

УДК 93/94

**С.Э. ЧУМАРИНА**

(sofyachumarina@yandex.ru)

*Волгоградский государственный социально-педагогический университет*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В АРХЕОЛОГИИ\***

*Освещен опыт использования археологами различных 3D-технологий, а также применения современного цифрового инструментария в ходе исследований на конкретных исторических и археологических памятниках.*

*Ключевые слова: археология, цифровые технологии, 3D-технологии, лазерное сканирование, фотограмметрия.*

В современном мире сложно представить науку, развивающуюся без использования технических достижений. Процессы цифровизации затронули все сферы жизни человека. Солидный опыт применения цифровых технологий накоплен, в том числе и в сфере археологической научной деятельности. Его систематизация и обобщение помогут в распространении передовых достижений IT-отрасли, позволяющих выводить научное знание на совершенно новый уровень. Цифровые технологии повышают точность исследований, т. к. они менее зависимы от человеческого фактора. Кроме того, многие из технологий обеспечивают долговременное, облачное хранение данных, что позволяет обращаться к информации удаленно [4, с. 36].

3D-технологии представляют собой «совокупность технологий, предоставляющих ученому возможность создания трехмерной модели объекта на основе данных, полученных с использованием традиционных (архивные чертежи и описания, фотографии и т. д.) и новых (фотограмметрия, лазерное сканирование и др.) методов исследования» [4, с. 38]. Спектр применения данной технологии очень широк, поскольку она представляет возможности визуализации совершенно разных объектов или частей объекта [Там же]. Таким образом, 3D-технологии позволяют археологам решать сложные задачи, которые ранее считались невыполнимыми. Некоторые из технологий можно применять даже при проведении полевых работ, что значительно облегчает деятельность ученого.

Известно множество примеров использования этих технологий на практике – как зарубежными учеными, так и отечественными. Например, технология применялась при моделировании античной базилики Крузе в Херсонесе, при реконструкции технологий строительства пирамиды Хуфу в Египте, а также проверке гипотез о верных туннелях. Данные проекты осуществлялись благодаря поддержке археолога Р. Брайера, архитектора Ж.-П. Удена, специалистов Музея изящных искусств (Бостон, США) и компьютерной компании Dassault Systèmes [2, с. 52].

Применение 3D-технологий в данных случаях было обусловлено тем, что для проведения работ необходимо было собрать достаточный объем информации об изучаемом объекте. К сожалению, большая часть данных была утрачена. От некоторых из них сохранился только античный фундамент. Технология 3D-моделирования позволила ученым воссоздать древний облик строения, опираясь на существующие гипотезы, исключая возможности технических ошибок, которые могли быть совершены археологом-исследователем. Кроме того, с использованием цифровых технологий учеными был проведен виртуальный эксперимент, который позволил подтвердить выдвинутую ранее гипотезу. Все воссозданные в программе модели зданий подвергались «прочностным» испытаниям. Таким образом, была разработана и применена «методика компьютерного анализа прочностных характеристик строения, предназначенная для снятия гипотез, не выдерживающих критики с технической стороны» [Там же].

Благодаря использованию 3D-моделирования была также разработана методика «моделирования природных процессов и их воздействия на исследуемый объект» [Там же]. Данная методика позволя-

---

\* Работа выполнена под руководством Сухоруковой Е.П., кандидата исторических наук, доцента кафедры отечественной истории и историко-краеведческого образования ФГБОУ ВО «ВГСПУ».

ет археологам определить назначение обнаруженных археологических артефактов или даже строений. При исследовании Колизея были обнаружены детали стен, которые по первичным предположениям ученых предназначались для крепления тента. В то же время, вокруг данного вопроса возникло множество гипотез о строении тента, его реальном функциональном назначении, и даже гипотезы о том, что крепления предназначены для совершенно иных устройств [2, с. 53]. Наиболее вероятными из них считались гипотезы Р. Грейфа и А.К. Карпецетти. Решить данный вопрос удалось только исследователям Д. Дефюжеру и Ф. Турнике, которые применили 3D-моделирование. Ими была воссоздана модель Колизея с тентами и было смоделировано воздействие солнечного света в течение всего дня, что было бы невозможно без существования 3D-технологий. Таким образом, была отобрана наиболее точная гипотеза, принадлежащая А.К. Карпецетти. По словам ученого, «конструкция тента опиралась на использование сетей-канатов, которые поддерживали купол. Сети канатов выводились из центрального кольца. Основная система канатов проходила через центральное кольцо к кольцу на верхней мачте, а затем, проходя через неё, спускалась вниз к лебедке» [Там же]. Подобная методика была также применена археологами с целью проверки гипотезы о функциональном назначении башни инков на острове озера Титикака как мест для сакральных целей. Первичные полевые эксперименты исследователей Б. Фришера и К. Джохансона не дали достаточной для подтверждения гипотезы информации. Более детальная реконструкция обстоятельств была возможна лишь с применением технологии 3D-моделирования. Проведенные виртуальные эксперименты позволили не только подтвердить гипотезу, но и более точно сформировать представления о функциональном назначении строений, и даже о возможном количестве участников и особенностях культового ритуала [Там же].

Трёхмерные технологии также могут выступать как инструмент полной автоматизированной реконструкции исторических объектов, артефактов и ландшафтов. Так, например, в 2009 г. исследовательской группе Азиатско-Тихоокеанского университета Рицумэйкан (Япония) удалось разработать проект «реконструкции японского города Киото XVII в. с применением автоматизированной генерации городских ландшафтов» [2, с. 54]. В исторической части города Киото было выделено семь типовых видов дворов и отдельно стоящих объектов. В результате применения технологии 3D-моделирования разработанная программа предлагала несколько вариантов размещения типовых объектов. Дальнейшая модель редактировалась исследователями самостоятельно [Там же].

Исследователь А. Карасик также применил подобную технологию – для автоматизированного анализа фрагментов разрушенного объекта [Там же]. Данная технология была бы невозможна без лазерного сканирования. Лазерное сканирование – «метод цифрового археологического исследования, который предполагает сканирование объекта или местности с помощью специальных лазерных датчиков. Результат работы сканера может быть представлен в двух вариантах: в виде растрового изображения или как массив точек» [4, с. 38]. В качестве объекта исследования используются декоративные элементы античных строений, осколки древней бытовой посуды. Объект проходит исследование лазерным сканером, информация о нем (цвет, размер, форма и т. д.) попадает в облачное хранилище, а затем на основе полученных о нем сведений, программа воссоздает виртуальную модель утраченного объекта из уже находящихся в базе данных элементов. А. Карасиком был разработан и успешно применен проект автоматизированного анализа фрагментов керамической посуды и их реконструкции [2, с. 54].

Данная технология также может применяться как инструмент пространственного анализа. Например, для анализа археологического объекта с задачей поиска предполагаемого места очередного раскопа [Там же]. Этот метод анализа применялся археологами в ходе раскопок в 1993 г. столицы Набатинского царства г. Петры (Иордания). Также учеными-археологами был реконструирован облик главного храма Петры, был проверен ряд гипотез о конструктивной особенности главного храма, пространственном расположении ряда археологических артефактов и их функциональном назначении [2, с. 57]. Все созданные трёхмерные модели были помещены в программную оболочку ARCHAVE. В ней каж-

дому обнаруженному объекту присваивается этикетка (информационная база) с описанием артефакта или строения.

Трёхмерные технологии также успешно вступают во взаимодействие с другими цифровыми технологиями. Так, например, в 2006 г. археолог Э. Воте разработал трёхмерную модель храма, которая впоследствии стала местом исследования археологов и программистов. С применением технологии виртуальной реальности ученые перемещались по виртуальному храму, что «моделировало перемещение разного количества людей по территории храма с целью оценки числа участников культа, скорости их перемещения по коридорам и т. п.» [2, с. 57].

Изучение трёхмерных технологий, а также способов их применения активно ведутся и в России. В 2004 г. на базе лаборатории социальной истории Тамбовского государственного университета 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 стали проводиться первые исследования по применению цифровых технологий [2, с. 59]. Одним из первых проектов коллектива можно считать проект виртуальной реконструкции губернского города Тамбова конца XVIII – начала XIX в. Наиболее сложной задачей была реконструкция дворянских усадеб, многие из которых не сохранились на современной карте города. С помощью 3D-технологий удалось восстановить панораму города Тамбова 1799 г. Для этого в базу данных программы были добавлены графические изображения XVIII в. Впоследствии при помощи анализа перспективы панорамы удалось выделить спорные строения города и тем самым восстановить облик дворянской усадьбы Беклемишева и ряд других строений [Там же].

С помощью технологии 3D-реконструкции был также разработан ряд проектов по воссозданию фортификационных сооружений средневековой Руси, храмов, склепов [2, с. 60]. Об этом в своей работе «Методы трёхмерного компьютерного моделирования в задачах исторической реконструкции монастырских комплексов Москвы» подробно пишет Д.И. Жеребятьев [5]. Технология активно применяется при реконструкции монастырских комплексов как за рубежом, например, при реконструкции цистерианского монастыря Санта-Мария XVI в. в Португалии или монастыря Санта-Мария XII в. в Испании, так и на территории нашей страны. С 2010 г. на базе Гуманитарного института Сибирского федерального университета идет работа над проектом «Виртуальная реконструкция Спасо-Преображенского мужского монастыря г. Енисейска XIX в.» (авторы проекта – М.В. Румянцев, А.А. Смолен, И.Н. Рудов, Н.О. Пиков и П.В. Мандрька) [5, с. 13]. Также известны разработки виртуальных реконструкций монастыря Всех скорбящих радости, Чудова монастыря, Страстного монастыря и Вознесенского монастыря [Там же]. Тем не менее, российские исследователи сталкиваются с рядом проблем. Главным критерием для отбора объектов реконструкции служит достаточный объем источниковой базы и степень её сохранности. В ходе событий XX в. было утрачено множество монастырских комплексов, в том числе и большинство информации о них. Таким образом, на данный момент реконструкции подлежат лишь совсем незначительное число памятников, однако, цифровые технологии не стоят на месте, и исследователи стремятся восстановить утраченную информацию с их применением.

Стоит уделить внимание применению 3D-технологий в практике археологических музеев. Один из самых известных – Виртуальный музей Хэмпсона [3, с. 22]. В музее представлена виртуальная лекция 3D-моделей артефактов, полученных при раскопках археологического поселения Нодена. В настоящее время это самый большой в мире виртуальный археологический музей. В нашей стране также проводятся подобные разработки. Активному развитию трёхмерных технологий в данном направлении препятствует трудоемкость процесса оцифровки, высокая стоимость оборудования, а также отсутствие специальных исследовательских лабораторий [Там же]. Тем не менее, целенаправленная работа по 3D-сканированию археологических артефактов в России ведется на базе крупных университетов, например, Иркутского государственного технического университета, Балтийского федерального университета им. И. Канта, а также в Археологическом центре Псковской области. Необходимо отметить, что в лаборатории социально-антропологических исследований Томского государственного университета были проведены обширные опытные работы по сканированию разнотипных археологических ар-

тефактов. Полученные материалы были оформлены в цифровую коллекцию «Древнее искусство Сибири» [3, с. 22].

Мы также можем проследить применение 3D-технологий на основе отдельных памятников. Технология 3D-сканирования применялась при изучении артефактов из Чагырской пещеры [9]. Сканирование объектов этим методом позволяет получить наиболее точную и достоверную информацию об объекте с целью его последующего воспроизведения. Исследователями был разработан алгоритм, по которому проходили все обнаруженные археологами объекты. Полученные сканы артефактов преобразуются в трехмерную модель, которая также подлежит последующей постобработке [9, с. 184]. При работе с каменными орудиями и костяными ретушерами из Чагырской пещеры применялся сканер отечественной разработки, программное обеспечение которого позволяет проводить разнообразные метрические измерения и манипуляции с трехмерной моделью (создавать сечения, определять центр гравитации, вычислять объем, измерять различные углы и т. д.) [Там же]. Широкий выбор инструментов в программе является незаменимым помощником для археологов, т. к. определение объема обнаруженной кости, например, делает возможным дальнейшую реконструкцию изначальной массы костяного орудия, которая могла быть утрачена в ходе применения орудия [7, с. 171]. Таким образом, исследователями отмечается, что применение методов трехмерного моделирования предоставляет множество «новых научных данных, недоступных в рамках традиционной методологии» [Там же, с. 172].

3D-технологии являются незаменимым помощником археологов в полевых работах. Это обусловлено тем, что археологические памятники невозможно исследовать несколько раз. После проведения археологических раскопок памятник уничтожается. Именно поэтому в современном мире ведутся разработки технологии 3D-фиксации [6, с. 12]. Об их применении в практике российских археологов на данный момент недостаточно сведений, что говорит о начальном этапе применения данной технологии. Более того, как отмечает в своей работе О.В. Зайцева, мы не можем даже говорить о существовании полноценного проекта по работе с данной технологией. При проведении археологических раскопок данная технология либо применяется непоследовательно, либо не применяется в целом [Там же, с. 13]. Это обусловлено недостаточным финансированием археологических раскопок, а оборудование для осуществления 3D-фиксации достаточно дорогостоящее. Более того, современные ученые даже не могут оценить размер временных затрат, поскольку они сильно зависят от модели оборудования. На данный момент процесс фиксации погребения в виде трехмерной модели требует очень большого количества времени (как минимум 3 часа), что значительно усложняет работу археологов. Несмотря на революционность данной методики, она все еще требует доработки. Тем не менее, многие археологи отмечают, что использование 3D-фиксации позволяет создать «эффект присутствия», когда все исследователи могут увидеть памятник в его первоначальном виде, а также в процессе работы [Там же, с. 14]. Таким образом, необходимо отметить перспективность данной 3D-технологии.

Современные исследователи для фиксации облика памятников используют разные методики. Среди них и лазерное сканирование, о котором упоминалось в работе, и фотограмметрия. Её суть заключается в построении по серии фотоснимков 3D-объекта [1]. Главным преимуществом данной технологии можно назвать доступность. В отличие от лазерного сканирования, при использовании которого требуются сканеры разного размера для каждого объекта, фотограмметрия позволяет получить модели лишь с использованием цифровой фото- или видеокамеры [1, с. 370]. Методику применения данной технологии можно рассмотреть на примере исследования археологических объектов Старицкого района Тверской области. На территории района известно более 10 городищ раннего железного века, которые требуют применения 3D-моделирования. Прежде всего, в качестве меры сохранения информации. Городища, как и курганы, часто подвергаются грабительским раскопкам. Предварительное сохранение в базе данных внешнего облика археологических объектов позволяет использовать их впоследствии. Например, для реконструкции средневековых городищ или даже для создания музейных экспонатов. При раскопках данных городищ и курганов также проводится фиксация обнаруженных артефактов и внесение их в базу данных для дальнейшего использования [Там же, с. 372].

Также стоит отметить успешный опыт применения фотограмметрии на примере археологических объектов горной и лесистой местности Западного Кавказа [8]. Археологами были запечатлены и воссозданы в качестве трехмерной модели 17 храмов Абхазии, среди которых – Куланьрхуа, Пшоухуа, Чхортол, Маркула-1, Маркула-2, Маркула-3, Лабра-1 и др. [Там же, с. 183].

Можно сделать вывод о том, что применение 3D-технологий в археологии позволяет значительно упростить работу исследователя. Благодаря их использованию значительно повышается точность археологических исследований, становится возможной реконструкция зданий и даже воссоздание утраченных объектов культурного наследия. Что указывает на необходимость дальнейшего активного внедрения современных цифровых технологий в археологию.

### Литература

1. Богданов В.О. Перспективы применения 3D-технологий для исследования объектов археологического исследования Тверского Поволжья // Археология Евразийских степей. 2021. № 6. С. 369–373.
2. Бородин Л.И., Жеребятёв Д.И. Технологии 3D-моделирования в исторических исследованиях: от визуализации к аналитике // Историческая информатика. Информационные технологии и математические методы в исторических исследованиях и образовании. 2012. № 2(2). С. 49–63.
3. Вавулин М.В., Зайцева О.В., Пушкарев А.А. Методика и практика 3D сканирования разнотипных археологических артефактов // Сибирские исторические исследования. 2014. № 4. С. 21–37.
4. Груздева Е.А., Орлова Е.Ю. Применение цифровых технологий в изучении материальных объектов // Баландинские чтения. 2018. Т. 13. № 1. С. 36–42.
5. Жеребятёв Д.И. Методы трёхмерного компьютерного моделирования в задачах исторической реконструкции монастырских комплексов Москвы. М.: МАКС Пресс, 2014.
6. Зайцева О.В. «3D революция» в археологической фиксации в российской перспективе // Сибирские исторические исследования. 2014. № 4. С. 10–20.
7. Колобова К.А., Чистяков П.В., Харевич В.М. [и др.]. Изучение среднепалеолитических костяных ретушеров методами трёхмерного моделирования // Труды VI (XXII) Всероссийского археологического съезда в Самаре: в 3-х т. (г. Самара, 1–2 окт. 2020 г.). Самара: СГСПУ, 2020. С. 170–172.
8. Требелева Г.В., Глазов К.А., Кизилов А.С. [и др.]. Применение 3D-фотограмметрии археологических объектов в условиях горной и лесистой местности Западного Кавказа // Труды VI (XXII) Всероссийского археологического съезда в Самаре: в 3-х т. (г. Самара, 1–2 окт. 2020 г.). Самара: СГСПУ, 2020. С. 182–183.
9. Чистяков П.В., Бочарова Е.Н. Использование 3D-сканирования при изучении артефактов из Чагырской пещеры // Труды VI (XXII) Всероссийского археологического съезда в Самаре: в 3-х т. (г. Самара, 1–2 окт. 2020 г.). Самара: СГСПУ, 2020. С. 184–185.

**SOFYA CHUMARINA**

*Volgograd State Socio-Pedagogical University*

### THE USE OF 3D-TECHNOLOGIES IN ARCHEOLOGY

*The article deals with the experience of the use of the different 3D-technologies by the archeologists and the use of the modern digital tools during the study at the concrete historical and archeological monuments.*

*Key words: archeology, digital technologies, 3D-technologies, laser scanning, photogrammetry.*