



Published in the Russian Federation
Oriental Studies (Previous Name: Bulletin of the Kalmyk Institute
for Humanities of the Russian Academy of Sciences)
Has been issued as a journal since 2008
ISSN: 2619-0990; E-ISSN: 2619-1008
Vol. 15, Is. 5, pp. 1094-1109, 2022
Journal homepage: <https://kigiran.elpub.ru>



УДК / UDC 902/904

DOI: 10.22162/2619-0990-2022-63-5-1094-1109

Сохранение сырцовой архитектуры Тенгиз-Коргалжынской впадины с использованием 3D-технологий

Данияр Толегенович Глеугабулов¹, Азамат Талгатович Дукомбайев², Татьяна Васильевна Брынза³

¹ Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева (д. 2, ул. Сатпаева, 010000 Нур-Султан, Республика Казахстан)
старший преподаватель

 0000-0002-0829-0319. E-mail: danchitto@mail.ru

² Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева (д. 2, ул. Сатпаева, 010000 Нур-Султан, Республика Казахстан)
главный специалист сектора поддержки научных проектов

 0000-0002-4242-3648. E-mail: dukombaiev_1992@mail.ru

³ Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева (д. 2, ул. Сатпаева, 010000 Нур-Султан, Республика Казахстан)
старший преподаватель

 0000-0002-7921-6642. E-mail: tanechka83-83@mail.ru

© КалмНЦ РАН, 2022

© Глеугабулов Д. Т., Дукомбайев А. Т., Брынза Т. В., 2022

Аннотация. Статья описывает методику трехмерного документирования и визуализации. Целью исследования является сохранение и реконструкция основных форм и типов казахского мемориального зодчества методами визуальной археологии. *Материалы и методы.* Для начала были определены морфологические характеристики исследуемых объектов — сырцовых мавзолеев. В соответствии с ними была выбрана методика трехмерной визуализации. Сценарии фотографирования были разработаны в соответствии с рекомендациями разработчиков используемого программного обеспечения. Предельно четко описываются все этапы создания трехмерных моделей, начиная со сбора данных, описания характеристик используемого оборудования, приведение необходимых расчетов для съемки, непосредственно съемка и постобработка данных. Подробно расписан самый важный и ответственный момент исследования — съемка. Съемка проводилась с разных ракурсов, по результатам съемки с каждого ракурса формировался набор фотографий. Необходимо сделать достаточное количество качественных фотографий с разных ракурсов. Количество фотографий для каждого ракурса должно быть

максимально возможным — от 30–40 до нескольких сотен и тысяч. *Результаты.* Отмечается, что было сделано 6–8 наборов для каждого мавзолея. Всего на документирование одного объекта, с учетом дополнительных и запасных фотографий, приходилось 500–600 снимков. Большой объем работы выполнен в процессе обработки данных, которая проводилась в определенном порядке. Результатом этой работы стали трехмерные модели и визуализация исследованных мавзолеев. Сохранение памятников сырцовая архитектуры степи в цифровом формате — настоятельная необходимость, так как это исчезающий вид позднесредневекового мемориального зодчества, ведущего свое начало с древних эпох. Цифровые 3D-модели разрушающихся сырцовых мавзолеев всегда будут бесценны для науки как исторические источники, часть культурного наследия казахского этноса.

Благодарность. Статья подготовлена в рамках реализации научного проекта грантового финансирования Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан № AP08052281 «Сохранение памятников сырцовая архитектуры сакрального ландшафта Тенгиз-Коргалжынской впадины с использованием цифровых 3D-технологий». Авторы выражают благодарность директору Научно-исследовательского института археологии им. К. А. Акишева, кандидату исторических наук Марал Калымжановне Хабдулиной за участие и содействие в организации экспедиции, а также Вавулину Михаилу Викторовичу за помощь в создании 3D-моделей.

Ключевые слова: археология, сырцовая архитектура, сакральный ландшафт, 3D-моделирование, виртуальные реконструкции

Для цитирования: Тлеугабулов Д. Т., Дукомбайев А. Т., Брынза Т. В. Сохранение сырцовая архитектуры Тенгиз-Коргалжынской впадины с использованием 3D-технологий // *Oriental Studies*. 2022. Т. 15. № 5. С. 1094–1109. DOI: 10.22162/2619-0990-2022-63-5-1094-1109

Preserving Mudbrick Architecture of the Tengiz-Korgalzhyn Depression with 3D Technologies

Daniyar T. Tleugabulov¹, Azamat T. Dukombaiev², Tatyana V. Brynza³

¹ L. N. Gumilyov Eurasian National University (2, Satpayev St., 010000 Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan) Senior Lecturer

 0000-0002-0829-0319. E-mail: danchitto@mail.ru

² L. N. Gumilyov Eurasian National University (2, Satpayev St., 010000 Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan) Chief Expert of Scientific Projects Support Sector

 0000-0002-4242-3648. E-mail: dukombaiev_1992@mail.ru

³ L. N. Gumilyov Eurasian National University (2, Satpayev St., 010000 Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan) Senior Lecturer

 0000-0002-7921-6642. E-mail: tanechka83-83@mail.ru

© KalmSC RAS, 2022

© Tleugabulov D. T., Dukombaiev A. T., Brynza T. V., 2022

Abstract. Introduction. The article describes a 3D documentation and visualization technique. *Goals.* The study seeks to preserve and reconstruct key forms and types of Kazakh memorial architecture with the aid of visual archeology tools. *Materials and methods.* The work started with determination of morphological characteristics inherent to the objects under study — mudbrick mausoleums. In accordance with the latter, a three-dimensional visualization technique was selected. The photography scenarios have been developed following recommendations of the software developers. The paper provides detailed insights into all stages of creating three-dimensional models, including data collection, feature description of the equipment used, pre-shooting computational analysis, shooting proper, and data post-processing. Special attention is paid to the most important and crucial moment of the survey — shooting, which was performed from different angles each to have yielded a

distinguished set of photographs. It is urgent to take a sufficient number of high-quality photographs from different angles. A number of photographs for each angle should be as high as possible — from 30–40 to several hundreds and thousands. *Results.* The work notes that 6–8 sets were made for each mausoleum. Documentation of one object only (taking into account additional and spare photographs) includes a total of 500–600 photographs. Extensive efforts were made to process the obtained data, the latter work be implemented in a specific order to result in three-dimensional models and visualization patterns of the examined mausoleums. Preservation of mudbrick steppe monuments in digital format is an urgent need because those are a vanishing type of late medieval memorial architecture dating back to ancient times. Digital 3D-models of collapsing mudbrick mausoleums shall always be invaluable for science as historical sources, part of the Kazakh national cultural heritage.

Keywords: archeology, mudbrick architecture, sacred landscape, 3D modeling, virtual reconstructions

Acknowledgements. The reported study was funded by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Science Committee), project no. AP08052281 ‘Preserving Mudbrick Architecture of Sacred Landscape in the Tengiz-Korgalzhyn Depression with the Aid of 3D Technologies’. The authors extend gratitude to Dr. Maral K. Khabdulina, Director of the Akishev Research Institute of Archeology, for participation and assistance in expedition arrangements, and to Mikhail V. Vavulin for 3D modelling efforts.

For citation: Tleugabulov D. T., Dukombaiev A. T., Brynza T. V. Preserving Mudbrick Architecture of the Tengiz-Korgalzhyn Depression with 3D Technologies. *Oriental Studies*. 2022; 15(5): 1094–1109. (In Russ.). DOI: 10.22162/2619-0990-2022-63-5-1094-1109



Введение

Культовые мемориалы, сложенные из сырцового кирпича, являются важными объектами историко-культурного наследия казахского народа. Скопление их отмечено в Тенгиз-Коргалжынских степях. Территории Тенгиз-Коргалжынской системы озер и верховья реки Нуры считались благоприятными для расселения — как в прошлом, так и в настоящее время. Здесь расположены разновременные памятники: сырцовые и каменные мавзолеи конца XIX – начала XX в., зимовки, некрополи [Гайса, Кошман 2021: 99]. Сырцовые мавзолеи разнообразны по архитектуре, построены над захоронениями известных личностей своей эпохи [Хабдулина и др. 2011: 105].

Крупное сакральное пространство казахских зиратов зафиксировано вдоль русла Нуры выше пос. Коргалжын. Примерно на расстоянии 20–30 км с интервалами в 3–7 км тянутся казахские некрополи. Они занимают возвышенные участки коренной террасы р. Нуры и выделяются возвышающимися на их территориях яркими образцами сырцовых мавзолеев XIX–XX вв. [Тлеугабулов 2019: 127].

В результате проведения археологических работ предшествующих лет здесь, по берегам реки Нуры, обнаружено около

40 сырцовых мавзолеев [Шиврина 2005: 56–61]. Мавзолеи одиночно или попарно стоят на западном краю казахских некрополей. Более поздние могилы пристроены к востоку от них. Большинство зиратов уже не действует, площади их не велики. Заброшенные зираты свидетельствуют об их функционировании в XIX в.

В силу множества объективных факторов, как природных, так и антропогенных, подавляющее большинство средневековых памятников подобного рода до нас в целости не дошло. Однако мы имеем возможность изучать традиции и приемы строительства, проводить культурные аналогии благодаря исследованию казахских мавзолеев Нового времени [Хабдулина, Бонора, Билялова 2018: 162]. Концентрация культовых объектов на небольшом участке р. Нуры показывает степень плотности и масштабы заселения низовьев Нуры в позднем средневековье [Тлеугабулов 2020: 514].

Целью нашего исследования является сохранение культовых мемориалов сакрального ландшафта Тенгиз-Коргалжынской впадины путем их цифровой реконструкции. Одной из главных задач, поставленных для достижения цели, является разработка методики трехмерного документирования и визуализации. Нами

предлагается методика на основе существующего опыта с учетом специфики объектов — сырцовых мавзолеев.

Краткий обзор основных публикаций

Научные изыскания по сохранению историко-культурного наследия средствами трехмерного моделирования зародились в западной археологии в конце 1980-х гг. [Reilly 1988: 187–216]. Основателем направления «Виртуальная археология» считается П. Рейли (Paul Reilly). Под редакцией П. Рейли и С. Ратца в 1992 г. был опубликован сборник «Archaeology and the information age: a global perspective» [Reilly, Rahtz 1992]. П. Рейли были разработаны методология и принципы виртуальных реконструкций. Эта методика изучения, сохранения и популяризации стала эффективно использоваться в мировой археологии. Примеры ярких проектов опубликованы и описаны в научных публикациях [Computing archaeology... 2000].

На рубеже 1990–2000-х гг. исследования с использованием трехмерных технологий в области исторической реконструкции появляются на гуманитарных факультетах университетов США (Брауновского, Гарвардского, Колумбийского, Стэнфордского), в Калифорнийском университете UCLA, Институте передовых технологий в гуманитарных науках университета Вирджиния, в вузах Великобритании, Франции, Италии [Жеребятьев 2013: 5].

К первым крупным проектам относятся проверка гипотезы существования гигантского матерчатого тента над Колизеем по сохранившимся деталям стенных креплений [Cattani, Fiorini, Rondelli 2004: 303], проект виртуальной реконструкции функционального назначения двух башен инков, расположенных на острове озера Титикака в Боливии [Dearborn 1998: 248–251]. В результате многочисленных компьютерных расчетов и моделей было доказано, что это Храм Солнца, где жрецы вели наблюдение над зимним и летним солнцестоянием. Знаменит также проект поиска входа в терракотовую гробницу китайского императора династии Цинь в некрополе г. Сянь, который был осуществлен группой немецких ученых под руководством профессора Манфреда Кооба [Бородкин, Жеребятьев 2012: 24–25].

В России применение и разработка компьютерных технологий начались историками с виртуальных реконструкций исторических процессов и явлений. Потом уже к ним присоединились археологи. В конце XX в. созданы специальные кафедры исторической информатики в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова, кафедра информационных систем в искусстве и гуманитарных науках на факультете филологии и искусств Санкт-Петербургского государственного университета, с 2004 г. работы по 3D-реконструкции стали проводиться в Тамбовском государственном университете им. Г. Р. Державина. Коллектив ученых совместно с кафедрой Московского государственного университета разработал виртуальные реконструкции архитектурных памятников Тамбова [Жеребятьев 2008].

Международные коллективы создали трехмерные модели Московского Кремля XVI в., реконструкции архитектурного ансамбля древней причерноморской крепости Илурат, новгородского храма Спаса на Нередице и ансамбля Старой Ладogi [Виртуальная трехмерная...; Виртуальная реконструкция...].

Российские историки создали Ассоциацию «История и компьютер», которая проводит периодические конференции, семинары по 3D-моделированию [Жеребятьев, Кончаков 2006].

Большую работу по использованию трехмерной реконструкции и визуализации на этапах исследования, от фиксации до анализа и интерпретации изучаемых объектов проводят лаборатории: 1) зеркальная Российско-Французская лаборатория мультидисциплинарных исследований первобытного искусства Евразии Гуманитарного института Новосибирского государственного университета и лаборатория Цифровой археологии Института археологии и этнографии СО РАН (г. Новосибирск); 2) лаборатория междисциплинарных исследований «Артефакт» Томского государственного университета (г. Томск).

Крупным событием научной жизни в области трехмерной визуализации стало проведение традиционной Международной конференции «Виртуальная археология» в Государственном Эрмитаже с 2012 г. в рамках международного проекта.

Таким образом, крупные научно-исследовательские коллективы в области виртуальной реконструкции существуют в российских университетах Москвы, Санкт-Петербурга, Новосибирска, Томска, Екатеринбурга, Тамбова, Красноярска, Тюмени. В археологических исследованиях научно обоснованные трехмерные модели создаются в области пространственной реконструкции древних городов, ансамблей, реконструкции утраченных обликов древних храмов, святилищ, отдельных зданий. Общим местом в археологических публикациях стали математические и графические 3D-модели жилищ, расчеты прочности кровли, стен.

Отставание в технологии трехмерного моделирования, которое наблюдалось в Казахстане еще в начале XXI в., в настоящее время успешно преодолено. Благодаря государственной поддержке в виде национальных программ «Мәңгілік ел» («Вечная страна»), «Мәдени мұра» («Культурное наследие»), «Рухани жаңғыру» («Духовное возрождение»), археология Казахстана сразу вступила на современный международный уровень использования и создания компьютерных трехмерных моделей. Широкое внедрение в жизнь различных видов информационных технологий, престижный статус IT-специалиста привели к освоению гуманитариями 3D-инструментария. Виртуальные реконструкции экскурсионно-туристического характера предлагаются Государственным историческим музеем Республики Казахстан по костюмам древних эпох, жилищам, интерьеру, стилям, искусству [Лебедев 2009: 81].

Растет число научно обоснованных реконструкций виртуальных моделей отдельных памятников. К их числу относится полная публикация материалов к виртуальной реконструкции храма-святилища *Кызыл-уийк*, раскопанного в 2008 г. на Устюрте [Самашев и др. 2011].

Коллективом ученых Института археологии им. А. Х. Маргулана сделаны 3D-модели утраченных для науки древних поселений на территории современной Алматы. На основе раскопок и многолетних исследований составлена цифровая карта расположения древних объектов, восстановлена утраченная пространственная структура, планы отдельных хронологических срезов памятников, виртуальные реконструкции

домов, усадеб. Важным является полная публикация источников реконструкций [Горячев, Мотов 2018; Bruno et al. 2010].

На территории Отрарского археологического музея-заповедника на основании виртуального моделирования реконструированы слои XIV–XVII вв. Произведена консервация кирпичного основания соборной мечети, бани, жилых кварталов, ремесленных мастерских. На памятнике с 2000 г. в течение 15 лет работал международный коллектив исследователей из Японии, Германии, Великобритании, Бельгии, Италии, России и Казахстана. Работы велись по консервации сырцовых строений и созданию их трехмерных моделей. Эти работы легли в основу художественного фильма о завоевании Отрара армией Чингисхана.

Несомненно, у нового направления со временем появились критики. Некоторые специалисты считают высокими затраты времени, труда и средств на закупку оборудования, необходимого для создания трехмерных моделей. Однако развитие прогресса, увеличение возможностей простых компьютеров и гаджетов, усовершенствование программного обеспечения говорят об обратном. Эти и другие проблемы, связанные с развитием виртуального документирования, рассматривает в своих работах О. В. Зайцева [Зайцева 2014].

Материалы и методы

Исследуемые объекты обладают следующими морфологическими характеристиками. Это руинированные строения квадратной, круглой или многоугольной формы, некоторые имеют дополнительную пристройку. Размеры структур в плане — 6–8 метров, высота варьируется от 3 до 7 метров, в зависимости от сохранности крыши. У большинства объектов крыши не сохранились. Объекты обладают как внешними, так и внутренними поверхностями, а также присутствуют отдельные важные элементы (ниши, окна и пр.) [Сохранение... 2020: 28–35].

Трехмерная оцифровка проводилась на основе технологии цифровой фотограмметрии, по принципу Structure-from-motion (SfM) [Ulman 1979; Lowe 1999]. Технология позволяет восстановить трехмерные координаты точек поверхности по серии двух-

мерных изображений объекта, сделанных с разных ракурсов.

Сбор данных. Для полной оцифровки строения проводилась как экстерьерная, так и интерьерная съемка. Для возможной будущей реконструкции модели с окружением дополнительно производились панорамная съемка и съемка окружающей территории.

Оборудование. При фотосъемке использовалось следующее оборудование. Для съемки с воздуха использовалось легкое мультироторное беспилотное воздушное судно (БВС) DJI Phantom 4 Pro. Характеристики фотокамеры используемого БВС: матрица 13,2 x 8,8 мм, разрешением 20 Мп (5 472 x 3 648 пикс.), объектив с фокусным расстоянием 8,8 мм (эквивалент 35-мм формата — 24 мм), углы обзора: диагональный 84,06°, горизонтальный — 73,74°, вертикальный — 53,13°. Для съемки с земли использовалась зеркальная цифровая фотокамера Canon EOS 1200D (матрица 22,3 x 14,9 мм, кроп-фактор — 1,6, разрешение — 17,9 Мп (5 184 x 3 456 пикс.)) с объективом Canon EF-S 18–135 мм.

Расчеты. При оцифровке сооружений, для отображения всех важных деталей, был выбран порог целевого разрешения не более 5 мм. Для вычисления необходимой дистанции съемки, в зависимости от целевого разрешения модели, использовались следующие формулы [He, Li, Zhang 2012; Pushkarev et al. 2016]:

$$d = \frac{GSD \times f}{px}$$

Где:

d — необходимое расстояние съемки,
GSD (ground sample distance — разрешение на местности) — целевое разрешение,
f — фокусное расстояние объектива,
px — физический размер одного сенсора на матрице фотоаппарата.

$$px = \frac{S_l}{S_{px}}$$

Где:

S_l — физический размер матрицы фотоаппарата (длина),
S_{px} — максимальный размер фотографии в пикселях (длина).

Так для основных наборов изображений была определена максимальная дистанция съемки не более 18,2 м для съемки с воздуха и не более 20,9 м для съемки с земли.

Съемка. Перед съемкой проводилась очистка объекта от травяной и кустарниковой растительности, которая могла помешать зафиксировать части конструкции. У каждого объекта устанавливалась пятиметровая рейка для контроля масштаба модели. Сценарии фотографирования были разработаны в соответствии с рекомендациями разработчиков используемого программного обеспечения [Agisoft 2018]. Всего для каждого объекта было создано до семи типовых наборов фотографий.

Работа с полевыми материалами

Первый набор фотографий был выполнен с БВС, направление камеры в надири. Съемка велась с высоты 10–13 м, что обеспечивало вхождение объекта целиком в ¼ кадра. Съемка проводилась с параллельным смещением кадра на 20 % по галсу и обеспечением перекрытия в 80 % (2–2,5 м). Расстояние между галсами обеспечивало смещение кадра не более 40 % (перекрытие — 60 %) (6–7 м). Количество фотографий первого набора — не менее 60 ед. (фото 1).

Второй набор фотографий был выполнен с БВС, при камере, повернутой под углом так, чтобы стены и крыша были хорошо видны. Съемка производилась с максимальным заполнением кадра (на расстоянии 6–7 метров), при круговом облете вокруг строения. Фотографирование проводилось со смещением по кругу на угол около 10°. Количество фотографий второго набора — не менее 36 ед. (фото 2).

Третий набор фотографий — обзорная съемка окружающей территории. Проводилась с БВС, с камерой, направленной в надири, по сценарию площадной съемки (тот же, что и в первом наборе). Данный набор фотографий являлся необязательным и производился не для трехмерной оцифровки мавзолеев, а для фиксации окружающей территории и возможного использования при визуализации экстерьера. Обычно снималась площадь всего некрополя, на территории которого расположен памятник (фото 3).

Четвертый набор фотографий — панорамная съемка. Набор не обязателен. Не

Фото 1. Сценарий съемки для первого набора фотографий.
Выполнил М. В. Вавулин.
Фото: Д. Т. Тлеугабулов
[*Foto 1.* Shooting scenario for the first set of photos. Authored by M. Vavulin. Photo by D. Tleugabulov]

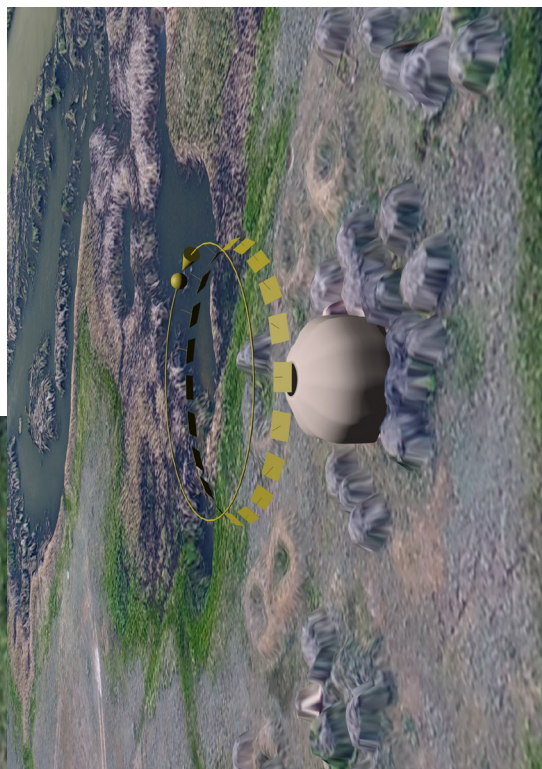
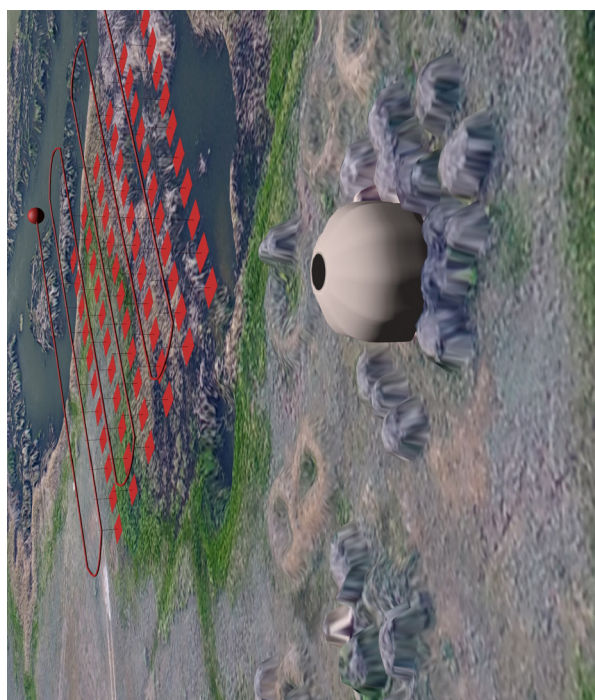


Фото 2. Сценарий съемки для второго набора фотографий.
Выполнил М. В. Вавулин.
Фото: Д. Т. Тлеугабулов
[*Foto 2.* Shooting scenario for the second set of photos. Authored by M. Vavulin. Photo by D. Tleugabulov]



Фото 3. Сценарий съемки для фиксации всей площади памятника. Выполнил М. В. Вавулин.
Фото: Д. Т. Тлеугабулов

[Foto 3. Shooting scenario for capturing the entire area of the site. Authored by M. Vavulin.
Photo by D. Tleugabulov]

используется в создании модели, но может быть использован при визуализации. Съемка проводилась с БВС при вращении вокруг своей оси на одной точке при повороте на $20\text{--}30^\circ$ (фото 4).

Пятый набор фотографий — съемка экстерьера крупным планом с земли. Так же, как и в третьем наборе фотографий, съемка осуществлялась со смещением по окружности на угол около 10° при максимальном заполнении кадра. В большинстве случаев съемка проводилась с фокусным расстоянием в 18 мм и с дистанции 6–7 метров от объекта. Количество фотографий в пятом наборе — не менее 36 ед. (фото 5).

Шестой набор фотографий — интерьерная съемка. В данном случае движение камеры осуществлялось по периметру вплотную вдоль стены, но при этом фотографировалась противоположная часть стены. Съемка проводилась со смещением около 10° и перекрытием фотографий в 80 %; с фокусным расстоянием в 18 мм. Количество фотографий в шестом наборе — не менее 36 ед. (фото 6).

Седьмой набор включал более детальную фиксацию отдельных элементов строения — проходов, окон, ниш и пр. Съемка

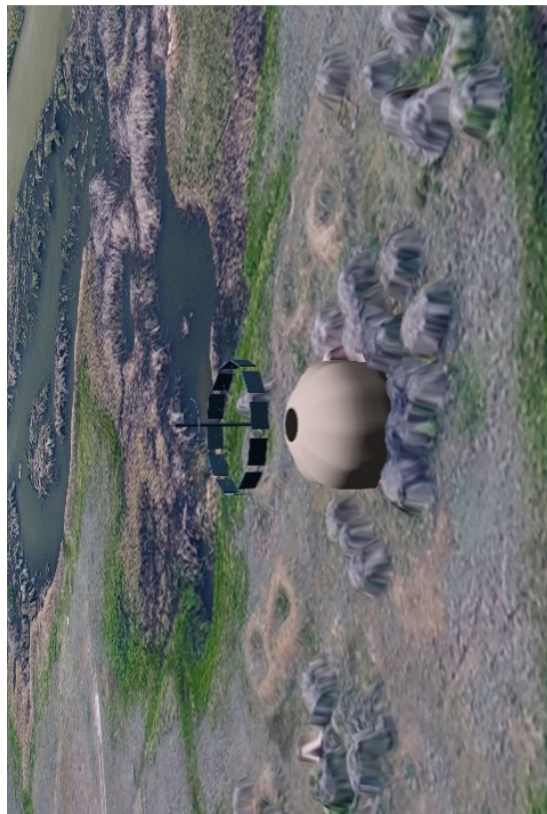
велась со смещением как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости — для обеспечения покрытия «куполом» там, где это было возможно. Фокусное расстояние варьировалось в зависимости от размера элемента и условий съемки. Количество снимков на один элемент — не менее 15–20 ед. Общее количество снимков зависит от количества таких элементов в конструкции.

Всего на документирование одного объекта, с учетом дополнительных и запасных фотографий, приходилось 500–600 снимков.

Постобработка данных **Обработка данных и создание 3D-моделей**

Обработка данных производилась в программе фотограмметрической обработки Agisoft MetashapePro [Agisoft 2020]. Географическая привязка моделей бралась из данных бортового GPS навигатора БВС, импортированных в EXIF — данные фотографий. Дополнительно проект масштабировался по рейке, расположенной в сцене при фотографировании, так как масштабирование только средствами GPS давало ошибку в 1,8 %.

*Фото 4. Сценарий
съемки для панорамного
фотографирования. Выполнил
М. В. Вавулин.
Фото: Д. Т. Тлеугабулов*
[Foto 4. Shooting scenario
for panoramic photography.
Authored by M. Vavulin.
Photo by D. Tleugabulov]



*Фото 5. Сценарий съемки для
пятого набора фотографий.
Выполнил М. В. Вавулин.
Фото: Д. Т. Тлеугабулов*
[Foto 5. Shooting scenario for the
fifth set of photos. Authored by
M. Vavulin.
Photo by D. Tleugabulov]

Обработка производилась в следующем порядке:

- импорт каждого набора фотографий в отдельный блок;
- выравнивание фотографий для каждого блока по отдельности в пакетном режиме, качество — очень высокое, преселекция включена;
- выравнивание блоков между собой, за основу принят блок с первым или третьим набором фотографий, выравнивание по соответствиям, очень высокая точность;
- ручное выравнивание блоков, не выравненных в автоматическом режиме;
- объединение всех блоков съемки интерьера в единый блок с объединением связующих точек;
- построение плотного облака точек для блока интерьерной съемки, качество очень высокое, фильтрация карт глубины — мягкая;
- чистка плотного облака точек блока интерьерной съемки от возможных ошибок;
- построение полигональной модели блока интерьерной съемки на основе плотного облака, качество — высокое, интерполяция включена;
- объединение блоков интерьерной съемки с блоками первого, второго и пятого наборов, объединение связующих точек и моделей;
- импорт масок из модели для всех фотографий экстерьерного общего блока;
- построение плотного облака точек общего блока, качество очень высокое, фильтрация карт глубины — мягкая;
- чистка плотного облака точек общего блока от возможных ошибок;
- построение модели общего блока, качество высокое, интерполяция включена;
- коррекция масштаба модели;
- экспорт модели;
- импорт модели в программное обеспечение Geomagic Wrap;
- тонкая чистка, заполнение отверстий, устранение самопересечений, коррекция топологии модели;
- импорт исправленной модели в проект Metashape с заменой старой модели;
- текстурирование модели, общий режим параметризации, режим смешивания — мозаика, размер текстуры — 16 000;

– упрощение модели до 2 000 000 полигонов;

– экспорт текстурированной модели.

В результате обработки были получены упрощенные полигональные модели строений. Каждая модель содержит 2 млн полигонов и текстуру размерами 16 000x16 000 пикселей в формате jpg.

Визуализация 3D-моделей

Для визуализации 3D-моделей было выбрано два способа представления: публикация модели для онлайн-просмотра и создание видеоролика. Для онлайн-просмотра модели был выбран сервис <https://sketchfab.com>. Сервис позволяет размещать трехмерные модели для онлайн-просмотра на своем сайте, а также встраивать плееры на сторонние сайты.

Для изготовления видеоролика использовалось программное обеспечение 3DStudioMax и Adobe Premiere. В программное обеспечение 3DStudioMax импортировалась модель мавзолея и модель окружающей территории (если такая была отснята). Для визуализации в программной среде дорабатывались вспомогательные объекты — источники света, камеры, пути анимации на основе сплайновых объектов. Анимирование камеры проводилось на основе пути по сплайновому объекту в виде трехмерной дуги с изменением высоты и уменьшением радиуса (рис. 1).

Для каждой сцены было задано время прохождения пути в 1 000 кадров. В параметрах камеры также дополнительно была активирована функция *multipasseffect*, обеспечивающая дополнительный рендеринг 12 кадров с небольшим заданным смещением камеры вокруг текущего положения и объединения этих кадров в один для создания имитации эффекта глубины резкости. Данная функция хоть и увеличивала время визуализации в 12 раз, но была использована для затенения окружающей территории, фиксация которого выполнена с меньшим разрешением, и концентрации внимания на отображаемом объекте (фото 7). Покадровый рендеринг экспортировался в отдельные jpg-файлы, которые затем были соединены в единый видеофайл в программном обеспечении Adobe Premiere (фото 7).

Фото 6. Сценарий
съемки для
шестого набора
фотографий.
Выполнил М. В.
Вавулин.
Фото: Д. Т.
Тлеугабулов
[Foto 6. Shooting
scenario for the
sixth set of photos.
Authored by
M. Vavulin.
Photo by D.
Tleugabulov]



Заключение

Маршруты экспедиций полевых сезонов 2020–2022 гг. охватили большую часть Тенгиз-Коргалжынской впадины. Нами были обследованы берега р. Нуры в ее верхнем течении. Также обследованию подверглись берега озер, входящих в систему Нуры: Коргалжын, Жанибек-Шалкар, Шолак, Жумай и др. Были обследованы берега оз. Тенгиз, рр. Куланотпес и Кон. Были осмотрены десятки казахских зиратов, на территории которых возвышаются монументальные сырцовые культовые объекты. Все найденные в ходе разведки объекты тщательно задокументированы: описаны, сфотографированы, картографированы. Всего с применением методики, предложенной авторами, было создано 25 моделей сырцовых мавзолеев. Такое количество обусловлено их сохранностью — выявлено было около сотни мавзолеев, большая часть которых находится в сильно разрушенном состоянии. Созданные 3D-модели мавзолеев позволяют нам сохранить их в цифровом виде. Дальнейшее их использование возможно в электронном виде, в форме виртуального тура по сакральным местам региона, который, к слову, обладает большим туристическим потенциалом: здесь находится знаменитый Коргалжынский заповедник, являющийся местом гнездования розовых фламинго.

Также одной из идей проекта по созданию 3D-моделей сырцовых мавзолеев является возможность их использования в дальнейшем в качестве основы для реконструкции.

Предложенная методика может быть применена к другим подобным объектам — культовым сооружениям казахов, выполненным из камня, обожженного кирпича, встречающимся на всей территории Казахстана.

Сырцовые мавзолеи являются знаками, символами одухотворенного сакрального пространства. Их расположение связано с существованием здесь, возможно, с раннего средневековья особого духовного центра.

Время не пощадило сырцовые мавзолеи, особенно их перекрытия. Мавзолеи удивительно разнообразны архитектурой объемно-пространственных форм. Сырцовые мавзолеи, однокамерные и двухкамерные, круглые и квадратные в плане

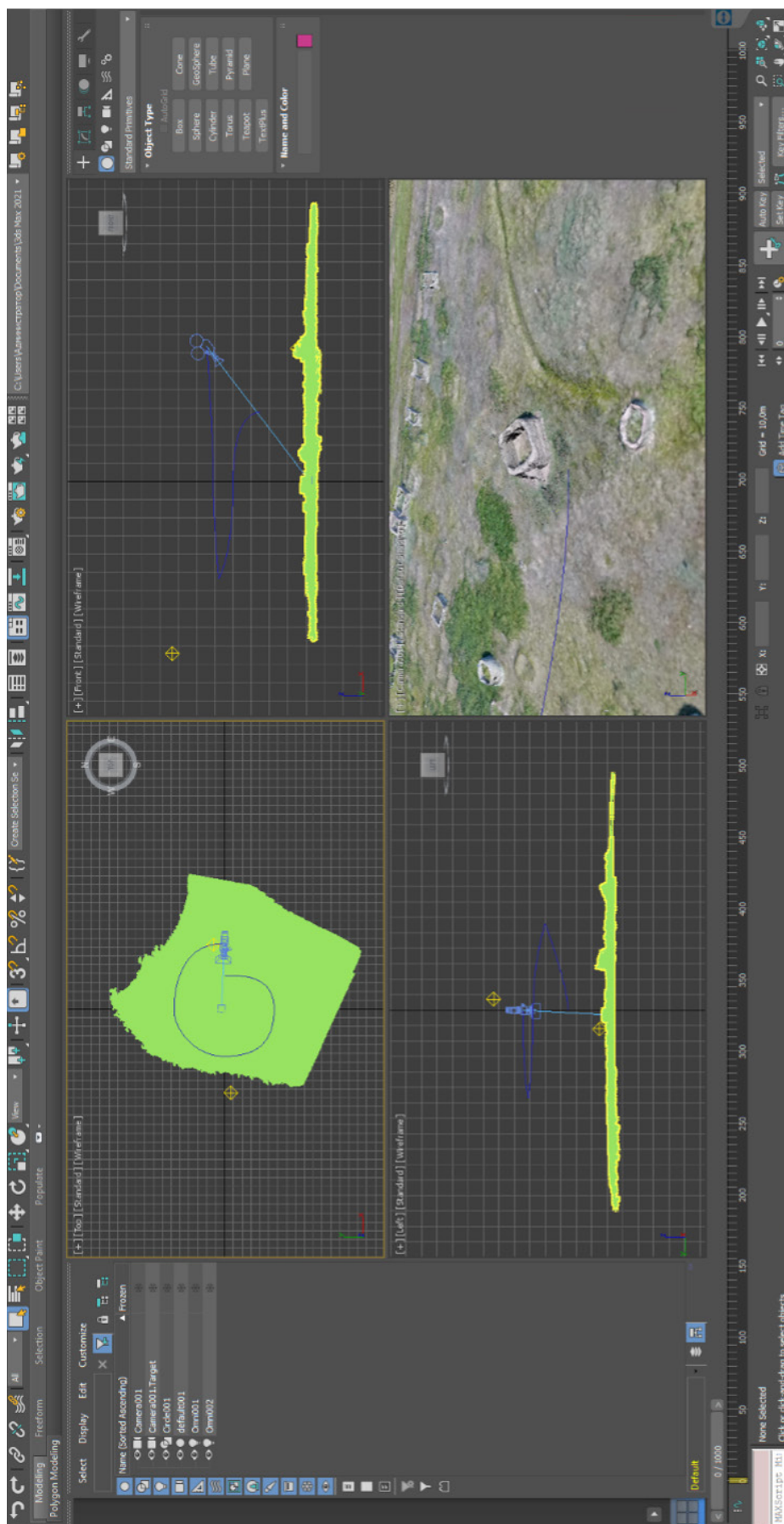


Рис. 1. Подготовленная сцена в программное обеспечение 3DStudioMax. Выполнил М. В. Вавулин. Фото: Д. Т. Глеугабулов
 [Fig. 1. Prepared scene in 3DStudioMax software. Authored by M. Vavulin. Photo by D. Gleugabulov]



Фото 7. Мавзолей Абай. Визуализированный кадр с имитацией эффекта глубины резкости.

Выполнил М. В. Вавулин. Фото: Д. Т. Тлеугабулов

[Foto 7. Abay Mausoleum. Rendered frame with simulated depth of field effect.

Authored by M. Vavulin. Photo by D. Tleugabulov]

относятся к типу портално-купольных. Фасадная сторона обращена, как правило, в южный сектор. Возведение мавзолея на кладбище вызывало дальнейшее его разрастание — как правило, такое монументальное сооружение возводилось над могилой

знатного, влиятельного человека, религиозного деятеля, святого (аулие). Быть похороненным рядом с могилой такого человека для рядового населения считалось престижным и выражало надежды на покровительство святого в «мире ином».

Литература

- Бородкин, Жеребятъев 2012 — *Бородкин Л. И., Жеребятъев Д. И.* Современные тенденции в разработке виртуальных реконструкций объектов историко-культурного наследия: международный опыт // Виртуальная реконструкция историко-культурного наследия в форматах научного исследования и образовательного процесса: сб. науч. ст. / под ред. Л. И. Бородкина, М. В. Румянцева, Р. А. Барышева. Красноярск: СФУ, 2012. С. 10–30.
- Виртуальная реконструкция... — Виртуальная реконструкция археологического комплекса Старой Ладogi — первой в череде столиц Российского государства [электронный ресурс] // Музей-заповедник «Старая Ладога». URL: <http://oldladoga.spbu.ru/index.htm> (дата обращения: 10.03.2022).
- Виртуальная трехмерная... — Виртуальная трехмерная реконструкция Илурата — античного города-крепости I–III вв. [электронный ресурс] // Проект «Илурат». URL: <http://ilurat.spbu.ru/> (дата обращения: 10.03.2022).

- Гайса, Кошман 2021 — *Гайса А. М., Кошман Т. В.* Изучение памятников Тенгиз-Коргалжинского региона // World Science: Problems and Innovations: сб. ст. LIV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 30 мая 2021 г.) / отв. ред. Г. Ю. Гуляев. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2021. С. 99–103.
- Горячев, Мотов 2018 — *Горячев А. А., Мотов Ю. А.* Археологический комплекс Бутакты-I. Алматы: ТОО «KazBook Trade», 2018. 26 с., илл.
- Жеребятъев 2008 — *Жеребятъев Д. И.* Применение методики трехмерного пространственного анализа для изучения формирования городской застройки и восстановления культурного наследия на примере Тамбовской крепости // Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер»: мат-лы XI конф. АИК. № 35. М.; Барнаул, 2008. С. 62–63.
- Жеребятъев 2013 — *Жеребятъев Д. И.* Методы исторической реконструкции памятников истории и культуры России средствами

- трехмерного компьютерного моделирования: автореф. дисс. ... канд. ист. наук. М., 2013. 27 с.
- Жеребятьев, Кончаков 2006 — *Жеребятьев Д. И., Кончаков Р. Б.* Использование технологий создания 3-d-mp как инструмента сохранения и реконструкции исторических памятников // Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер»: мат-лы X конф. ассоциации «История и компьютер» (г. Москва, 12–14 мая 2006 г.). № 35. М.; Тамбов: Изд-во Тамб. ун-та, 2006. С. 12–13.
- Зайцева 2014 — *Зайцева О. В.* «3D революция» в археологической фиксации в российской перспективе // Сибирские исторические исследования. 2014. № 4. С. 10–20.
- Лебедев 2009 — *Лебедев А. В.* Виртуализация музея или новая предметность? // Музейное проектирование / сост. А. В. Лебедев; отв. ред. А. А. Щербакова. М.: Рос. ин-т культурологии, 2009. С. 77–97.
- Самашев и др. 2011 — *Самашев З., Онгар А., Оралбай Е., Киясбек Г.* Храм-святилище Кызылжык. Астана: Археология, 2011. 200 с.
- Сохранение... 2020 — Сохранение памятников сырцовой архитектуры сакрального ландшафта Тенгиз-Коргалжынской впадины с использованием цифровых 3D-технологий: Отчет о НИР (промежут.) / НЦНТИ; Руководитель К. К. Батталов; Д. Т. Тлеугабулов, А. Т. Дукомбайев, К. С. Сапарова и др. ГФ № AP08052281; Инв. № 0220PK01456. Нур-Султан, 2020. 67 с.
- Тлеугабулов 2019 — *Тлеугабулов Д. Т.* Исследование средневековых культовых памятников Акмолинского Приишимья (по материалам разведки 2018 года) // Вестник Казахского национального университета. Серия: Историческая. 2019. № 3 (94). С. 121–129.
- Тлеугабулов 2020 — *Тлеугабулов Д. Т.* Исследование сакральных объектов в пространстве Тенгиз-Коргалжынского региона // Маргулановские чтения – 2020: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. «Великая Степь в свете археологических и междисциплинарных исследований» (г. Алматы, 17–18 сентября 2020 г.). Т. 2. Алматы: Институт археологии им. А. Х. Маргулана, 2020. С. 510–522.
- Хабдулина и др. 2011 — *Хабдулина М. К., Кожамжаров К. Т., Ярыгин С. А., Калдыбаев М. С., Сакенов С. К., Свиридов А. Н.* Культовые памятники Тенгиз-Коргалжынской впадины. Астана: ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, 2011. 208 с.
- Хабдулина, Бонора, Билялова 2018 — *Хабдулина М. К., Бонора Ж. Л., Билялова Г. Д.* Сакральная карта Акмолы: новые материалы // Интеграция археологических и этнографических исследований: мат-лы XXII междунар. науч. симпозиума (г. Павлодар, 19–21 сентября 2018 г.) / отв. ред.: Н. А. Томилов и др. Омск; Павлодар: Изд. дом «Наука», 2018. С. 162–165.
- Шиврина 2005 — *Шиврина Н. В.* Культовая обрядность и архитектура Северного Казахстана XVII–XIX вв. // Историко-политическая роль Астаны. Сб. докл. науч.-практ. конф. Астана: Аппарат акима г. Астаны, 2005. С. 53–61.
- Agisoft 2018 — Agisoft. Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition. Version 1.4. Copyright © 2018 Agisoft LLC. 2018. V, 121 p.
- Agisoft 2020 — Agisoft. Metashape Pro 1.8.4 [электронный ресурс] // Agisoft. Downloads. URL: <https://www.agisoft.com/downloads/installer/> (дата обращения: 08.11.2021).
- Bruno et al. 2010 — *Bruno F., Bruno S., De Sensi G., Luchi M. L., Mancuso S., Muzzupappa M.* From 3D Reconstruction to Virtual Reality: A Complete Methodology for Digital Archaeological Exhibition // Journal of Cultural Heritage. 2010. No. 11 (1). Pp. 42–49.
- Cattani, Fiorini, Rondelli 2004 — *Cattani M., Fiorini A., Rondelli B.* Computer applications for a reconstruction of archaeological stratigraphy as a predictive model in urban and territorial contexts // [Enter the Past]: the E-way into Four Dimensions of Cultural Heritage (CAA 2003, Proceedings of the 30th Conference, Vienna, Austria, 8–12 April, 2003) / K. F. Ausserer, W. Börner, M. Goriany & L. Karlhuber-Vöckl (eds.). B.A.R. International Series 1227. Oxford: Archaeopress, 2004. Pp. 299–303.
- Computing archaeology ... 2000 — Computing Archaeology for Understanding the Past. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) 2000: Conference proceedings (Ljubljana, April 2000). BAR International Series 931 / Stancic Z., Veljanovski T. (eds.). Oxford: Archaeopress, 2001. 368 p.
- Dearborn 1998 — *Dearborn D. S.* Sanctuary of Titicaca: Where the Sun Returns to Earth / D. S. Dearborn, M. T. Seddon, B. S. Bauer // Latin American Antiquity. 1998. № 9 (3). Pp. 240–258.
- Lowe 1999 — *Lowe D. G.* Object Recognition from Local Scale-Invariant Features // Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision (September 20–27, 1999, Kerkyra, Greece). Vol. II. Los Alamitos (Ca.),

- Washington, Brussels, Tokyo: IEEE Computer Society, 1999. Pp. 1150–1157.
- He, Li, Zhang 2012 — *He J., Li Y., Zhang K.* Research of UAV Flight Planning Parameters // *Positioning*. 2012. Vol. 3. Pp. 43–45.
- Pushkarev et al. 2016 — *Pushkarev A. A., Zaytceva O. V., Vavulin M. V., Skorobogatova A. Y.* 3D Recording of A 19-Century ob River Ship // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XLI-B5. XXIII ISPRS Congress proceedings (Prague, 12–19 July 2016). Pp. 377–381. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLI-B5-377-2016
- References**
- Agisoft Metashape Pro 1.8.4. Available at: <https://www.agisoft.com/downloads/installer/> (accessed: 08 November 2021). (In Eng.)
- Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.4. Copyright © 2018 Agisoft LLC. 2018. V, 121 p. (In Eng.)
- Battalov K. K., Tleugabulov D. T., Dukombayev A. T., Saparova K. S. et al. Employing 3D Tools to Preserve Monuments of Mudbrick Architecture within Sacred Landscape of the Tengiz-Korgalzhyn Depression: Progress Report (Interim). Nur-Sultan, 2020. 67 p. At: Scientific Technical Information Center. Coll. AP08052281. File no. 0220PK01456. (In Russ.)
- Borodkin L. I., Zheryatyev D. I. Current trends in the development of virtual reconstruction of historical and cultural heritage: international experience. In: Borodkin L. I., Rummyantsev M. V., Baryshev R. A. (eds.) *Virtual Reconstruction of Historical and Cultural Heritage in the Form of Scholarly Research and Learning Process*. Collected papers. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2012. Pp. 10–30. (In Russ.)
- Bruno F., Bruno S., De Sensi G., Luchi M. L., Mancuso S., Muzzupappa M. From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition. *Journal of Cultural Heritage*. 2010. No. 11 (1). Pp. 42–49. (In Eng.)
- Cattani M., Fiorini A., Rondelli B. Computer applications for a reconstruction of archaeological stratigraphy as a predictive model in urban and territorial contexts. In: Ausserer K. F., Börner W., Goriany M., Karlhuber-Vöckl L. (eds.) *Enter the Past: The E-way into Four Dimensions of Cultural Heritage*. CAA 2003. Conference proceedings (Vienna, 8–12 April 2003). BAR International Series 1227. Oxford: Archaeopress, 2004. Pp. 299–303. (In Eng.)
- Reilly 1988 — *Reilly P.* Computer Analysis of an Archaeological Landscape: Medieval Land Divisions on the Isle of Man. Oxford: British Archaeological Reports (British Series 190), 1988. 226 p.
- Reilly, Rahtz 1992 — Archaeology and the information age: a global perspective. P. Reilly, S. Rahtz. (Eds.) London: Routledge, 1992. 420 p.
- Ullman 1979 — *Ullman S.* The Interpretation of Structure from Motion // *Proceedings of the Royal Society of London. Ser. B, Biol. Sci.* 1979. Vol. 203. № 1153. Pp. 405–426.
- Dearborn D. S., Seddon M. T., Bauer B. S. Sanctuary of Titicaca: Where the Sun returns to Earth. *Latin American Antiquity*. 1998. No. 9 (3). Pp. 240–258. (In Eng.)
- Gaisa A. M., Koshman T. V. Study of monuments in the Tengiz-Korgalzhyn Region. In: Gulyaev G. Yu. (ed.) *World Science: Problems and Innovations*. LIV Conference proceedings. Penza: Nauka i Prosveshchenie, 2021. Pp. 99–103. (In Russ.)
- Goryachev A. A., Motov Yu. A. Butakty-I Archaeological Site. Almaty: KazBook Trade, 2018. 26 p. (In Russ.)
- He J., Li Y., Zhang K. Research of UAV flight planning parameters. *Positioning*. 2012. Vol. 3. Pp. 43–45. (In Eng.)
- Khabdulina M. K., Bonora Zh. L., Bilyalova G. D. Sacral map of Akmola: New materials reviewed. In: Tomilov N. A. et al. (eds.) *Integration of Archaeological and Ethnographic Research*. Symposium proceedings (Pavlodar, 19–21 September 2018). Omsk, Pavlodar: Nauka, 2018. Pp. 162–165. (In Russ.)
- Khabdulina M. K., Kozhamzharov K. T., Yarygin S. A., Kaldybayev M. S., Sakenov S. K., Sviridov A. N. *Cult Monuments of the Tengiz-Korgalzhyn Depression*. Astana: Gumilyov Eurasian National University, 2011. 208 p. (In Russ.)
- Lebedev A. V. Virtualization of museum or new thingness? In: Lebedev A. V. (comp.) *Museum Engineering*. A. Shcherbakova (ed.). Moscow: Russian Institute for Cultural Research, 2009. Pp. 77–97. (In Russ.)
- Lowe D. G. Object recognition from local scale-invariant features. In: *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision (Kerkyra, 20–27 September 1999)*. Vol. II. Los Alamitos, Washington, Brussels, Tokyo: IEEE Computer Society, 1999. Pp. 1150–1157. (In Eng.)

- Pushkarev A. A., Zaytceva O. V., Vavulin M. V., Skorobogatova A. Y. 3D recording of a 19-century Ob River ship. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XLI-B5. XXIII ISPRS Congress proceedings (Prague, 12–19 July 2016). Pp. 377–381. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLI-B5-377-2016 (In Eng.)
- Reilly P. Computer Analysis of an Archaeological Landscape: Medieval Land Divisions on the Isle of Man. BAR British Series 190. Oxford: British Archaeological Reports, 1988. 226 p. (In Eng.)
- Reilly P., Rahtz S. (eds.) Archaeology and the Information Age: A Global Perspective. London: Routledge, 1992. 420 p. (In Eng.)
- Samashev Z., Ongar A., Oralbay E., Kiyasbek G. Kyzyluyik Sanctuary Temple. Astana: Arkheologiya, 2011. 200 p. (In Russ.)
- Shivrina N. V. Cult rituals and architecture of North Kazakhstan, 17th–19th centuries. In: The Historical and Political Role of Astana. Conference reports. Astana: Executive Office of Astana Akim, 2005. Pp. 53–61. (In Russ.)
- Stancic Z., Veljanovski T. (eds.) Computing Archaeology for Understanding the Past. CAA 2000. Conference proceedings (Ljubljana, April 2000). BAR International Series 931. Oxford: Archaeopress, 2001. 368 p. (In Eng.)
- Tleugabulov D. T. Exploring sacred objects of Tengiz-Korgalzhyn Region. In: The Great Steppe in Archaeological and Interdisciplinary Studies. Margulan Readings – 2020. Conference proceedings (Almaty, 17–18 September 2020). Almaty: Margulan Institute of Archaeology, 2020. Vol. 2. Pp. 510–522. (In Russ.)
- Tleugabulov D. T. Research of medieval cult monuments of Akmola Upper Ishim (Based on 2018 exploration material). *Journal KazNU: History*. 2019. No. 3 (94). Pp. 121–129. (In Russ.)
- Ullman S. The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London. Ser. B, Biol. Sci.* 1979. Vol. 203. No. 1153. Pp. 405–426. (In Eng.)
- Virtual reconstruction of Staraya (Old) Ladoga archaeological site — earliest capital of Russian State. On: Staraya (Old) Ladoga Reserve Museum (website). Available at: <http://oldladoga.spbu.ru/index.htm> (accessed: 10 March 2022). (In Russ.)
- Virtual three-dimensional reconstruction of Ilurat (Iluraton) — ancient walled town, 1st–3rd centuries AD. On: Ilurat Project (website). Available at: <http://ilurat.spbu.ru/> (accessed: 10 March 2022). (In Russ.)
- Zaytseva O. V. ‘3D revolution’ in archaeological recording in Russian perspective. *Siberian Historical Research*. 2014. No. 4. Pp. 10–20. (In Russ.)
- Zherebyatiev D. I. Application of the technique of the three-dimensional spatial analysis for studying of formation of city building and restoration of the cultural heritage on the example of the Tambov fortress. In: Information Bulletin of History and Computer Association. XI Conference proceedings. Vol. 35. Moscow, Barnaul, 2008. Pp. 62–63. (In Russ.)
- Zherebyatiev D. I. Monuments of Russian History and Culture: Historical Reconstruction via 3D Computer Tools. Cand. Sc. (history) thesis abstract. Moscow, 2013. 27 p. (In Russ.)
- Zherebyatiev D. I., Konchakov R. B. Using technology to create 3D games as a tool for preservation and reconstruction of historical monuments. In: History and Computer Association. X Conference proceedings. Vol. 34. Moscow, Tambov: Tambov State University, 2006. Pp. 12–13. (In Russ.)

