация назначения и функции.

Реконструкция интерпретаций и условного масштаба, который существует по ту сторону от появляющегося предмета, даёт посетителю возможность воспринимать смешанную реальность и получить интересный познавательный опыт.

Повествование используется как фундаментальный инструмент для гармоничного совмещения текстов, изображений, света, звука, настроения и атмосферы с целью сочинения экспрессивной единицы, в которой предмет является главным героем. Безусловно, драматургия также занимает соответствующее место.

Первый пример, который будет представлен наряду со всем процессом разработки, посвящён мечу из Кунагота (медье Бекеш), принадлежавшему аварскому воину VII века н. э., в настоящее время хранящемуся в Венгерском национальном музее в Будапеште. Там инсталляция демонстрировалась с начала марта до середины мая 2017 года. После этого переехала в музей Алларда Пирсона в Амстердаме в рамках первой большой выставки проекта СЕМЕС, прошедшей с сентября 2017 по апрель 2018 года. Эффективность подобного цифрового повествования была проверена на опыте пользователей, оценённом в обоих музеях. В результате выяснилось, что конкретная вовлечённость посетителя через повествование имеет прогнозируемый образовательный эффект.

Ключевые слова: виртуальный музей, голографическая витрина, смешанная реальность, раннесредневековые музейные коллекции, повествование, оценка пользовательского опыта, когнитивный опыт, приложение с повествованием, подразумеваемая возможность

Keywords: virtual museum, holographic showcase, mixed reality, early medieval museum collections, storytelling, user experience evaluation, cognitive experience, pedagogical affordances

Перевод О. Б. Дворецкой

Nikita Pikov, Ivan Rudov, Alexei Kovalev, Vladimir Melnikov, Marina Pertseva

TIME TO REVOLVE THE STONES...

Digital modelling of the deer stones by photogrammetry in frame of an exhibition project was aimed to solve two problems. On the one hand, the long-term research of the Central Asian Expedition was presented to the museum visitors with the help of a mobile application with

augmented reality. The most impressive stones could be studied from any side, turned, and images could be magnified. On the other hand, the conclusions on usability of the photos based on the practical experience will help specialists with photographing complex or fragmented objects for future 3D-modelling and dissemination.

Keywords: photogrammetry, deer stones, Mongolia, AR, virtual exhibition

Ключевые слова: фотограмметрия, оленные камни, Монголия, дополненная реальность, виртуальная выставка

Translated by Daria Hookk

Сельма Ризвич

ЦИФРОВОЕ ПОВЕСТВОВАНИЕ О ПОДВОДНОМ КУЛЬТУРНОМ НАСЛЕДИИ – ГОРИЗОНТЫ 2020, ПРОЕКТ IMARECULTURE

Памятники подводного культурного наследия доступны только ныряльщикам. Поэтому их рассказы недоступны широкой публике. Проект iMARECulture по программе H2020 (Горизонты 2020) открывает сокровища каждому, используя оцифрованное повествование в сочетании с инновационными цифровыми технологиями, повышая уровень информированности об общеевропейской идентичности.

Цель проекта состоит в преодолении временных и пространственных барьеров с помощью VR и AR на основе игрового принципа и интегрированного повествования, визита в музей с голографическими экранами или кубами виртуальной реальности и дополненная реальность на подводных (UW) планшетах в подводном археопарке. Мы будем использовать интерактивное цифровое повествование, симуляторы виртуальной и дополненной реальности, гибриды игр отслеживания и программирование стратегий как методы передачи археологических данных о подводных памятниках и их историческом контексте пользователям Сети и посетителям музея. Географические сведения о древних морских путях, как и трёхмерная цифровая библиотека кораблей и амфор, будут находиться в широком доступе для публики через веб-репозиторий.

Ключевые слова: подводное культурное наследие, виртуальная реальность, дополненная реальность, серьёзные игры, интерактивный цифровой сторителлинг, ЖК-дисплеи с положительным дихроизмом, гибридный трекинг

Keywords: underwater cultural heritage, virtual reality, augmented reality, Serious Games, interactive digital storytelling, light field displays, hybrid tracking

Перевод О. Б. Дворецкой

Guzel Saifutdinova, Gulnur Vafina

3D-visualisation of the gravestones and territory of the cemetery Bish-Balta

A 3D-model of the cemetery Bish-Balta and its environment was created in ArcScene module. Topographic and field survey data were collected and arranged within the ArcGIS program environment. The database consists of various types of data including spatial data, photos of gravestones and information about archaeological finds. The 3D-model of the landscape was based on geodetic survey (altitude marks), recent space images and photos of the gravestones. The sequence of operations for 3D-modelling is as follows:

- modelling a landscape with the help of the altitude marks, contours and hydrology;
- adding communications and infrastructure: roads, buildings, fences, constructions, power lines and other objects with basic altitude marks helping to place them on the surface;
- adding to the model single objects (gravestones) using ArcScene 3D-symbols library;
- the formation of the 3D model comprising environment, study area and the gravestones in it and making the model as close as possible to the original

The 3D-model of a landscape was designed with 3D Analyst module using altitude marks in Topo Base tool. Point (gravestones, trees, pits of power line etc.) and Linear (roads, power lines, fences) objects simulating the real objects from the area of monument, were presented by symbols from the 3D Analyst Library of Styles. The final model allowed us to carry out spatial analyses, consider the influence of relief and hydrography on the territory of the cemetery and to fix the limits of the cemetery.

Keywords: 3D-modelling, object of archaeological heritage, GIS technologies, gravestones, photogrammetry

Ключевые слова: трёхмерные модели, объект археологического наследия, геоинформационные технологии, надгробные камни, фотограмметрия

Translated by Olga Dvoretzkaya

Марион Шайблер, Йорг Фассбиндер, Кристиан Швайцер, Манфред Бёме

ЛАНДШАФТНАЯ АРХЕОЛОГИЯ И СТАРЕЙШИЕ МОНУМЕНТАЛЬНЫЕ СТРОЕНИЯ В ОМАНЕ – МАГНИТОМЕТРИЯ ОКОЛО ГЕОМАГНИТНОГО ЭКВАТОРА

Памятники Всемирного наследия ЮНЕСКО Бат, Эль-Хутм и Эль-Айн представляют собой наиболее целостный и хорошо сохранившийся, из всех существующих в мире, комплекс поселений и некрополей III тысячелетия до н. э. и относятся к двум периодам: хафиты (калиброванные даты 3100–2700 до н. э.) и Умм ан-Нар (калиброванные даты 2700–2000 до н. э.). Изучение поселения археологическими методами началось в 1970-х. В 2004 году немецкая группа начала проект «Исследование и реставрация Бата», и первые магнитные разведки с цезиевым магнитометром в полевой комплектации в 2006 году обнаружили две значительные округлые аномалии. Последующие измерения цезиевым магнитометром были проведены Университетом Тюбингена в Омане в 2017 году в рамках археологического проекта в Эль-Кашбахе. Магниторазведка показала план двух массивных зданий, подобных тем, что были выявлены в первую разведку, датирующихся III тысячелетием до н. э. Раскопки подтвердили датировку комплекса хафитским периодом, показав значение памятника для развития социального устройства в Северном Омане. Результаты обеих разведок были весьма поучительны. Сопоставление данных магниторазведки со спутниковыми картами и данными раскопок при помощи ГИС показали древний культурный ландшафт и позволили заглянуть под землю. Разведки производились около геомагнитного экватора, где малый угол наклона магнитного поля земли может усложнить расшифровку и интерпретацию магнитограмм.

Ключевые слова: ландшафтная археология, ГИС, магниторазведка, геомагнитный экватор, Оман, медный век (период Хафит)

Keywords: landscape archaeology, GIS, magnetometer survey, geomagnetic Equator, Oman, Hafit period

Перевод О. Б. Дворецкой

Марион Шайблер, Симон Мюль, Йорг Фассбиндер

МАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ШАХРИЗОРСКОЙ РАВНИНЕ В КУДСКОМ АВТОНОМНОМ РАЙОНЕ ИРАКА

При помощи магнитной съёмки могут быть выявлены структура и особенности архитектурных построек. Кроме того, мы получаем дополнительную информацию об изменениях древнего рельефа. В сочетании с археологическими разведками данные магнитометрии служат для реконструкции пространственной организации поселений, а также анализа длительности существования, степени урбанизации и организации. В качестве примера мы рассмотрим Вади-Шамлу в Шахризорской долине на северо-востоке Ирана, где находится более тридцати поселений. Из них несколько существовали длительное время и относятся к разным эпохам (Гирд-и Шамлу, Телл Бегон), большая часть – кратковременные поселения или фермы. На всех этих поселениях, датирующихся от эпохи неолита до Сасанидского времени, проводились археологические раскопки. За ними последовали магнитные разведки, обнаружившие следы поселений и храм парфянской эпохи. Две геофизические кампании по изучению сельских поселений в Вади-Шамлу были организованы в 2017 году и выявили разнообразные археологические объекты, в том числе здания с рядами помещений, внутри которых находились печи или очаги, а также доказательства изменений окружающей среды. Такие объекты ещё не были известны в данном регионе. Основная цель состоит в совмещении геофизических и археологических данных, полученных в ходе полевых работ, и получении информации о древнем историческом периоде. Статья представляет данные магниторазведки в Шахризорской долине и суммирует первые результаты исследования сельских поселений в центре долины Вади-Шамлу. Последующие археологические исследования будут опираться на эти данные. Наконец, в перспективе – изучение Курдистана археологическими методами на основе результатов данного проекта.

Ключевые слова: магнитометрия, иракский Курдистан, ландшафт, поселение, разведки

Keywords: magnetometry, Iraqi Kurdistan, landscape, settlement, survey

Перевод О. Б. Дворецкой

Питер Шиан, Дмитрий Карелин, Мария Карелина, Татьяна Житпелёва

РЕКОНСТРУКЦИЯ ДИОКЛЕТИАНОВСКОЙ КРЕПОСТИ ВАВИЛОН В ЕГИПТЕ: ИСТОЧНИКИ И АРГУМЕНТАЦИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ

Доклад посвящён реконструкции позднеримской крепости Вавилон, располагавшейся в районе, известном сегодня как Старый Каир. Начиная с конца XIX века это сооружение неоднократно исследовалось. С 1990-х годов проводились систематические археологические исследования, совмещённые с работами по реконструкции и консервации района Старого Каира и понижению уровня грунтовых вод на её территории. Результаты этих работ были опубликованы.

С одной стороны, Вавилон представлял собой типичную крепость диоклетиановского времени, однако, с другой, имел ряд уникальных особенностей:

- крепость была построена поверх ранней каменной набережной времен Траяна в том месте, где древний канал Amnis Trajanus соединялся с Нилом;
- археологические и письменные источники свидетельствуют, что мост через Нил вёл к западным воротам крепости;
- укрепления крепости были намного массивнее, чем у любой другой диоклетиановской крепости для comitates в Египте.

Последние археологические исследования показали неплохую сохранность южной части крепости ниже современного уровня земли. Выше уровня земли относительно неплохо сохранились южные ворота с построенной над ними коптской «Висящей» церковью (аль-Муаллака), а также две круглые башни, одна из которых была превращена в греческую церковь Св. Георгия (Мари Гиргис).

Цель реконструкции – рассмотреть архитектурные и конструктивные особенности южных ворот, круглых башен, фланкировавших Amnis Trajanus, и показать, как крепость могла восприниматься со стороны Нила. Отдельной задачей является классификация имеющихся источников и иллюстрация степени аргументированности отдельных решений, принятых в реконструкции.

Ключевые слова: Египет, римская крепость, Вавилон, Старый Каир, 3D-реконструкция

Keywords: Egypt, Roman fortress, Babylon, Old Cairo, 3D-reconstruction

Перевод Д. А. Карелина

Ivan Sokolovski

BLENDER AS A TOOL FOR SOCIAL AND CULTURAL RESEARCH

Social history of architecture is a very rare phenomenon. Sometimes historians describe social destination and meaning of architectural monuments, regular buildings in urban environment, particularly when a monument plays a role of social manifesto (Saint Petersburg, utopias etc.).

Scientific research problems can be solved easily if the constructions are preserved, but if they are lost, the investigation depends on documents, archaeological excavations and objects that have to be reconstructed, and, what is more, every type of information source follows its own logic. A 3D-reconstruction can aggregate all the approaches mentioned.

Blender, as freeware cross-platform professional package for the 3D-modelling, shows perfect results in reconstruction of historical landscape on micro- and macro- levels. It allows a designer to make separate buildings and constructions as well as the landscape complexes and it is integrated in other cross-platform software.

Keywords: social history of architecture, 3D-reconstruction, modelling, Blender package

Ключевые слова: социальная история архитектуры, 3D-реконструкция, моделирование, пакет программ Blender

Translated by Olga Dvoretzkaya

Larissa Tataurova, Leonid Bykov, Andrei Firsov, Igor Zlygostnev, Andrei Savluk,
Alexander Kolesov, Alexander Sheremet, Alexander Svetleishy

ARCHAEOLOGY, GEODESY, GEOPHYSICS AS DATA SOURCES FOR THE RECONSTRUCTION OF MODERN RUSSIAN SETTLEMENTS IN SIBERIA

Interdisciplinary approaches are lately common in the archaeological studies of the Russian development of Siberia. The Russian settlement of Ananino in Tarsky region near Omsk (archaeological site Ananino) was used as a testbed for the application of modern methods. The long term work on the site results have become approved techniques of land survey on the archaeological site, including remote sensing and monument landscape modelling. The subsequent 3D-reconstructions of the excavated objects were based on them. The layout of settlement was corrected with magnetic survey. The materials of excavations and remote sensing are included in the library of benchmarks for the analysis of space photos and magnetic survey. Thus, the new possibilities of interpretation of excavated structures and reconstruction

of ancient environment, life-support systems and local aspects of monuments (location, structure, limits of anthropogenic impact) appear.

Research provided by Russian Scientific Foundation (project №14-50-00036).

Keywords: archaeology, geodesy, geophysics, reconstructions, 3D-modelling

Ключевые слова: археология, геодезия, геофизика, реконструкции, 3D-моделирование

Translated by Olga Dvoretzkaya

Andrei Firsov, Igor Zligostev, Olga Pozdnyakova, Andrei Savluk,
Alexander Vasilevskiy

MAGNETIC SURVEY WITH UAV: NEW OPPORTUNITIES IN ARCHAEOLOGY

A new magnetometer probe installed on a drone (UAV) was developed by the IPGG SB RAS and tested together by the specialists of IAE SB RAS on archaeological sites in the Novosibirsk region. The advantages of the new equipment were proved on various monuments (e.g., ground burials, kurgan burials, and hillforts), where magnetic prospection had already been done. This paper presents our methods of research and compares the results of survey conducted on the ground and that obtained from the air. The perspectives of the new technology for the archaeological sites are evaluated.

Keywords: archaeology, magnetometry, drones

Ключевые слова: археология, магнитометрия, БПЛА

Translated by Olga Dvoretzkaya

Сорин Хермон

ТРЁХМЕРНЫЙ АНАЛИЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ АРТЕФАКТОВ – ОТ КЛАССИФИКАЦИИ И ТИПОЛОГИИ К ВИРТУАЛЬНЫМ ЭКСПЕРИМЕНТАМ

Остатки материальной культуры находятся в центре внимания любого археологического исследования, будь то находки, памятники, здания или какие-то другие конструкции. Изучение их вещественной составляющей и обстоятельств обнаружения превалируют в археологических исследованиях. Описание древних культур и их производных компонент (социальные, экономические, духовные и др.) основывается на классификации и сравнении артефактов, изучении производства и способов использования. Такой анализ традиционно проводится с применением методологии технологических цепочек, которая определяет некоторые стадии исследования, концентрируясь на добыче и изменении материалов, способов их обработки, использовании артефактов и отказ от них. Дополнительную помощь археологическим интерпретациям оказывают эксперименты (современное изготовление предметов и их использование) или трасологический анализ (исследование, чаще под микроскопом, следов использования предметов). Доклад представляет некоторые примеры применения метода технологических цепочек на основе трёхмерного анализа, в частности по контуру, деформации поверхности и сравнении геометрических параметров. Примеры варьируются от верхне-палеолитических и неолитических тёрочников до фигурок и печатей периодов поздней бронзы и архаики на Кипре (XII–VII века до н. э.).

Ключевые слова: анализ поверхности, сложная геометрия, виртуальное экспериментирование

Keywords: surface analysis, complex geometry, virtual experimentation

Перевод О. Б. Дворецкой

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ / LIST OF ABBREVIATIONS

АМА	Античный мир и археология
БПЛА	беспилотный летательный аппарат
ВМК	вычислительная математика и кибернетика
ГБУК	государственное бюджетное учреждение культуры
ГИС	геоинформационная система
ГНСС	глобальная навигационная спутниковая система
ИА НАНУ	Институт археологии НАН Украины
ИАЭТ	Институт археологии и этнографии Сибирского отделения Российской академии наук
ИИМК РАН	Институт истории материальной культуры Российской академии наук
ИИС	информационно-измерительная система
ИНГГ	Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука
ИрГТУ	Иркутский государственный технический университет
ИРНТУ	Иркутский национальный исследовательский технический университет
ЛАПиСЖНСА	Лаборатория археологии, палеоэкологии и систем жизнедеятельности народов Северной Азии
МАРХИ	Московский архитектурный институт (государственная академия)
МАЗ РАН	Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) Российской академии наук
МЦАЭ	Международная Центральноазиатская археологическая экспедиция
НАН	Национальная академия наук
РГНФ	Российский гуманитарный научный фонд
РГПУ	Российский государственный педагогический университет
РФФИ	Российский фонд фундаментальных исследований
САИПИ	Сибирская Ассоциация исследователей первобытного искусства
СНС	спутниковая навигационная система
СО РАН	Сибирское отделение Российской академии наук
СПбГУ	Санкт-Петербургский государственный университет
ФГАОУ ВО	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
ФГБУН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
BLfD	Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege
CNR-ITABC	Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali
F.O.R.T.H.	Foundation for Research and Technology Hellas
GPS	Global Positioning System
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität München
МАЕС	Museo dell'Accademia Etrusca e della Città di Cortona
MAIF	Museo archeologico "Isidoro Falchi"
MANN	Il Museo Archeologico Nazionale di Napoli
MCiFA	Member of the Chartered Institute for Archaeologists
NAS	National Academy of Sciences
RAS	Russian Academy of Sciences
STARC	Science and Technology in Archaeology Research Center

СПИСОК АВТОРОВ / LIST OF AUTHORS

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

АХТАМЗЯН Амир Ильдарович
Цифровые технологии в музее,
студия ITMUS.RU
info@itmus.ru

АХТАМЗЯН Нурлан Ильдарович
Цифровые технологии в музее,
студия ITMUS.RU
info@itmus.ru

БОРИСОВА Светлана Викторовна
Юрьев-Польский историко-архитектурный
и художественный музей

БЫКОВ Леонид Васильевич, канд. техн. наук
Кафедра геодезии и дистанционного
зондирования,
Омский государственный аграрный
университет
blv-55@yandex.ru

БАВУЛИН Михаил Викторович
Национальный исследовательский Томский
государственный университет

ВАСИЛЕВСКИЙ Александр Николаевич
Новосибирский государственный
университет
VasilevsiyAN@ipgg.sbras.ru

ВАФИНА Гульнур Харисовна
Институт археологии им. А. Х. Халикова
Академии наук Республики Татарстан

ВОДЯСОВ Евгений Вячеславович,
канд. ист. наук
Национальный исследовательский Томский
государственный университет

ГУК Дарья Юрьевна, маг. техн. наук,
канд. филол. наук
Государственный Эрмитаж
hookk@hermitage.ru

RUSSIAN FEDERATION

AKHTAMZYAN Amir
Studio ITMUS.RU

AKHTAMZYAN Nurlan
Studio ITMUS.RU

BORISOVA Svetlana
Yuriev-Polsky Historic-Architectural and Arts
Museum

BYKOV Leonid, PhD
Omsk State Agrarian University

VAVULIN Mikhail
Tomsk State University

VASILEVSKIY Alexander
Novosibirsk State University

VAFINA Gulnur
Institute of Archaeology
of AS of Tatarstan Republic

VODYASOV Evgeny
Tomsk State University

HOOKK Daria, PhD
State Hermitage Museum

ГУРЦАКОВ Андрей Юрьевич
Национальный исследовательский южно-уральский государственный университет.
Филиал в г. Нижневартовске

ДЕМИДЕНКО Сергей Викторович
Институт археологии РАН

ДУДИН Андрей Игоревич
Российский государственный
гидрометеорологический университет

ЖИТПЕЛЁВА Татьяна Игоревна
МАРХИ

ЗАЙЦЕВА Ольга Викторовна, канд. ист. наук
Национальный исследовательский Томский
государственный университет
snori76@mail.ru

ЗЛЫГОСТЕВ Игорь Николаевич
ФГБУН Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука
СО РАН (ИНГГ СО РАН)
ZligostevIN@ipgg.sbras.ru

ЗУБОВА Алиса Владимировна
Музей антропологии и этнографии
им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН,
Институт археологии и этнографии СО РАН
zubova_al@mail.ru

ИСАЕВ Дмитрий Игоревич
Российский государственный
гидрометеорологический университет

КАРЕЛИН Дмитрий Алексеевич, канд. искусств.
МАРХИ
dmitry.a.karelin@gmail.com

КАРЕЛИНА Мария Алексеевна
МАРХИ

КОВАЛЕВ Алексей Анатольевич
Институт археологии РАН
chemurchek@mail.ru

GURTSAKOV Andrei
South Ural State University, Nizhnevartovsk
Branch

DEMIDENKO Sergei
Institute of Archaeology of RAS

DUDIN Andrei
Russian State Hydrometeorological University

ZHITPELEVA Tatiana
Moscow Institute of Architecture
(State Academy)

ZAITSEVA Olga, PhD
Tomsk State University

ZLYGOSTEV Igor
Federal State Budgetary Scientific Institution
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and
Geophysics of Siberian Branch of RAS
(IPGG SB RAS)

ZUBOVA Alice
Peter the Great Museum of Anthropology and
Ethnography of RAS (the Kunstkamera),
Institute of Archaeology and Ethnography
of Siberian Branch of RAS

ISAEV Dmitry
Russian State Hydrometeorological University

KARELIN Dmitry
Moscow Institute of Architecture (State
Academy)

KARELINA Maria
Moscow Institute of Architecture (State
Academy)

KOVALEV Alexei
Institute of Archaeology of RAS

КОЛЕСОВ Александр Сергеевич
ФГБУН Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука
СО РАН (ИНГГ СО РАН)
kolesovas@ipgg.sbras.ru

КУЛЬКОВ Александр Михайлович
Ресурсный центр рентген-дифракционных
методов исследований Санкт-Петербургского
государственного университета

КУЛЬКОВА Марианна Алексеевна,
канд. геол.-мин. наук
Санкт-Петербургский государственный
педагогический университет
им. А. И. Герцена
aguacrystals@yandex.ru

МАЛКОВ Фёдор Сергеевич
Институт динамики систем и теории
управления им. В. М. Матросова СО РАН,
iksut@yandex.ru

МЕЛЬНИКОВ Владимир Леонидович,
канд. культурологии
Санкт-Петербургский государственный
музей-институт семьи Рерихов
vm@roerich.spb.ru

МОИСЕЕВ Вячеслав Григорьевич,
канд. ист. наук
Музей антропологии и этнографии
им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН

НЕВСКАЯ Ирина Анатольевна
Горно-Алтайский государственный
университет

ПЕРЦЕВА Марина Александровна
Санкт-Петербургский государственный
музей-институт семьи Рерихов

ПИКОВ Никита Олегович
Сибирский федеральный университет
nikita.pikov@mail.ru

ПОЗДНЯКОВА Ольга Анатольевна
Институт археологии и этнографии СО РАН
olka.pozdnyakova@gmail.com

KOLESOV Alexander
Federal State Budgetary Scientific Institution
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and
Geophysics of Siberian Branch of RAS
(IPGG SB RAS)

KULKOV Alexander
Saint Petersburg State University

KULKOVA Marianna, PhD
Saint Petersburg State Pedagogical University

MALKOV Fedor
Institute of System Dynamics and Theory
of Control of the Siberian Branch of RAS

MELNIKOV Vladimir, PhD
Roerich Family Museum and Institute

MOISEEV Vyacheslav
Peter the Great Museum of Anthropology and
Ethnography of RAS (the Kunstkamera),
Institute of Archaeology and Ethnography
of Siberian Branch of RAS

NEVSKAYA Irina
Gorno-Altai State University

PERTSEVA Marina
Roerich Family Museum and Institute

PIKOV Nikita
Siberian Federal University

POZDNYAKOVA Olga
Institute of Archaeology and Ethnography
of Siberian Branch of RAS

ПРЯМУХИН Алексей Николаевич
ГБУК «Волгоградский научно-
производственный центр по охране
памятников истории и культуры»

ПУШКАРЁВ Андрей Александрович
Национальный исследовательский Томский
государственный университет
supdron@gmail.com

РУДОВ Иван Николаевич
Сибирский федеральный университет
rudov.ivan@gmail.com

САВЛУК Андрей Васильевич
ФГБУН Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука
СО РАН (ИНГГ СО РАН)
SavlukAV@ipgg.sbras.ru

САЙФУТДИНОВА Гузель Маратовна
Институт археологии им. А. Х. Халикова
Академии наук Республики Татарстан
saif_gm@mail.ru

СВЕТЛЕЙШИЙ Александр Захарович
ООО «Рось-2015»

СВОЙСКИЙ Юрий Михайлович
«Лаборатория RSSDA»
rssda.lab@gmail.com

СОКОЛОВСКИЙ Иван Ростиславович,
канд. ист. наук
Институт истории СО РАН
sokolowski@yandex.com

ТАТАУРОВА Лариса Вениаминовна,
канд. ист. наук
Омский филиал Института археологии
и этнографии СО РАН
li-sa65@mail.ru

ТЫБЫКОВА Лариса Николаевна
Горно-Алтайский государственный
университет

ФИРСОВ Андрей Петрович,
канд. геол.-мин. наук
ФГБУН Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
(ИНГГ СО РАН)
FirsovAP@ipgg.sbras.ru

PRYAMUKHIN Alexei
Volgograd Scientific Center on Monuments
Protection

PUSHKAREV Andrei
Tomsk State University

RUDOV Ivan
Siberian Federal University

SAVLUK Andrei
Federal State Budgetary Scientific Institution
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and
Geophysics of Siberian Branch of RAS
(IPGG SB RAS)

SAIFUTDINOVA Gusel
Institute of Archaeology of AS of Tatarstan
Republic

SVETLEISHY Alexander
Limited liability company "Ros'-2015"

SVOISKIY Yuri
"Laboratory RSSDA"

SOKOLOVSKI Ivan, PhD
Institute of History of Siberian Branch of RAS

TATAUROVA Larissa, PhD
Omsk Affiliation of Institute of Archaeology and
Ethnography of Siberian Branch of RAS

TYBYKOVA Larissa
Gorno-Altai State University

FIRSOV Andrei
Federal State Budgetary Scientific Institution
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and
Geophysics of Siberian Branch of RAS
(IPGG SB RAS)

ХАРИНСКИЙ Артур Викторович
Иркутский национальный исследовательский
технический университет
kharinsky@mail.ru

ХАРТАНОВИЧ Валерий Иванович,
канд. ист. наук
Музей антропологии и этнографии
им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН

ШЕРЕМЕТ Александр Сергеевич
ФГБУН Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука
СО РАН (ИНГГ СО РАН)
sheremetas@ipgg.sbras.ru

ИТАЛИЯ

АМИКО Никола
PRISMA

д'АННИБАЛЕ Энцо
CNR-ITABC

ФЕРДАНИ Даниэль
CNR-ITABC, Италия

ДЖУЛЬЕРИНИ Паоло
MANN-MAEC

ЛУДДИ Чинция
PRISMA

НИКОЛУЧИ Франко
PIN

НИКОЛУЧИ Джиневра
PRISMA

НИКОЛУЧИ Вирджиния
PRISMA

ПАГАНО Альфонсина
CNR-ITABC

ПЬЕТРОНИ Ева
CNR-ITABC

ПУГИ Кристина
PRISMA

KHARINSKY Artur
Irkutsk National Research Technical University

KHARTANOVICH Valery
Peter the Great Museum of Anthropology
and Ethnography of RAS (the Kunstkamera)

SHEREMET Alexander
Federal State Budgetary Scientific Institution
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and
Geophysics of Siberian
Branch of Russian Academy of Sciences
(IPGG SB RAS)

ITALY

AMICO Nicola
PRISMA

d'ANNIBALE Enzo
CNR-ITABC

FERDANI Daniele, PhD
CNR-ITABC
daniele.ferdani@itabc.cnr.it

GIULIERINI Paolo
MANN-MAEC

LUDDI Cinzia
PRISMA

NICCOLUCCI Franco
PIN
franco.niccolucci@gmail.com

NICCOLUCCI Ginevra
PRISMA
ginevra.niccolucci@gmail.com

NICCOLUCCI Virginia
PRISMA

PAGANO Alfonsina
CNR-ITABC

PIETRONI Eva
CNR-ITABC

PUGI Cristina
PRISMA

РАФАНЕЛЛИ Симона
MAIF

ШАРРИЛЛО Асунта
CNR-ITABC

ФРГ

АБАНДОВИЦ Сара
BLfD

БЕККЕР Флориан
LMU, BLfD

БЁМЕ Манфред
Независимый исследователь

ФАССБИНДЕР Йорг
BLfD, LMU

ФИДЕРЛИНГ Макс
Баварское общество подводной археологии

ГАСС Антон
Фонд прусского культурного наследия

ГРУБЕР Мартин
LMU

ХОФМАНН Ина
LMU

КАНЬЮТ Кэй
LMU

МЮЛЬ Симон
LMU

ПАРЦИНГЕР Герман
Фонд прусского культурного наследия

RAFANELLI Simona
MAIF

SCIARRILLO Assunta
CNR-ITABC

GERMANY

ABANDOWITZ Sarah
BLfD
Sarah.Abandowitz@blfd.bayern.de

BECKER Florian
LMU, BLfD
Florian.Becker@blfd.bayern.de

BÖHME Manfred
Independent researcher

FASSBINDER Jörg W. E., Prof., Dr.
LMU, BLfD
Joerg.Fassbinder@blfd.bayern.de

FIEDERLING Max
Bayerische Gesellschaft für
Unterwasserarchäologie e. V.
max_fiederling@web.de

GASS Anton
Prussian Cultural Heritage Foundation

GRUBER Martin, Dr.
LMU
Martin.gruber@vaa.fak12.uni-muenchen.de

HOFMANN Ina
LMU
HofmannIna@web.de

KANIUTH Kai, Dr.
LMU
Kaniuth@vaa.fak12.uni-muenchen.de

MÜHL Simone
LMU
Simone.Muehl@vaa.fak12.uni-muenchen.de

PARZINGER Hermann J. H., Prof. Dr.
Prussian Cultural Heritage Foundation
parzinger@hv.spk_berlin.de

ШАЙБЛЕКЕР Марион
LMU

ШВАЙЦЕР Кристиан
Независимый исследователь

ЯПОНИЯ

МИЯМАЭ Чисако
Токийский технологический институт

КАМЭИ Хироюки
Токийский технологический институт

НОГУЧИ Ацуши
Музей Университета, Токийский университет

ЙОШИМУРА Фуюко
Токийский технологический институт

УКРАИНА

БОНДАРЬ Ксения Михайловна
Киевский национальный университет
им. Тараса Шевченко

ДАРАГАН Марина Николаевна,
канд. ист. наук
ИА НАНУ
darmar@ukr.net

ПОЛИН Сергей Васильевич, канд. ист. наук
ИА НАНУ

ГРЕЦИЯ

МАНЦЕТТИ Мария Кристина
F.O.R.T.H., Институт средиземноморских
исследований

ПАРФЕНИОС Панайотис
Технический университет Крита

ВЕНГРИЯ

БАРТУС-СЁЛЁШИ Сильвия,
Национальный музей Венгрии

СЕНТЕ Гергей
Национальный музей Венгрии

SCHEIBLECKER Marion
LMU
scheiblecker@geophysik.uni-muenchen.de

SCHWEITZER Christian
Independent researcher

JAPAN

MIYAMAE Chisako
Tokyo Institute of Technology
miyamae.c.aa@m.titech.ac.jp

KAMEI Hiroyuki
Tokyo Institute of Technology

NOGUCHI Atsushi
University Museum, University of Tokyo

YOSHIMURA Fujiko
Tokyo Institute of Technology

UKRAINE

BONDAR Ksenia
Kiev National University

DARAGAN Marina, PhD
Institute of Archaeology of NAS

POLIN Sergei, PhD
Institute of Archaeology of NAS

GREECE

MANZETTI Maria Cristina, Ph.D. candidate
Laboratory of Geophysical-Satellite Remote
Sensing & Archaeo-Environment, F.O.R.T.H.
cristina@ims.forth.gr

PARTHENIOS Panagiotis
Department of Architectural Engineering,
Technical University of Crete

HUNGARY

BARTUS-SZÖLLŐSI Szilvia
Hungarian National Museum

SZENTHE Gergely
Hungarian National Museum

НИДЕРЛАНДЫ

ОРБОНС Джоан
ArcheoPro

ИСПАНИЯ

ГРЕВЦОВА Ирина
CETT-UB

СИБИНА Джоан
JOANSIBINA&partners

БОСНИЯ И ГЕРЦЕГОВИНА

РИЗВИЧ Сельма
Университет Сараево

КИПР

ХЕРМОН Сорин
STARC

ОБЪЕДИНЁННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ

ШИАН Питер
Управление туризма и культуры Абу Даби

THE NETHERLANDS

ORBONS Joep, MA, BSC, MCiFA
ArcheoPro
j.orbons@archeopro.nl

SPAIN

GREVTSOVA Irina, PhD
CETT-UB
irina.grevtsova.bcn@gmail.com

SIBINA Joan
JOANSIBINA&partners
jsibinat@gmail.com

BOSNIA AND HERZEGOVINA

RIZVIĆ Selma, PhD
University of Sarajevo
srizvic@etf.unsa.ba

CYPRUS

HERMON Sorin, PhD
STARC,
The Cyprus Institute
sorin.hermon@gmail.com

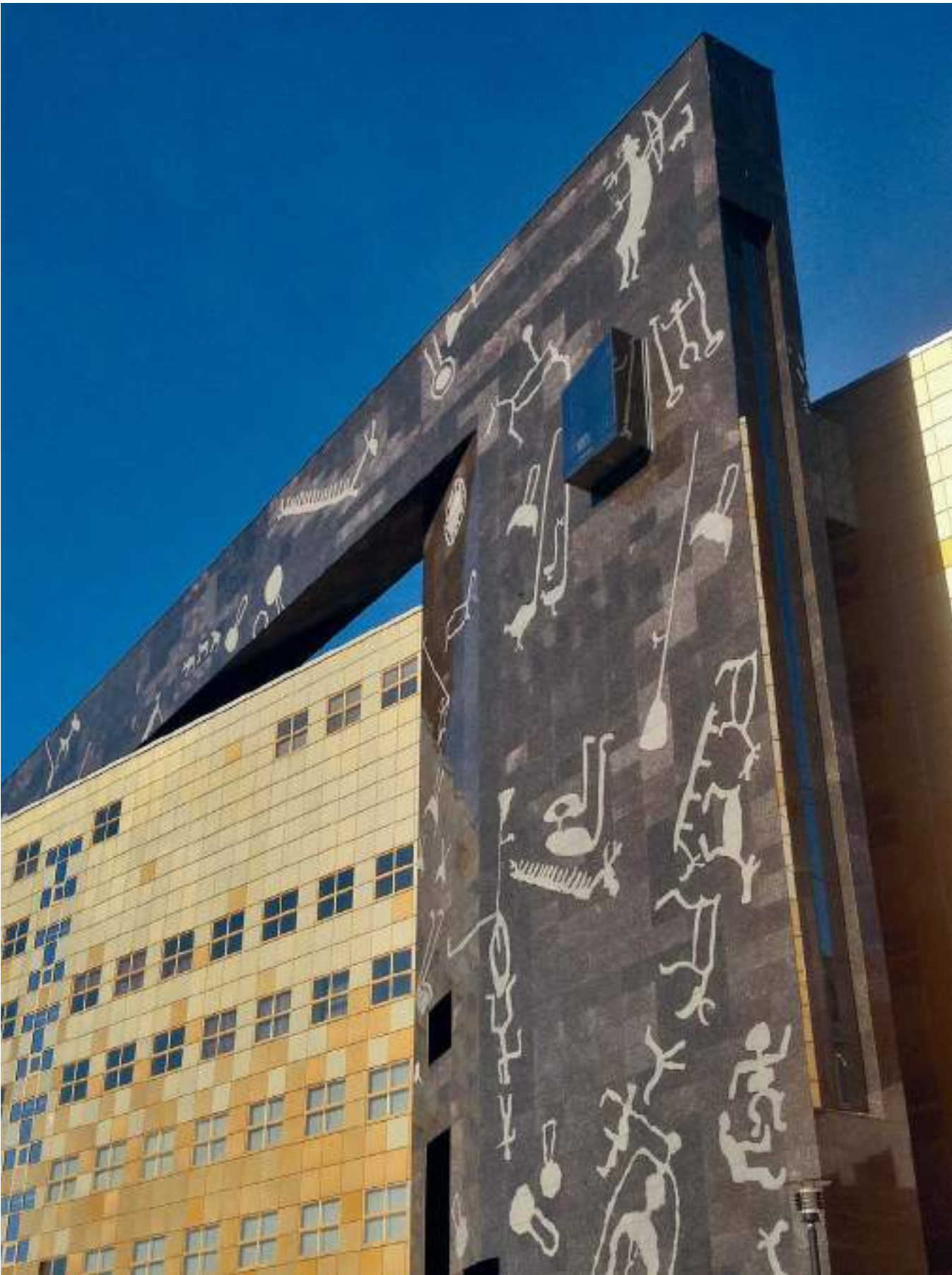
UNITED ARAB EMIRATES

SHEEHAN Peter
Abu Dhabi Tourism and Culture Authority

СОДЕРЖАНИЕ

Д. Ю. ГУК <i>От первой конференции по виртуальной археологии к Международному форуму</i>	6
Daria HOOKK <i>From the first conference on virtual archaeology to the International Forum</i>	7
А. И. АХТАМЗЯН, Н. И. АХТАМЗЯН <i>Реконструкция мимики и речи исторических персонажей на основе 3D-сканирования скульптур-реконструкций внешнего облика. Возможности, специфика работы и проблемы достоверности</i>	8
К. М. БОНДАРЬ, М. Н. ДАРАГАН, С. В. ПОЛИН <i>Моделирование пространства и реконструкция погребальной обрядности на скифском курганном могильнике по данным магнитометрии и археологических раскопок</i>	13
М. В. ВАВУЛИН, О. В. ЗАЙЦЕВА, И. А. НЕВСКАЯ, Е. В. ВОДЯСОВ, Л. Н. ТЫБЫКОВА <i>Документирование древнетюркских рунических наскальных надписей Горного Алтая на основе технологии фотограмметрии</i>	29
М. Н. ДАРАГАН, Ю. М. СВОЙСКИЙ <i>Картирование и морфометрический анализ внутреннего пространства Западного Бельского городища</i>	38
А. В. ЗУБОВА, А. М. КУЛЬКОВ, В. Г. МОИСЕЕВ, В. И. ХАРТАНОВИЧ <i>Результаты использования виртуального 3D-моделирования при изучении одонтологических находок эпохи палеолита из коллекции МАЭ РАН</i>	58
Jörg W. E. FAßBINDER, Florian BECKER, Sarah ABANDOWITZ <i>Aerial archaeology, airborne laserscan and magnetometer prospection at the Iron Age Oppidum Menosgada, Bavaria, Germany</i>	65
Jörg W. E. FAßBINDER, Marion SCHEIBLECKER, Florian BECKER, Kai KANIUTH, Martin GRUBER <i>Achaemenids in the Southern Caucasus: archaeological survey, geophysical prospection and excavation in Karačamirli (Azerbaijan) – an interdisciplinary approach towards interpretation</i>	69
Max FIEDERLING <i>Examples for structure from motion, 360-degree and other photo-based techniques for underwater archaeological documentation and for on-land presentations</i>	76
Anton GASS, Jörg W. E. FAßBINDER, Hermann PARZINGER, Sergei DEMIDENKO, Alexei PRYAMUKHIN, Ina HOFMANN <i>Early Iron Age kurgans and their periphery in the Trans-volga region: preliminary results of magnetometer prospection</i>	81
Irina GREVTSOVA, Joan SIBINA <i>Augmented, mixed and virtual reality. Techniques of visualization and presentation of archaeological heritage</i>	90
А. М. КУЛЬКОВ, М. А. КУЛЬКОВА <i>Применение рентгеновской 3D-микротомографии для исследования археологических артефактов</i>	104
Ф. С. МАЛКОВ, А. В. ХАРИНСКИЙ <i>Воссоздание малых недостающих фрагментов керамических сосудов с помощью методов виртуальной реконструкции и 3D-печати</i>	109
Maria Cristina MANZETTI, Panagiotis PARTHENIOS <i>A new methodology for ancient theatre architecture hypotheses verification</i>	115

Chisako MIYAMAE, Fujiko YOSHIMURA, Atsushi NOGUCHI, Hiroyuki KAMEI <i>Evaluation method for smoothness of the surface of stone tools</i>	126
Franco NICCOLUCCI, Nicola AMICO <i>Implementing the London Charter in virtual reconstructions</i>	132
Ginevra NICCOLUCCI, Paolo GIULIERINI, Simona RAFANELLI, Nicola AMICO, Ginzia LUDDI, Virginia NICCOLUCCI, Cristina PUGI <i>Virtually filling empty spaces in museums</i>	143
Joep ORBONS <i>GIS visualization and analyses of underground stone quarries</i>	152
Alfonsina PAGANO, Daniele FERDANI, Eva PIETRONI, Gergely SZENTHE, Szilvia BARTUS-SZÖLLÖSI, Assunta SCIARRILLO, Enzo D'ANNIBALE <i>The box of stories: user experience evaluation of an innovative holographic showcase to communicate with museum objects</i>	163
Н. О. ПИКОВ, И. Н. РУДОВ, А. А. КОВАЛЕВ, В. Л. МЕЛЬНИКОВ, М. А. ПЕРЦЕВА <i>Время разворачивать камни...</i>	179
Selma RIZVIĆ <i>Digital storytelling on underwater cultural heritage – H2020 iMARECulture project</i>	190
Г. М. САЙФУТДИНОВА, Г. Х. ВАФИНА <i>Трёхмерное представление намогильных камней и территории кладбища Биш-Балта</i>	199
Marion SCHEIBLECKER, Jörg W. E. FAßBINDER, Christian SCHWEITZER, Manfred BÖHME <i>Landscape archaeology and oldest monumental buildings in Oman – magnetometry near the geomagnetic equator</i>	204
Marion SCHEIBLECKER, Simone MÜHL, Jörg W. E. FAßBINDER <i>Magnetic investigations in the Shahrizor Plain, Iraqi Kurdistan</i>	216
Peter SHEEHAN, Dmitry KARELIN, Maria KARELINA, Tatiana ZHITPELEVA <i>Reconstruction of the Diocletianic fortress in Babylon of Egypt: sources and reconstruction argumentation</i>	224
И. Р. СОКОЛОВСКИЙ <i>Blender как инструмент для исторических исследований</i>	234
Л. В. ТАТАУРОВА, Л. В. БЫКОВ, А. П. ФИРСОВ, И. Н. ЗЛЫГОСТЕВ, А. В. САВЛУК, А. С. КОЛЕСОВ, А. С. ШЕРЕМЕТ, А. З. СВЕТЛЕЙШИЙ <i>Археология, геодезия и геофизика как источники для реконструкции планиграфии русских поселений нового времени в Сибири</i>	244
А. П. ФИРСОВ, И. Н. ЗЛЫГОСТЕВ, О. А. ПОЗДНЯКОВА, А. В. САВЛУК, А. Н. ВАСИЛЕВСКИЙ <i>Магнитная съёмка с БПЛА: новые возможности в археологии</i>	256
SORIN HERMON <i>Integrated digital approaches to the virtual restoration, re-unification and re-association of fragmented cultural heritage artifacts – the Eu-funded gravitate project</i>	265
SUMMARIES	271
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ / LIST OF ABBREVIATIONS	288
СПИСОК АВТОРОВ / LIST OF AUTHORS	289



Научное издание

ВИРТУАЛЬНАЯ АРХЕОЛОГИЯ
(с воздуха, на земле, под водой и в музее)

Материалы Международного форума

Редактор русского текста А. А. Золотова

Корректор русского текста А. С. Кутузова

Перевод резюме: О. Б. Дворецкая, Д. Ю. Гук и авторы

Макет и вёрстка: Е. Ю. Петухова

Обработка иллюстраций: И. В. Бондарь

Издательство Государственного Эрмитажа
190000, Санкт-Петербург, Дворцовая наб., 34

Подписано в печать 14.05.2018. Формат 84 × 108 1/16

Усл. печ. л. 31,5

Тираж 300 экз. Заказ 32

Отпечатано в типографии Государственного Эрмитажа
190000, Санкт-Петербург, Дворцовая наб., 34