

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И 3D-РЕКОНСТРУКЦИИ

GEO INFORMATION SYSTEMS
AND 3D RECONSTRUCTIONS

ТЕХНОЛОГИИ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИСТОРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ: ОТ ВИЗУАЛИЗАЦИИ К АНАЛИТИКЕ*

APPLICATION OF 3D TECHNOLOGY IN HISTORICAL
RESEARCH: FROM VISUALIZATION TO ANALYTICS

Бородкин Леонид Иосифович

Доктор исторических наук, профессор,
заведующий кафедрой исторической
информатики исторического факультета
Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова
E-mail: borodkin@hist.msu.ru

Leonid I. Borodkin,

Жеребятьев Денис Игоревич

Ассистент кафедры исторической
информатики исторического факультета
Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова
E-mail: dzher@inbox.ru

Denis I. Zherebyatyev

Развитие нового направления исторической информатики, связанного с разработкой виртуальных реконструкций объектов историко-культурного наследия (основанных на использовании технологий 3D-моделирования), требует обобщения опыта проектов, реализованных за последнее два десятилетия, выявления основных тенденций и проблем.

Ключевые слова: виртуальные реконструкции, международный опыт, 3D-технологии в истории, цифровая археология

Development of the new component of historical information science based on virtual reconstruction technology of historical and cultural heritage (using 3D modeling) requires systematization, identification of key trends and problems revealed over the last two decades.

Keywords: virtual reconstruction, international experience, 3D technology in historical research, digital archaeology

* Исследование ведется при финансовой поддержке гранта РФФИ, № 11-06-00453а.

Развитие нового направления исторической информатики, связанного с разработкой виртуальных реконструкций историко-культурного наследия (основанных на использовании технологий 3D-моделирования), требует обобщения опыта международных проектов, реализованных за последнее десятилетие, выявления основных тенденций и проблем. В данной статье предлагается соответствующий краткий обзор. Однако прежде чем перейти к нему, определим место компьютерных 3D-моделей в проблематике моделирования исторических процессов и явлений.

СПЕЦИФИКА, УРОВНИ, ТИПОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИСТОРИИ

В 1990-х гг. в России был опубликован целый ряд работ по проблемам методологии и методики компьютерного моделирования исторических процессов. Были получены содержательно значимые результаты при изучении социальной мобильности в период нэпа, динамики социально-политической напряженности в России в конце XIX — начале XX в. и т. д. В 1996 г. опубликован сборник статей «Математическое моделирование исторических процессов»¹.

Проблематика моделирования исторических процессов и явлений обладает ярко выраженной спецификой. Обоснование этой специфики содержится в работах акад. И. Д. Ковальченко, в которых охарактеризованы суть и цели моделирования, предложена типология моделей исторических процессов и явлений². Эта типология включает отражательно-измерительные и имитационные (имитационно-прогностические) модели. Имитационно-прогностические модели, в свою очередь, делятся на имитационно-контрфактические и имитационно-альтернативные модели исторических процессов. К середине 1990-х гг. достижения клиометрики, включая контрфактическое моделирование, были отмечены Нобелевской премией, которую получили известные американские экономисты-историки Р. Фогель и Д. Норт.

Измерительное моделирование основано, как правило, на выявлении и анализе статистических взаимосвязей в системе показателей, характеризующих изучаемый объект. Здесь речь идет о проверке содержательной модели с помощью методов математической статистики. Роль математики сводится в этом случае к статистической обработке эмпирического материала. В современной классификации математических моделей в исторических исследованиях такие модели относятся к классу статистических.

Современная типология компьютерных моделей исторических процессов и явлений вклю-

чает три класса: статистические, имитационные, аналитические³. Эта классификация практически совпадает с предложенной Дж. Р. Холлингсвортом и Р. Ханнеманом, известными американскими специалистами по моделированию исторических и социальных процессов.

Гораздо менее апробированными в практике отечественных исследований являются компьютерные (математические) модели, применение которых не ограничивается обработкой данных источника. Модели такого типа в современной классификации относятся к классам имитационных и аналитических моделей.

Целью таких моделей может быть:

- реконструкция отсутствующих данных о динамике изучаемого процесса на некотором интервале времени;
- анализ альтернатив исторического развития;
- теоретическое исследование возможного поведения изучаемого явления (или класса явлений) на основе построенной математической модели.

Аналитические и (в определенной степени) имитационные модели относятся к моделям дедуктивного типа — в отличие от статистических (измерительно-отражательных) моделей, при построении которых преобладает индуктивный подход. Математические модели дедуктивного типа позволяют выводить новое знание путем анализа построенной модели как математического объекта.

Имитационные модели

В основе построения таких моделей лежит принцип приближенного воспроизведения изучаемого процесса; имитируются составляющие его элементарные явления с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени. Имитационные модели имеют целью реконструкцию отсутствующих или неполных данных источника.

Важное направление использования имитационных моделей — реконструкция динамики того или иного исторического процесса, сведения о котором не сохранились в источниках в достаточном объеме. Этим занимался, например, в 1970-х гг. коллектив историков и математиков, лидером которого был акад. Н. Н. Моисеев. Исходя из некоторых общих предположений и сохранившихся данных источников, этот коллектив создал компьютерную имитационную модель динамики процессов одного из периодов в истории Древней Греции — эпохи Пелопонесских войн, о которой сохранилось мало информации социально-экономического характера. Модель реконструировала

динамику некоторых параметров изучаемого исторического процесса⁴.

Другой пример: компьютерная имитационная модель была построена в конце 1980-х гг. Л. И. Бородкиным и М. В. Свищевым при изучении социальной мобильности в период нэпа, процессов дифференциации доколхозного крестьянства. Источником реконструкции были материалы динамических переписей крестьянских хозяйств середины 1920-х гг. (600 тыс. дворов). Была проведена компьютерная реконструкция этих процессов, показано, что они не вели к социальной «поляризации» деревни⁵.

Место 3D-моделирования в структуре типологии компьютерных моделей

На сегодняшний день типология имитационных моделей в исторических исследованиях должна расширяться и включать два основных типа моделей: компьютерная реконструкция динамических процессов на основе фрагментарных (или выборочных) статистических источников и виртуальная реконструкция трехмерных объектов. В обоих случаях речь идет о восстановлении утраченных данных исторических источников. Однако во втором случае специфика задачи требует использования преимущественно графических, визуальных материалов и применения специфических исследовательских инструментов — программного обеспечения 3D-моделирования.

ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИСТОРИЧЕСКИХ И АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Процесс развития компьютерных технологий привел к расширению инструментария историка: новые инструменты анализа, репрезентации исторических источников обогатились базами данных, программами лингвистического анализа текста, геоинформационными системами (ГИС); позднее в этот круг вошли программы трехмерного моделирования.

Появившаяся в западных и частично в российских научных изданиях серия статей (за рубежом начиная с 1990-х гг., в России — с 2000-х), посвященных применению технологий трехмерного моделирования в исторических и археологических исследованиях, способствовала выработке научной базы методик работы с 3D-инструментарием, формированию новых подходов к анализу, синте-

зу и визуализации, репрезентации источникового материала.

Научные коллективы, лаборатории, исследовательские центры, в некоторых случаях — компьютерные компании, специализирующиеся на построении виртуальных реконструкций, ставили разные задачи; результаты их работы можно разделить на две группы:

- а) «экскурсионно-туристические» реконструкции, дающие приблизительное представление о рассматриваемом объекте, без серьезной проработки источниковой базы; в большинстве случаев основными разработчиками являются специализированные IT-фирмы, любители-краеведы или музеи, привлекающие IT-специалистов, а также специалисты по истории архитектуры;
- б) научно обоснованные реконструкции с проработкой источниковой базы, наличием задачи исследования, характерные для научных коллективов, как междисциплинарных, так и состоящих из специалистов гуманитарных областей, освоивших 3D-инструментарий.

Мы рассмотрим здесь второй тип виртуальных реконструкций. В отечественной историографии — в публикациях ассоциации «История и компьютер»⁶, международных конференций EVA⁷, «Археология и геоинформатика» (АГИС)⁸, на ряде всероссийских⁹ и региональных семинаров — освещались (наряду с собственными 3D-разработками) и проекты исследовательских групп, успешно применяющих технологии трехмерного моделирования в исторических и археологических исследованиях (в частности, таких зарубежных исследователей, как Б. Фришер, М. Форте, П. Рейлли, Ф. Флэри, С. Мадлен, М. Кооб, Н. Циммерманн, М. Ш. Жуковски и др.).

Переходя к обобщению опыта зарубежных и российских исследователей в области применения технологий трехмерного моделирования в исторических и археологических исследованиях, отметим, что систематизация сложившихся подходов и методов анализа исторических источников и археологических артефактов, заявленных в последнее десятилетие, может строиться исходя из различных принципов. В данном обзоре авторы исходят из функциональных возможностей 3D-технологий.

Первые подходы и методы синтеза источников при использовании программ трехмерного моделирования были сформулированы еще в 1990-х гг. археологом П. Рейлли в ряде статей¹⁰ и монографии «Археология и информационный век: глобальные перспективы»¹¹; он и стал

основателем направления «виртуальная археология» (англ. *virtual archaeology, digital archaeology, laser archaeology*). Разработанный им подход оказал определённое влияние на формирование новых прикладных областей *virtual paleoanthropology* и *digital history*.

Этот подход основывался на использовании 3D-технологий посредством замены найденного реального артефакта трёхмерной моделью (в связи с его хрупкостью, слабой сохранностью). Исследователь получал возможность в результате проводить различные аналитические действия с цифровым аналогом объекта в компьютерной программе. В итоге сама трёхмерная модель выступала не предметом, а объектом исследования. Уже в ранних работах П. Рейлли отметил перспективность проведения виртуальных экспериментов с 3D-моделями археологических артефактов. В результате подобных экспериментов исследователь получает возможность подтвердить или опровергнуть ту или иную научную гипотезу о реконструируемых объектах.

Начнём наш обзор с наиболее интересных, нетривиальных применений 3D-программ историками и археологами. Вследствие ограниченной источниковой базы авторам этих работ пришлось привлечь немало косвенных сведений об изучаемых объектах реконструкции, ознакомиться с существующими гипотезами об особенностях конструкций этих объектов, их функциональном назначении, а также эффективно использовать материалы археологических экспедиций. Программный инструментарий 3D-моделирования позволял восполнять недостаток источниковых данных и обосновывать принятие наиболее правдоподобной гипотезы.

1. В рамках *методологии «компьютерного эксперимента»* различными исследовательскими

группами, лабораториями, IT-фирмами были предложены методики работы с археологическими данными и историческими источниками на основе программ трёхмерного моделирования:

Методика компьютерного анализа прочностных характеристик строения, предназначенная для снятия гипотез, не выдерживающих критики с технической стороны. В решении каких задач данная методика может дать положительные результаты? Если мы говорим об объектах, по которым сохранился ограниченный источниковый материал (например, античные постройки, от которых в большинстве случаев до нас дошёл только фундамент), но имеется ряд возможных аналогов изучаемого строения или комплекса, полезным может оказаться анализ вариантов в программной среде трёхмерных редакторов, таких как ArhiCAD, AutoCAD, Autodesk 3D Max, Catiya и т. д. В результате виртуального эксперимента отдельные варианты строения могут не выдержать проверки по прочностным характеристикам. Примеры — моделирование прочностных характеристик гипотетических вариантов облика античной базилики Крузе в Херсонесе¹²; реконструкция технологий строительства пирамиды Хуфу (Египет) и проверка гипотезы о веерных туннелях французскими исследователями: археологом Р. Брайером, архитектором Ж.-П. Уденом, специалистами Музея изящных искусств (Бостон, США) и компьютерной компании Dassault Systèmes¹³.

Моделирование природных процессов и их воздействия на исследуемый объект. В некоторых случаях результаты компьютерного моделирования воздействия природных явлений на рассматриваемый объект могут дать объяснение отдельным найденным археологическим артефактам.

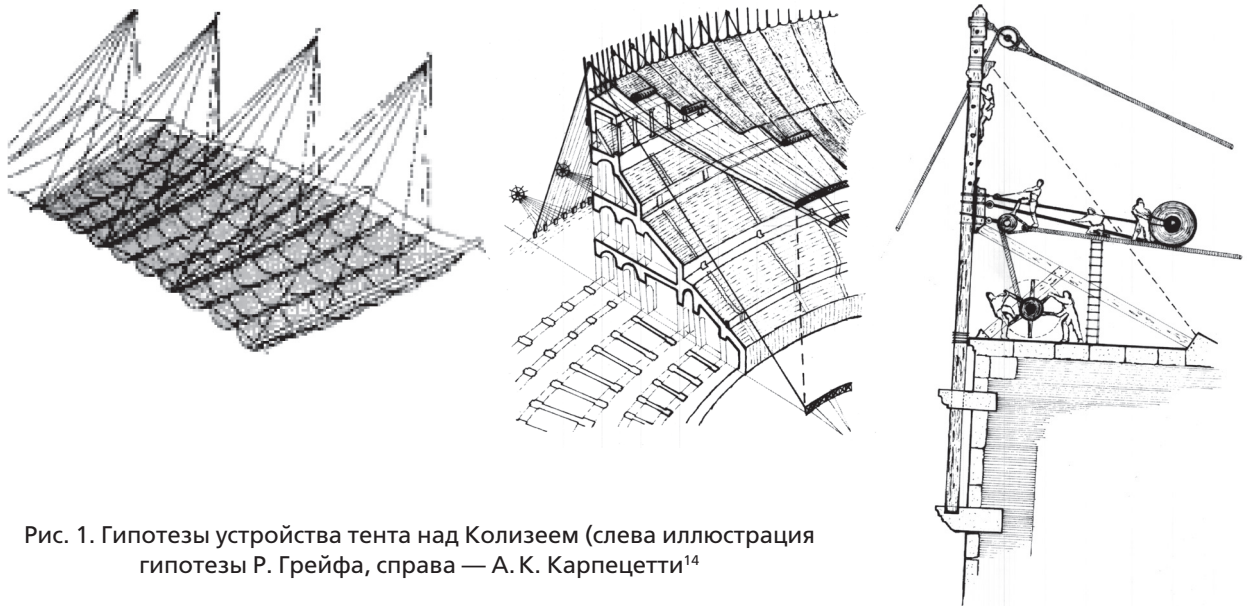


Рис. 1. Гипотезы устройства тента над Колизеем (слева иллюстрация гипотезы Р. Грейфа, справа — А. К. Карпецетти¹⁴)

Рассмотрим, например, Колизей. Долгое время археологи не могли идентифицировать назначение отдельных деталей стен, предположительно использовавшихся под крепления, поддерживающие тент. Сложная конструкция, состоящая из 240 столбов, поддерживающих гигантскую материю (тент), оставила после себя только следы и отдельные крепления в стенах древнего строения. Проверке гипотезы существования тента и функционирования механизмов Колизея посвящена работа Франсуа Лекока «Виртуальная реконструкция античного Рима»¹⁵.

Существовало несколько вариантов тентов Колизея, предложенных исследователями; наиболее правдоподобными считались две гипотезы, выдвинутые историками и архитекторами. По одной из них предполагалось, что конструкция тента работала на основе больших деревянных столбов-мачт, на которых натягивалась ткань (аналогично парусам)¹⁶. Вторая гипотеза совершенно иначе представляла конструкцию тента, опираясь на использование сетей-канатов для поддержки купола, когда сети канатов выводились из центрального кольца. При этом первая система канатов, связанная с центральным кольцом, проходила через шквы на верхней части мачты, а затем вниз к земле, к лебедке (рис. 1).

Построение виртуальной модели Колизея с двумя системами тента и моделирование воздействия освещения в течение всего дня посредством компьютерного эксперимента позволило исследователям Д. Дефюжеру и Ф. Турнике проверить функциональность существующих в науке гипотез о его конструкции и внешнем виде, что невозможно было без применения компьютерных программ в рамках традиционного подхода¹⁷. Таким образом, в ходе компьютерного эксперимента исследователями была отобрана гипотеза архитектора А. К. Карпецетти как выдерживающая критику с технической точки зрения.

Аналогичный эксперимент был осуществлён в Институте передовых технологий в гуманитарных науках (Вирджиния, США) и Лаборатории виртуального культурного наследия (Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе — UCLA) профессором-антиковедом Б. Фришерем и его учеником К. Джохансоном с целью проверки гипотезы Деборна-Седдона-Байера (гипотеза DSB, названная по фамилиям трех исследователей)²⁰ о функциональном назначении двух башен инков, расположенных на острове озера Титикака (Боливия) как места для сакральных целей (храм Солнца) (рис. 2 на с. 55). По этой гипотезе башни служили маркерами отметки времени зимнего солнцестояния. Испанские летописи XVI в. невятно описывают процедуру поклонения богу Солнца, в частности, места, где это происходило.

Большинство найденных археологических артефактов (отдельные отверстия в скалах, ряд больших ступеней на склоне гор, отдельные башни, в частности, две одиноко стоящие каменные башни, расположенные на острове озера Титикака) вызвали ряд вопросов о функциональном назначении строений. Так, в ходе анализа сохранившегося фундамента двух башен и других артефактов в числе гипотез о функциональности строений была выдвинута идея об использовании данных строений в культовых целях — для поклонения богу Солнца в период летнего и зимнего солнцестояния. Однако подобная гипотеза нуждалась в обосновании, для чего исследователями был осуществлен полевой эксперимент. Так, на место фундамента каждой из башен в период солнцестояния были выставлены по одному флагу для создания ситуации прохождения солнца между двумя башнями. Этот полевой эксперимент дал косвенные свидетельства в пользу гипотезы DSB. Более детальная и обоснованная реконструкция ситуации солнцестояния могла быть проведена только с помощью компьютерного эксперимента в 3D-программах.

В процессе виртуального эксперимента движение солнца и момент зимнего солнцестояния светила между двух башен позволили Б. Фришеру и К. Джохансону восстановить картину солнцестояния, а также сделать отдельные предположения о количестве участников церемонии с учётом допустимого расстояния между жрецами и простыми участниками культового поклонения, угла обзора в ходе наблюдения солнцестояния и площади фундамента башен. В итоге виртуальный эксперимент подтвердил гипотезу DSB, а также более четко позволил сформировать представление о функциональном назначении строений, возможном количестве участников и особенностях культового ритуала²¹.

Не стояли на месте исследования и в области палеоантропологии. Применение трехмерных технологий палеоантропологами началось практически одновременно с археологами.

Лазерные сканеры произвели, по словам профессора Института эволюционной антропологии Ж.-Ж. Ублена, «революцию в области палеонтологии человека и физической антропологии, положив начало тому, что обычно стали называть *виртуальной палеоантропологией*»²².

Среди исследований в этой области виртуальной стоит отметить работы К. Белдока, С. Хьюджеса, Д. Уиттакера²⁴ и Ф. Зоннефельда²⁵.

Анализируя опыт своих предшественников, профессор Ж.-Ж. Ублен среди возможностей применения трёхмерных технологий в палеоантропологии отметил возможность компьютерного моделирования недоступной напрямую наблюдению

внутренней структуры объекта, а также методику виртуальной фильтрации и реконструкции артефакта (включая коррекцию пластических деформаций).

Разработанные методы анализа артефактов широко используются виртуальной палеоантропологией. Яркий пример — проект Британского музея 2004 г. по построению трехмерной модели древнеегипетской мумии священника Несперенуба, захороненного в Фивах примерно 2800 лет назад, на рубеже VIII–VII вв. до н.э. (рис. 3 на с. 55). В ходе оцифровки модели, проводившейся на основе специализированного программного обеспечения Silicon Graphics, было получено полторы тысячи срезов (слоев) мумии, впоследствии «склеенных» в единую модель. Благодаря этой оцифровке стало возможным проводить многоаспектный компьютерный анализ частей мумии, слоев ткани, различных сопутствующих предметов (например, амулетов, фрагментов стекла и т. д.) без повреждения исследуемого объекта²⁶.

Трехмерные технологии как инструмент автоматизированной реконструкции объектов историко-культурного наследия

В рамках данного подхода исследователями были предложены следующие методы обработки исторических источников и археологических артефактов.

Автоматизированная генерация городских ландшафтов. В 2009 г. междисциплинарная исследовательская группа Азиатско-Тихоокеанского университета Рицумэйкан (Япония) в составе А. Цукамото, Ю. Изода и других предложила в рамках этого подхода методику восстановления городской застройки на базе технологий автоматизированной генерации городских ландшафтов (на примере реконструкции японского города Киото XVII в.)²⁷.

Указанный подход был апробирован по данным о районе исторической части города Киото — «Куомашиа», в котором было выделено семь типовых видов дворов, размещаемых в автоматическом режиме программой на основе анализа плана с отметками границ строений. В итоге анализа плана города программа предлагала исследователю несколько вариантов размещения типовых объектов дворов, которые затем корректировались разработчиками в редакторе самостоятельно (рис. 4 на с. 55).

Автоматизированный анализ фрагментов осколков разрушенного объекта на базе технологий лазерного сканирования. В качестве объектов исследования выступают составные части строения, такие как колонны, лепнина, осколки бытовой антич-

ной посуды и т. д. Посредством лазерного сканера программа по заданному алгоритму осуществляет автоматическую «сборку» отсканированных фрагментов в единую структуру. В качестве примера стоит отметить проект автоматизированного анализа фрагментов керамической посуды и их реконструкции, реализованный исследователем А. Карасиком²⁹.

Применение технологий трехмерного моделирования как инструмента пространственного анализа

Анализ археологического объекта с задачей поиска предполагаемого места очередного раскопа (М. Ш. Жуковски, Э. Воте (Пьетра I в. до н.э.), Н. Циммерманн и И. Майер (римские катакомбы I в.); М. Кооб (поиск входа в гробницу китайского императора династии Цинь)). В этих исследованиях трехмерная модель выступала в качестве инструмента для анализа пространственных характеристик, поиска места, где мог быть найден с большей степенью вероятности тот или иной археологический артефакт, будь то вход в гробницу китайского императора или очередной неизвестный туннель подземных римских катакомб Домитиллы I–II в. н.э., заваленный камнями³⁰.

Среди американских университетов «Лиги плюща» на гуманитарных факультетах одними из первых 3D-технологии применили археологи, работающие в центре археологии и искусства Старого Света Брауновского университета³¹ в ходе раскопок в 1993 г. столицы Набатинского царства г. Петры (Иордания). В 1990-х гг. археологи, сотрудничая с лабораторией Shape Lab, документировали результаты археологических раскопок артефактов в специально разработанной программной оболочке ARCHAVE в электронном формате в виде трёхмерных моделей с их описанием³².

Последующее сотрудничество данного центра с факультетом компьютерных наук Калифорнийского университета UCLA (Лос-Анджелес, США) позволило археологам под руководством заведующей раскопками г. Петры профессора археологии М. Ш. Жуковски осуществить ряд экспериментов по внедрению в практику своих исследований современных информационных технологий, в частности, геоинформационных систем, аппаратов лазерного сканирования, программ трёхмерного моделирования и фотограмметрии (см. рис. 6 на с. 56). Помимо реконструкции облика главного храма Петры I в. до н.э., исследовательским коллективом был проверен ряд гипотез о конструктивной особенности главного храма, пространственном расположении ряда археологических артефактов



Рис. 2. Проверка гипотезы Деборна-Седдона-Байера функциональности двух строений Священной Скалы (слева)¹⁸; фотография фундаментов двух башен (справа)¹⁹



Рис. 3. Компьютерный анализ мумии священника Неспереннуба²³

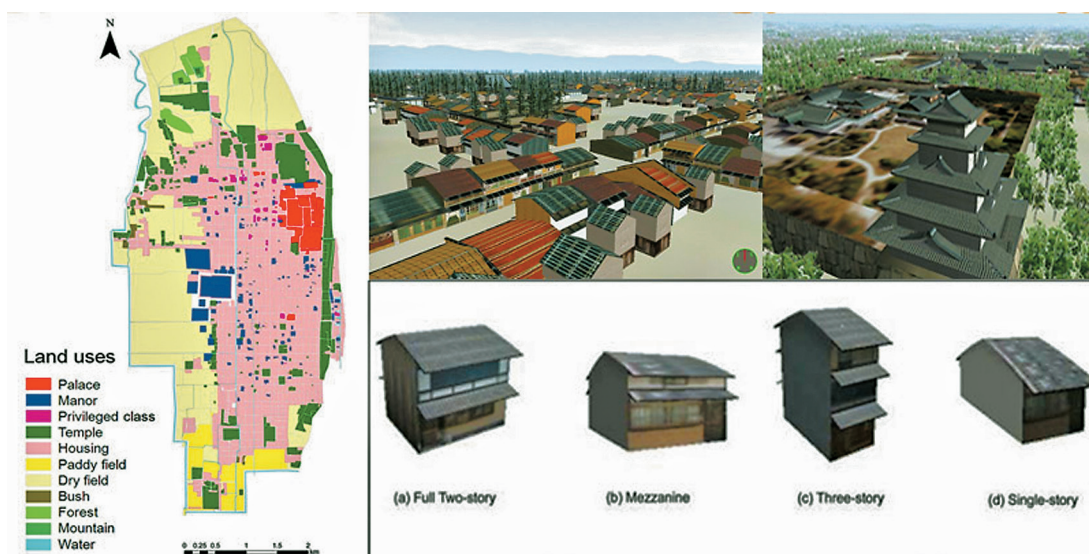


Рис. 4. Восстановление городской застройки Киото XVII в. на базе технологий автоматизированной генерации городских ландшафтов²⁸



Рис. 5. Проект «Sword of Damocles (virtual reality)». Слева: На фотографии 1968 г. профессор Айвен Сазерленд³⁴. Справа: Технология погруженной виртуальной реальности в решении задач археологического исследования. Работа в программе ARCHAVE³⁵.

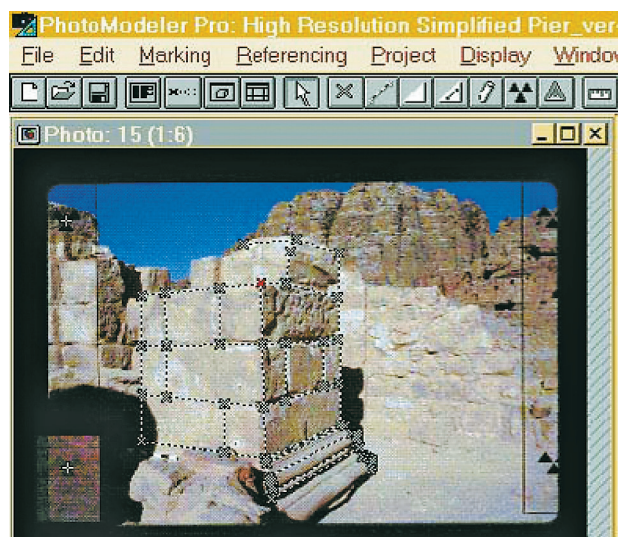


Рис. 6. Построение трехмерной модели в автоматизированном режиме посредством программы PhotoModeler Pro³⁶ (слева). Справа: вид раскопа главного храма Петры³⁷.

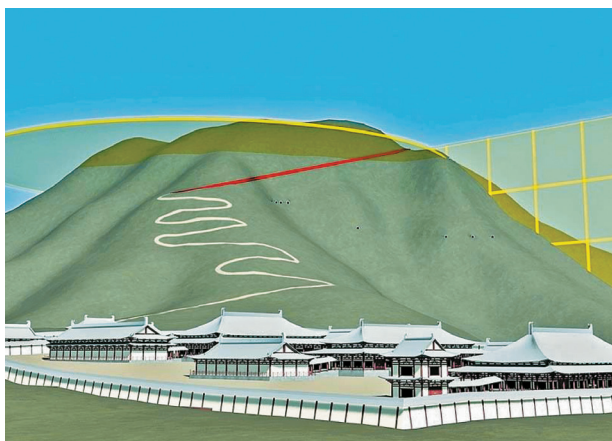


Рис. 7. Пространственный анализ территории комплекса Шаолинь⁴⁰

и их функциональном назначении (Ph.D исследование археолога Э. Воте, 2001 г.)³³.

Созданные трехмерные модели, включая модель главного храма Петры, ландшафта и найденные археологические артефакты, были помещены в программную оболочку ARCHAVE, где к каждому объекту маркером привязывалась краткая информационная база с описанием артефакта. Если такие технологии, как программы трехмерного моделирования и фотограмметрии, лазерные сканеры, модули аэрофотосъемки предназначались скорее для оцифровки исследуемой территории, то сам анализ должен был осуществляться в программе посредством специального аппаратного устройства — системы «погруженной виртуальной реальности», благодаря которой пользователь имел возможность не только перемещаться по трехмерному миру, но и взаимодействовать с артефактами (см. рис. 5 на с. 56).

Под системой «погруженной виртуальной реальности» подразумевают технологию взаимодействия пользователя с компьютерным интерфейсом программы, достигаемую посредством погружения в интерактивную среду с помощью виртуального шлема (позднее LCD-видеоочки) с датчиками движения человека, а также «виртуальную комнату», на четыре стены которой с помощью проектора проецировалось трехмерное изображение окружающей среды.

Технология «погруженной виртуальной реальности» была разработана ещё в 1968 г. профессором Гарвардского университета А. Сазерлендом и его учеником Р. Спрулом³⁸. Первоначально вес и размер устройства были настолько большими, что устройство подвешивалось к потолку (грозный вид устройства дал ему соответствующее название — «Дамоклов меч»). В археологических исследованиях технологии «погруженной виртуальной реальности» впервые были использованы только в конце 1990-х гг. этим коллективом.

В 2006 г. разработанная археологом Э. Воте трехмерная модель храма стала полигоном исследований группы археологов и программистов; их задача сводилась к моделированию перемещения разного количества людей по территории храма с целью оценки числа участников культа, скорости их перемещения по коридорам и т. п.³⁹

Не менее интересным является пример использования технологий трехмерного моделирования в исследованиях научного центра Дармштадта (Германия), проводившего реконструкцию императорского некрополя в Сьяне комплекса Шаолинь и терракотовой армии гробницы первого императора Китая (рис. 7 на с. 56).

Перед группой исследователей во главе с профессором М. Кообом стояли следующие задачи: реконструировать императорский некрополь в Сьяне,

с помощью 3D-технологий проверить научные гипотезы о предполагаемом расположении скрытого входа в гробницу императора с целью организации последующих раскопок. Эти задачи с успехом были решены, несмотря на малую степень информативности сохранившихся письменных источников.

2. Рассмотренные выше примеры нетривиального применения 3D технологий историками и археологами характеризуют лишь небольшую часть исследований в данной области. Основную часть работ здесь составляют исследования, главной задачей которых является восстановление облика изучаемого объекта.

В ряде исследований по 3D, как в России, так и за рубежом, в центре внимания большинства подобных работ до определенного времени ставились вопросы технологии разработки виртуальной реконструкции; авторы обсуждали возможности используемых программ, этапы исследования, представляли конечный результат. После подобных публикаций возникала ситуация, близкая к той, которую П. Дорн, обсуждая процесс освоения историками технологии баз данных, назвал «Я и моя база данных».

Каково приращение научного знания в большинстве работ по виртуальной реконструкции, ставящих целью восстановление облика реконструируемого объекта в истории и археологии? На наш взгляд, на этот вопрос может быть два взаимосвязанных ответа.

Источниковедческий аспект применения технологий трехмерного моделирования в исследовании. Отметим, что вопросы методики анализа источниковой базы при построении виртуальной реконструкции освещаются достаточно редко в подобных исследованиях. Среди публикаций отечественных исследователей по данной проблематике авторам известны только две работы, датированные 2011 г.⁴¹

Когда мы говорим о реконструкции объекта с хорошо сохранившимся комплексом источников, исследователь должен обладать навыками синтеза источников разных типов (описательного и образительного характера); при этом надо учитывать, что источники могут отражать объект в его эволюции. Тем самым при построении виртуальной реконструкции полученная трехмерная модель может содержать несколько временных срезов, отражающих эволюцию объекта. Такие реконструкции в большинстве случаев получают название 4D-виртуальных реконструкций, где в качестве одной из компонентов измерения служит время, а 3D-инструментарий используется для *восстановления облика изучаемого объекта и пространственного анализа в его исторической эволюции.*



Рис. 8. Виртуальная реконструкция Тамбова конца XVIII — начала XIX в. Сопоставление визуальных источников панорамы города⁴³, фотографии Екатерининского института конца XIX в. с виртуальной панорамой города

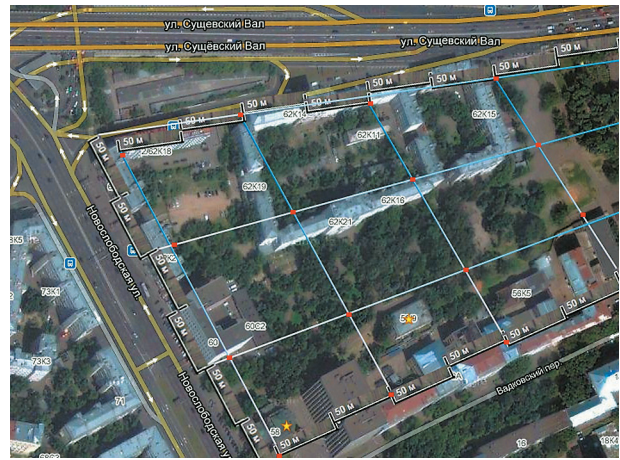


Рис. 9. Гексакоптер Xaircraft 650 (переработанная модель), видеоочки для полета Fat Shark, пульт управления Hitek 9 каналный (слева). Территория монастыря с квадратами съемки (справа). Фото Д. И. Жеребятъева

Если речь идет о восстановлении строения для исторически достоверной реконструкции, приходится проследивать весь процесс изменения его облика, анализировать причины, возможно, ход строительных работ и т. д. В большинстве случаев, при недостатке информации о той или иной постройке на определенном временном срезе состояния, облик которого мы собираемся воссоздать, информация заимствуется из более поздних источников, упоминающих о данном объекте, после чего при помощи метода «временного вычета»

учитываются все изменения, произошедшие с объектом, и проводится ретроспекция состояния объекта. В ряде случаев источники содержат фрагментарную и противоречивую информацию; может не совпадать информация, представленная в описательных источниках и чертежах, в чертежах и фотографиях. Причины несовпадения различного типа источников могут быть самыми разными.

В ряде случаев работа с источниковой базой реконструкции возможна «на бумаге». Однако сегодня полноценная виртуальная реконструкция без ис-

пользования компьютерных программ, помогающих осуществлять анализ и синтез отдельных типов источников, вряд ли возможна. Например, при работе с таким источником, как фотографии, не имея чертежа изучаемого объекта, весьма сложно восстановить его размеры без наличия отправной точки — строительной вешки. Как правило, подобные фотографии весьма редко встречаются, когда речь идет о фотосъемке объекта XIX–XX вв., в отличие от съемки найденных археологической экспедицией артефактов. Для решения задачи анализа фотоизображений существует специальное программное обеспечение — программы фотограмметрии.

Так, начиная с 2004 г. исследования в области применения технологий трёхмерного моделирования в истории велись в лаборатории социальной истории Тамбовского госуниверситета им. Г. Р. Державина коллективом в составе докторов исторических наук В. В. Канищева, Ю. А. Мизиса, кандидата исторических наук Р. Б. Кончакова и Д. И. Жеребятьева.

Метод анализа графических изображений с целью анализа перспективы изучаемой панорамы ранее был апробирован этой лабораторией в ходе осуществления проекта виртуальной реконструкции губернского города Тамбова конца XVIII — начала XIX в. для решения задач анализа пространства, восстановления облика строений посредством программ трехмерного моделирования и ГИСов⁴² (рис. 8 на с. 58).

Одной из задач, которую пришлось решать в процессе построения территории города, стала реконструкция дворянских усадеб, которая могла быть решена только посредством анализа графических изображений, в частности, панорамы Тамбова 1799 г. Анализ перспективы панорамы и сопоставление с рядом планов города конца XVIII — начала XIX в. в компьютерных программах позволили идентифицировать спорные строения города и тем самым восстановить облик дворянской усадьбы Беклемишева и ряд других строений.

В большинстве случаев исследователь, проводя анализ фотографии, сталкивается с проблемой восстановления точки перспективы малоизвестных или подвергшихся существенному изменению мест. Методы восстановления перспективы посредством анализа проекции территории в 2D (например, плана или спутниковой съемки) не всегда позволяют точно идентифицировать место и ракурс съемки. Использование связки программ трехмерных редакторов и геоинформационных систем (ГИС) позволяет решить часть вопросов об идентификации, восстановлении перспективы при использовании изобразительных источников.

Методология применения технологий трехмерного моделирования как инструмента пространственного анализа реконструируемого объ-

екта в его исторической эволюции неоднократно освещалась коллективом тамбовских исследователей на примере реконструкции крепости Тамбова XVII в. и центральной части провинциального города конца XVIII — начала XIX в. времён губернатора Г. Р. Державина. С 2012 г. данным исследовательским коллективом по гранту РГНФ начато построение виртуальной реконструкции Тамбова середины XIX в. (проект «Тамбов Лермонтовский»), которая позволит проследить посредством программ трехмерного моделирования эволюцию городской застройки Тамбова с XVII в. до середины XIX в. на нескольких временных срезах, включая крепость XVII в. (по данным описи 1662 г.), город конца XVIII — начала XIX в., и город в 1840-х гг.

Разработка программного модуля верификации виртуальной реконструкции. Начиная с 2009 г. на историческом факультете МГУ (кафедра исторической информатики) осуществляется проект виртуальной реконструкции монастыря «Всех скорбящих радости»⁴⁴. К настоящему времени территория монастырской застройки воссоздана в двух временных срезах до постройки монастыря в 1890 г. и на 1909 г. (до перестройки монастыря).

Посредством технологий трехмерного моделирования, геоинформационных систем, аэрофотосъемки с использованием беспилотного летательного аппарата (гексакоптер на базе программного модуля управления Xaircraft 650) нами осуществляется пространственный анализ территории реконструируемого монастырского комплекса с учетом его исторической эволюции (см. рис. 9 на с. 58).

В процессе восстановления внешнего облика монастырских строений выявлялись отдельные противоречия данных, представленных в источниках разных видов, например, в чертежах и фотографиях. Выявилась также частичная неполнота источниковой базы по отдельным строениям монастыря. Решение этих проблем стало возможным благодаря синтезу источниковой базы, реализованного с помощью компьютерных программ трехмерного моделирования. Виртуальная реконструкция хозяйственной части монастыря, огорода, парка, монастырского кладбища и других составных частей монастыря позволила нам не только проследить эволюцию облика и формы монастырских построек, но и затронуть вопросы экономических и социальных аспектов деятельности монастыря.

Построение программного модуля верификации виртуальной реконструкции позволило нам осуществить привязку трехмерных моделей строений к имеющимся источникам о монастырском комплексе из архивных фондов ЦИАМ, ЦАГМ, РГА-ДА, тем самым создав потенциальную возможность пользователям верифицировать нашу работу и сделать созданную 3D-оболочку инструментом ана-

лиза исторических источников и синтезируемой на их основе 3D-модели.

Технический и программный аспекты применения технологий трёхмерного моделирования в историческом исследовании.

В ряде случаев коллективами исследователей, помимо привлечения программ трёхмерного моделирования для оцифровки объекта и синтеза источниковой базы, используется дополнительное программное обеспечение и оборудование: технологии фотограмметрии, программы построения геоинформационных систем, лазерные сканеры, беспилотные летательные аппараты для аэрофотосъёмки (квадро-гексакоптеры, беспилотные самолёты) и т. д.

Технологии трёхмерного моделирования в археологических исследованиях в России получили распространение во многом благодаря деятельности группы археолого-географических информационных систем (АГИС) при отделе охранных раскопок, возглавляемой Д. С. Коробовым. Основное направление научно-исследовательской работы группы осуществляется в рамках коллективной плановой темы «Исследование памятников археологии с применением ГИС-технологий», с 2003 г. перечень пополнился 3D-технологиями⁴⁵. Так, начиная с 2003 г. группой АГИС регулярно проводятся круглые столы «Археология и геоинформатика», где также освещается тематика применения технологий трёхмерного моделирования в археологии. Одним из исследований группы с применением 3D-технологий стал проект анализа системы расселения алан в эпоху раннего Средневековья в Кисловодской котловине⁴⁶. В результате исследования были проанализированы 590 археологических объектов, осуществлена привязка объектов к системе географических координат, разработана база данных ГИС и построен ряд трёхмерных моделей, включая модель рельефа и ряда строений. В 2011 г. технологии трёхмерного моделирования и лазерного сканирования стали одной из тем раздела учебного пособия Д. С. Коробова «Основы геоинформатики в археологии»⁴⁷.

Интересные результаты получены также в работах М. Ю. Баранова⁴⁸ и Л. Л. Косинской⁴⁹, а также С. А. Уткина⁵⁰.

В 2006 г. была издана книга «3DS Max. Художественное моделирование и специальные эффекты»⁵¹, авторами которой являются преподаватели кафедры информационных систем в искусстве и гуманитарных науках Санкт-Петербургского университета С. В. Швембергер, П. П. Щербаков, В. А. Горончаровский. Начиная с 2005 г. совместно с факультетом искусств СПбГУ, лабораторией 3D Multimedia Lab и отделом истории античной культуры Института истории материальной культуры РАН

на этой кафедре в рамках грантовых исследований, а также исследовательской деятельности студентов, бакалавров и магистров ведутся проекты по 3D-разработке виртуальных реконструкций объектов историко-культурного наследия. Так, в рамках междисциплинарных исследований был разработан ряд проектов виртуальных реконструкций⁵², включая фортификационные сооружения (крепость Иллура I–III вв. н.э., Пантикапея IV в. до н.э.), средневековое поселение Руси, храмы, склепы и др.

Полезный методический материал по разработке виртуальных исторических реконструкций в программах Autodesk 3D Max и Quest3D содержится в методических рекомендациях, изданных в 2011 г. коллективом авторов из Сибирского федерального университета (кафедра информационных технологий в креативных и культурных индустриях)⁵³.

К теоретическим публикациям можно отнести также статью сотрудника кафедры теории и методики преподавания истории Уральского государственного педагогического университета А. В. Фищева⁵⁴. Представляют интерес виртуальные реконструкции украинских историков-архитекторов (В. Моор⁵⁵; А. Оноприенко, Н. Трипутина⁵⁶).

Рассмотренные нами подходы призваны служить задачам научного исследования, однако в качестве инструмента трёхмерные технологии могут использоваться также и в просветительских целях, осуществлять наглядную репрезентацию для сохранения и визуализации историко-культурного наследия.

Рассмотрев предложенные в рамках 3D-моделирования подходы и методики решения задач исторической реконструкции, отметим, что апробация их в качестве инструмента синтеза источников в процессе построения виртуальной реконструкции объектов историко-культурного наследия показала эффективность и перспективность этого инструмента. Междисциплинарный характер таких исследований требует сочетания знаний историка (археолога) и IT-специалиста с опытом работы с 3D-технологиями. Оптимальный вариант реализации научно-обоснованной виртуальной исторической реконструкции соответствует, на наш взгляд, сочетанию указанных качеств в одном исследователе, имеющем склонности к междисциплинарной работе. Такие навыки даёт, например, кафедра исторической информатики исторического факультета МГУ. Студенты-историки изучают методы и технологии 3D-моделирования в рамках спецкурса «3D-реконструкции объектов историко-культурного наследия: компьютерное моделирование»⁵⁷.

ПРИМЕЧАНИЯ

- ¹ Математические модели исторических процессов : сборник статей / под ред. Л. И. Бородкина. М., 1996.
- ² Ковальченко И. Д. Методы исторического исследования. 2-е изд., доп. М., 2003. 486 с.
- ³ Бородкин Л. И. Историк и математические модели // Исторические записки. 1999. № 2 (120): Памяти академика И. Д. Ковальченко. С. 60–88.
- ⁴ Гусейнова А. С., Павловский Ю. Н., Устинов В. А., Моисеев Н. Н. Опыт имитационного моделирования исторического процесса. М., 1984. 157 с.
- ⁵ Бородкин Л. И., Свищев М. А. Моделирование процесса дифференциации крестьянства // ЭВМ и математические методы в исторических исследованиях. М., 1993.
- ⁶ Жеребятьев Д. И. Применение методики трёхмерного пространственного анализа для изучения формирования городской застройки и восстановления культурного наследия на примере Тамбовской крепости // Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер»: материалы XI конференции АИК. №35. М.; Барнаул, 2008. С. 62–63; Кончаков Р. Б., Жеребятьев Д. И. Технологии трёхмерного моделирования в ракурсе исторической информатики // Круг идей: методы и технологии исторических реконструкций / под ред. Л. И. Бородкина, В. Н. Владимирова, Г. В. Можяевой. М., 2010. С. 145–175.
- ⁷ Логдачева Е. В., Швембергер С. В. Проблемы и методики трёхмерной реконструкции [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nereditsa.ru/3D/article.htm> (дата обращения: 11.11.2011).
- ⁸ Баранов Ю. М., Чарусова И. С., Баранов М. Ю. Обоснование реконструкции и 3D-моделирование жилища раннего средневековья в Сургутском Приобье (археологические и этнографические аспекты) // Археология и геоинформатика. Вып. 7. [Электронный ресурс]. М., 2012. CD-ROM.
- ⁹ Виртуальная реконструкция историко-культурного наследия в форматах научного исследования и образовательного процесса : материалы семинара / Гуманитарный институт СФУ [Электронный ресурс]. URL: <http://humanities.institute.sfu-kras.ru/node/881> (дата обращения: 11.11.2011).
- ¹⁰ Reilly P. Computer Analysis of an Archaeological Landscape: Medieval Land Divisions on the Isle of Man. Oxford, 1988; Reilly P., Shenan S. Applying solid modeling and animated three-dimensional graphics to Archaeological problems // Computer Applications in Archaeology, ed. by S. Rahtz and J. Richards. Oxford, 1989. P. 157–166; Reilly P. Towards a virtual archaeology // Computer Applications in Archaeology, ed. by K. Lockyear and S. Rahtz. Oxford, 1990, P. 133–139; Reilly P. Three-Dimensional modelling and primary archaeological data // In Archaeology and the Information Age. ed. by P. Reilly and S. Rahtz, London, 1992. P. 147–173.
- ¹¹ Reilly P., Rahtz S. Archaeology and the information age: a global perspective. Routledge, 1992.
- ¹² Моор В. Использование методов архитектурного компьютерного моделирования для реконструкции археологических объектов // Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер». № 36. М., 2010. С. 20–21.
- ¹³ Khufu Reborn [Electronic resource]. URL: <http://www.3ds.com/company/passion-for-innovation/the-projects/khufu-reborn/khufu-reborn> (дата обращения: 11.11.2011).
- ¹⁴ Lecocq F. et al. Reconstitution virtuelle de la Rome antique (Epuise) // Collection Les Cahiers de la M. R. S. H., №14 (1998). P. 39–40 [Electronic resource]. URL: <http://www.unicaen.fr/services/cireve/rome/publications/pdf/cahier14.pdf> (дата обращения: 11.11.2011).
- ¹⁵ Lecocq F. et al. Opt. cit. P. 36–50.
- ¹⁶ Graefe R. Vela erunt: die Zeltdächer der römischen Theater und ähnlicher Anlagen. Mainz, 1979.
- ¹⁷ Lecocq F. et al. Opt. cit. P. 39–40.
- ¹⁸ Island of the Sun. UCLA. Cultural VR Lab. [Electronic resource]. URL: http://www.cvrlab.org/projects/real_time/island_of_sun/island_of_sun.html (дата обращения: 11.11.2011).
- ¹⁹ Dearborn D. S., Seddon M. T., Bauer B. S. The Sanctuary of Titicaca: Where the Sun Returns to Earth // Latin American Antiquity, 9 (3), 1998. P. 240–258 [Electronic resource]. URL: <http://www.jstor.org/stable/971730> (дата обращения: 11.11.2011).
- ²⁰ David S. P. Dearborn * University of California, Lawrence Livermore National Laboratory CA 94550; Matthew T. Seddon * University of Chicago, Department of Anthropology, Chicago, IL 60637; Brian S. Bauer * The University of Illinois at Chicago, Department of Anthropology Chicago, IL 60607.
- ²¹ Frischer B. et al. Beyond illustration: 2d and 3d digital technologies as tools for discovery in archaeology, ed. by B. Frischer, A. Dakouri-Hild, Oxford, 2008. P. 106–111. [Electronic resource]. URL: http://archive1.village.virginia.edu/spw4s/Beyond/BAR/BeyondIllustration_final.pdf (дата обращения: 11.11.2011).

- ²² Hublin J.-J. Prospects and pitfalls/Handbook of Paleoanthropology. Principles, Methods, and Approaches, ed. by W. Henke, I. Tattersall, Berlin, 2007. P. 816–817. [Electronic resource] URL: // <http://antropogenez.ru/quote/110/> (дата обращения: 11.11.2011).
- ²³ Taylor J. H. Mummy The Inside Story. London: British Museum Press, 2004. [Electronic resource]. URL: <http://www.seagulls.net/downloads/MummySpreads.pdf> (дата обращения: 11.11.2011).
- ²⁴ Baldock C., Hughes S. W., Whittaker D. K. et al. 3D reconstruction of an ancient Egyptian Mummy using x-ray computer tomography // *Journal of Royal Society of Medicine*. 87 (12). 1994. P. 806–808.
- ²⁵ Zonneveld F. W. Applications and pitfalls of ct-based 3-d imaging of hominid fossils // *Three-Dimensional Imaging in Paleoanthropology and Prehistoric Archaeology Acts of the XIVth UISPP Congress 2–8 September 2001*, ed. by B. Mafart and H. Delingette, Belgium: University of Liège, 2001. [Electronic resource]. URL: // <http://foveaproject.free.fr/BAR.0901.zonneveld.pdf> (дата обращения: 11.11.2011).
- ²⁶ Компьюлента. Наука и техника. Создан первый виртуальный макет древнеегипетской мумии. [Электронный ресурс] URL: // <http://science.compulenta.ru/48223/> (дата обращения: 11.11.2011).
- ²⁷ Isoda Y., Tsukamoto A., Kosaka Y. et al. Reconstruction of Kyoto of the Edo Era based on arts and historical documents: 3d urban model based on historical Gis data // *International Journal of Humanities and Art Computing*, 2009. № 1–2. P. 21–38 [Electronic resource]. URL: https://cga-ownload.hmdc.harvard.edu/publish_web/CGA_Presentations/Akihiro_Tsukamoto/Kyoto.pdf (дата обращения: 11.11.2011).
- ²⁸ Isoda Y. et al. *Op. cit.* P. 24, 27, 37
- ²⁹ Bernard Frischer et al. 2011. P. 111–124
- ³⁰ Mayer I., Mayer A. J., Scheiblaue C. Virtual Texturing in the documentation of cultural heritage — the Domitilla catacomb in Rome // *Geoinformatics FCE CTU, (tba)*, 2011 [Electronic resource]. URL: http://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/2011/mayer_2011_vt/mayer_2011_vt-paper.pdf (дата обращения: 11.11.2011); Zimmermann N., Eßer G. Showing the Invisible — Documentation and Research on the Roman Domitilla Catacomb based on Image-Laser-Scanning and 3D-Modelling // *35th Annual Conference of Computer Applications and Quantative Methods in Archaeology (CAA) «Layers of Perception»*. Berlin, 2007.
- ³¹ Joukowsky Institute for Archaeology and the Ancient World Center for Old World Archaeology and Art.
- ³² Acevedo D., Vote E. L., Laidlaw D. H. and Joukowsky M. S. Archaeological Data Visualization in VR: Analysis of Lamp Finds at the Great Temple of Petra, a Case Study, *Visualization 2001 Proceedings*, October 2001, Winner, Best Case Study [Electronic resource]. URL: http://www.cs.brown.edu/research/vis/do_cs/pdf/Acevedo-2001-ADV.pdf (дата обращения: 11.11.2011).
- ³³ Vote E. L. A New Methodology for Archaeological Analysis: Using Visualization and Interaction to Explore Spatial Links in Excavation Data // A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in special studies Providence, Rhode Island, May 2001. [Electronic resource]. URL: <http://vis.cs.brown.edu/docs/pdf/Vote-2001-NMA.pdf> (дата обращения: 11.11.2011).
- ³⁴ Wayne Carlson. A Critical History of Computer Graphics and Animation. // *Individual Course Sections, Section 17: Virtual Reality*. Arts College, Ohio State University, 2003 [Electronic resource]. URL: <http://design.osu.edu/carlson/history/lesson17.html> (дата обращения: 11.11.2011);
- ³⁵ Vote E. L. *Op. cit.* P. 5.
- ³⁶ *Ibid.* *Op. cit.* P. 118.
- ³⁷ *Ibid.* *Op. cit.* P. XIV.
- ³⁸ Sutherland I. E. A head-mounted three dimensional display, *Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conference*, 1968, volume 33, pages 757–764. [Electronic resource]. URL: http://90.146.8.18/en/archiv_files/19902/E1990b_123.pdf (дата обращения: 11.11.2011);
- ³⁹ Shao W., Terzopoulos D. Populating Reconstructed Archaeological Sites with Autonomous Virtual Humans. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.cs.ucla.edu/~dt/papers/iva06/iva06.pdf> (дата обращения: 11.11.2011); Shao W. Animating Autonomous Pedestrians // A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy Department of Computer Science Courant Institute of Mathematical Sciences New York University January, 2006. [Electronic resource]. URL: <http://www.cs.ucla.edu/~dt/theses/shao-thesis.pdf> (дата обращения: 11.11.2011).
- ⁴⁰ Rosumek L. A. «Chinesisches Kaisergrab entdeckt?» // *The Epoch Times*. Deutschland, 06.09.2006 [Electronic resource]. URL: http://www.epochtimes.de/49700_chinesisches-kaisergrab-entdeckt.html (дата обращения: 11.11.2011); Pfarr M. Dokumentationssystem für Digitale Rekonstruktionen am Beispiel der Grabanlage Zhaoling, Provinz Shaanxi, China // A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Dipl. Ing. in special studies Darmstadt, 2010. [Electronic resource]. URL: <http://www.dipl-Ing.de/theses/pfarr-thesis.pdf> (дата обращения: 11.11.2011).

- resource]. URL: http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/2302/13/dissertation_text.pdf (дата обращения: 11.11.2011).
- ⁴¹ Логдачева Е. В., Швембергер С. В. Проблемы и методики трехмерной реконструкции [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nereditsa.ru/3D/article.htm> (дата обращения: 10.02.2011); Простов В. А., Жеребятъев Д. И. Формирование источникового комплекса для построения виртуальной интерактивной реконструкции Скорбященского монастыря // *Историография и источниковедение отечественной истории : сб. науч. статей. Вып. 6.* СПб., 2011. С. 192–215 [Электронный ресурс]. URL: http://history.spbu.ru/userfiles/Istoriografija_i_istochnikovedenie.pdf (дата обращения: 10.02.2011).
- ⁴² Кончаков Р. Б., Жеребятъев Д. И. Технологии трехмерного моделирования в ракурсе исторической информатики // *Круг идей: методы и технологии исторических реконструкций/под ред. Л. И. Бородкина, В. Н. Владимировой, Г. В. Можяевой. М., 2010. С. 145–175.*
- ⁴³ РГАДА. Ф.1356. Оп. 1. Д.293/5840.
- ⁴⁴ Проект ведется при финансовой поддержке гранта РФФИ, № 11–06–00453а.
- ⁴⁵ Довгалев А. А. 3D-визуализация при проведении историко-культурных экспертиз // *Материалы круглого стола «Геоинформационные технологии в археологических исследованиях».* М., 2003; Алексейчук С. Н., Коробов Д. С. Трехмерное моделирование укрепления Зубчихинское 1 в окрестностях Кисловодска // *Археология и геоинформатика 5 (2008), АГИС, ИА РАН, 2008. (CD-ROM); Журбин И. В., Смумыгин А. В. Трехмерное моделирование формы археологических объектов по материалам раскопок и геофизических исследований // Археология и геоинформатика 5 (2008). М., 2008. (CD-ROM).*
- ⁴⁶ Коробов Д. С. Трехмерная визуализация Кисловодской котловины с помощью модуля 3D Analyst [Электронный ресурс] // *Археология и геоинформатика. Вып. 2. М., 2005 (CD-ROM); Алексейчук С. Н., Коробов Д. С. Визуализация укрепления Левоберезовское 3 в Кисловодской котловине [Электронный ресурс] // Археология и геоинформатика. Вып. 2. М., 2005 (CD-ROM).*
- ⁴⁷ Коробов Д. С. Основы геоинформатики в археологии : учебное пособие. М., 2011. С. 125–141.
- ⁴⁸ Баранов Ю. М., Баранов М. Ю. Поселенческие памятники коренного населения Средней Оби Нового времени: опыт виртуальных реконструкций (по материалам поселений Сырой Аган 11, 12) // *Институт истории и археологии [Электронный ресурс]. URL: http://www.ihist.uran.ru/index.php/ru/articles?paper_id=2* (дата обращения: 11.11.2011).
- ⁴⁹ Поселение Быстрый Кульёган 66: памятник эпохи неолита Сургутского Приобья/под ред. Л. Л. Косинской и А. Я. Труфанова. Екатеринбург ; Сургут, 2006. 192 с.
- ⁵⁰ Уткина С. А. Опыт применения 3D-моделирования для идентификации предметов из раскопок памятников Северо-Западной Сибири // *Современные методы полевой и кабинетной археологии // Материалы Второго (XVIII) археологического съезда (20–25 октября 2008 г., Суздаль). М., 2008. Т. 3. С. 282.*
- ⁵¹ Швембергер С. В., Щербаков П. П., Горончаровский В. А. 3DS Max. Художественное моделирование и специальные эффекты. СПб., 2006. 320 с.
- ⁵² 3D Multimedia Lab. [Электронный ресурс]. URL: <http://3dmultimedialab.ru/index.html> (дата обращения: 23.03.2012).
- ⁵³ Барышев Р. А., Румянцев М. В., Пиков Н. О., Рудов И. Н. Методические рекомендации к созданию виртуальных реконструкций, адаптированных к технологии визуализации в реальном времени. Красноярск, 2011 [Электронный ресурс]. URL: http://www.yeniseisk-heritage.ru/evaluation_guidelines/ru (дата обращения: 10.02.2011).
- ⁵⁴ Фищев А. В. Реконструкция исторического прошлого в виртуальной среде компьютера // *Вопросы информатизации образования. №14. 2010 [Электронный ресурс]. URL: http://www.npstoik.ru/vio/inside.php?ind=articles &article_key=328* (дата обращения: 10.02.2011).
- ⁵⁵ Моор В. Указ. соч. С. 20–21.
- ⁵⁶ Онопрієнко А., Тріпутіна Н. Розробка технології створення тривимірної моделі історичного центру Харкова // *Актуаліні проблеми вітчизняної та всесвітньої історії: збірник наукових праць. № 13. Херсонес, 2010. С. 181–197 [Электронный ресурс]. URL: http://hist.msu.ru/Departments/Inf/3D/Article/Kharkovs_historical_centre.pdf* (дата обращения: 11.11.2011).
- ⁵⁷ 3D-реконструкции объектов историко-культурного наследия: компьютерное моделирование. [Электронный ресурс]. URL: <http://hist.msu.ru/Departments/Inf/3D/index.html> (дата обращения: 11.11.2011).