
Особенности создания 3D- и 4D-моделей для реконструкции археологических объектов

Features of creating 3D and 4D models for the reconstruction of archaeological sites

Башенкова Александра Алексеевна

Bashenkova Aleksandra Alekseevna

Институт востоковедения Российской академии наук, Центр историко-археологических исследований Крыма и Средиземноморья, младший научный сотрудник

Institute of Oriental Studies of Russian Academy of Sciences, Center for Historical and Archaeological Research of Crimea and the Mediterranean, Junior Researcher

alexandra.bashenkova@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-5294-9814

В статье речь идет о потенциальных возможностях и особенностях реконструкции археологических объектов с помощью 3D и 4D-моделирования. Виртуальная реконструкция является на данный момент наиболее востребованным инструментом для различных видов работ с археологическими объектами. Она особенно важна при их труднодоступном местонахождении, плохом состоянии, вплоть до опасности полного разрушения и подверженности другим объективным факторам. Этапы и способы создания виртуальной реконструкции различных объектов рассматриваются на примерах как зарубежной, так и отечественной практики. В частности, на примере работы с материалами международной сирийско-российской подводной археологической экспедиции под руководством В. В. Лебединского в 2023–2025 гг. в САР по теме воссоздания возможных вариантов внешнего вида и объемов башен крепости Мараклея.

Ключевые слова: виртуальная реконструкция, крепость Мараклея, 3D-моделирование, подводно-археологические исследования, Сирийская Арабская Республика, археологические памятники

This article discusses the potential and specific features of reconstructing archaeological sites using 3D and 4D modeling. Virtual reconstruction is currently the most in-demand resource for various types of work with archaeological sites, as well as for the need to showcase them, especially in difficult-to-access locations, poor condition, and the risk of complete destruction, among other objective factors. The article examines the stages and methods of creating virtual reconstructions of various sites using examples from both international and domestic practice. In particular, using the example of work with materials from the international Syrian-Russian underwater archaeological expedition led by V. V. Lebedinsky in 2021–2022 in the Syrian Arab Republic on the topic of recreating possible versions of the appearance and volumes of the towers of the Maraclea fortress.

Keywords: virtual reconstruction, Maraclea fortress, 3D modeling, underwater archaeological studies, Syrian Arab Republic, archaeological sites

Введение

Изначально понятие «реконструкция» в археологии можно разделить на несколько типов:

Описательная реконструкция — это письменная характеристика предмета и его устройства.

Графическая 2D реконструкция помогает составить представление о внешнем виде предмета, объекта и явления, пояснить назначение находок. Реконструкции выполняются в оригинальном, увеличенном или уменьшенном размере.

Натуральная (предметная) реконструкция предполагает объемное воссоздание предметов исторического прошлого. Изготовление реконструкций помогает восстановить определенные технологические приемы, выявить особенности устройства и эксплуатационные возможности предметов.

3D-моделирование — компьютерное моделирование и графика.

Мы остановимся на последнем и самом актуальном пункте и поговорим о нем подробнее.

В наше время с учетом развития технологий и науки практически невозможно провести любое исследование без взаимодействия смежных дисциплин и научных отраслей. Таким образом, реконструкция археологических объектов включает тесное взаимодействие и совместную работу археологов, историков, архитекторов и программистов.

При воссоздании 3D-моделей отдельных сооружений, археологических памятников, архитектурных и исторических ансамблей с помощью цифровых технологий и компьютерных программ необходимо опираться на уже имеющиеся разработки с использованием археологических и исторических данных.

Под 3D-моделированием в археологии принято понимать создание цифровых моделей древних артефактов, сооружений и среды. Этот процесс начинается со сбора данных на основании реальных археологических находок с использованием таких инструментов, как лазерные сканеры, и таких технологических приемов, как фотограмметрия. Одной из основных задач подобного моделирования является разработка зрительной объемной модели, которая демонстрирует, как этот объект выглядел в первоначальном виде или мог бы видоизменяться в течение определенного промежутка времени.

Эти технологии позволяют работать с материалами за пределами традиционных методов. Ученые и неспециалисты могут исследовать и изучать те или иные древности без инвазивного вмешательства, сохраняя наиболее хрупкие и подверженные разрушению ценности.

В современном процессе реконструкции археологических объектов в основном применимы два типа создания визуализаций.

Первый тип — это 3D реальное визуальное моделирование. Это объемные изображения памятников архитектуры, истории, комплексов храмов, сооружений, ландшафтов и отдельных предметов, а также объектов археологии, зафиксированные и представленные в объемной форме. То есть предмет отображается в том виде, в котором его видит человек в настоящем времени — со всеми его несовершенствами и дефектами, или же с достроенными участками, которые были утрачены, но восстановлены по достоверным источникам.

Второй тип, более сложный, — это виртуальная трехмерная реконструкция и 4D-моделирование. Этот тип моделирования применяется для воссоздания полностью утраченных или частично сохранившихся на данный момент времени объектов, и не только позволяет придать им исходный вид, но, что является наиболее ценным для данного типа реконструкции, — показать объект исследования в определенный период времени. С учетом изменения окружающей среды, смены климата, дня и ночи, т.е. влияния внешних факторов. С помощью подобного виртуального представления можно воссоздавать характерную окружающую среду и быт, показывать объект в том «реальном» времени, которое необходимо отобразить и изучить. В итоге мы получаем возможность представить различные варианты пространств и событий со своей логикой развития по своим правилам, которые могли тогда существовать.

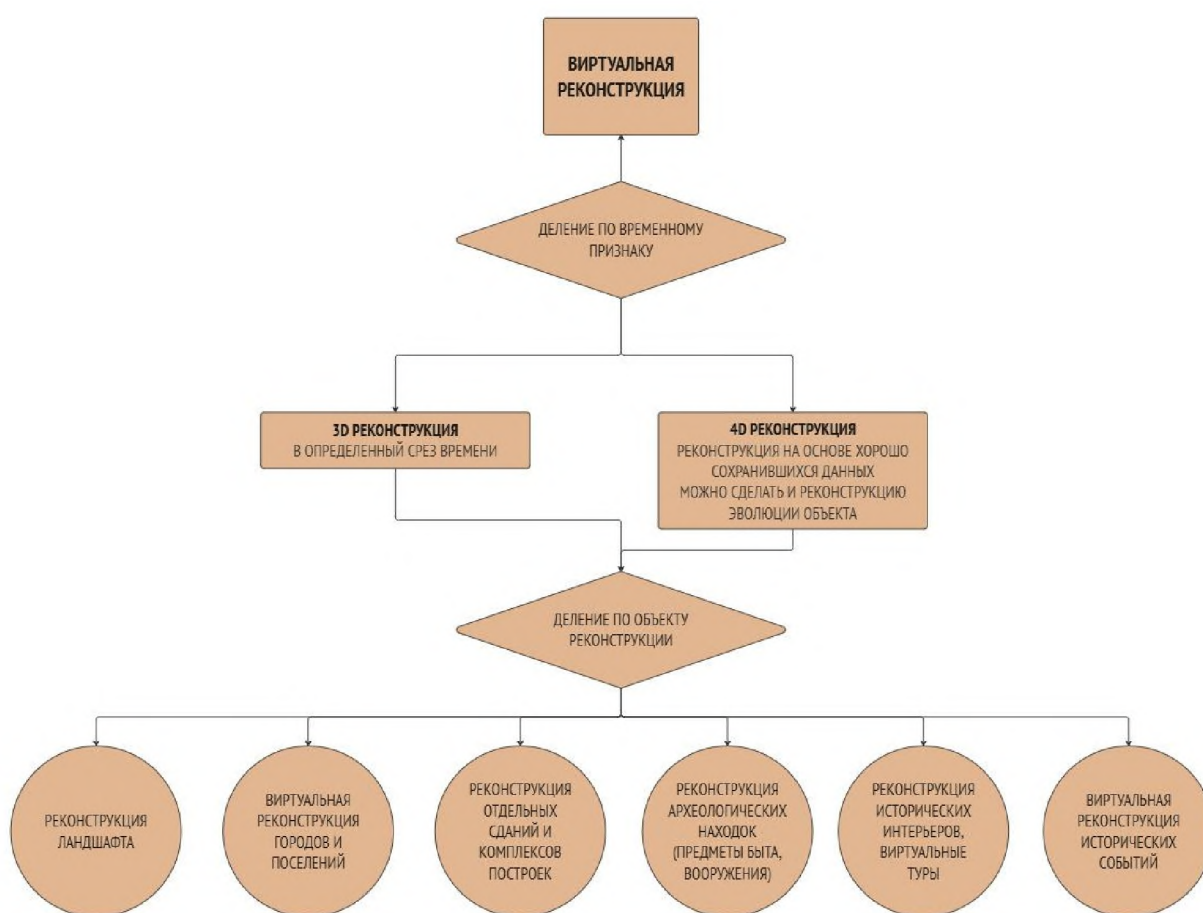


Рис. 1. Классификация виртуальной реконструкции.

Виртуальная реконструкция, несмотря на опору на археологические и исторические данные, а также сохранившиеся аналоги, не может быть абсолютно точной. Наличие расхождений в источниках и возможность нескольких интерпретаций оставляют определенную свободу в визуализации объектов. Эта вариативность нередко используется для домысливания отсутствующих деталей, включая те, которых изначально не было, — отсюда и критика метода как формы «спекуляции историей».

Основной недостаток, о котором говорят противники этого метода, — это утрата исторически точного отображения в пользу идеалистического представления для более эффектного отображения.



Рис. 2. Кадр из видеоигры Assassin's Creed: Unity (2014 г.) производства компании Ubisoft.

Например, широко известная компания по разработке видеоигр Ubisoft создала точную и реалистичную модель собора Нотр-Дам при создании игры, события которой происходят в Париже XVIII в. Однако сами разработчики утверждают, что модель, хоть и основывалась на планах собора того периода, не является абсолютно исторически точной. Виртуальная копия адаптирована для видеоигр и лучшего восприятия игрового процесса. Так, создатели добавили собору знаменитый шпиль, которого не было во времена Французской революции. Такое решение было принято умышленно, поскольку авторы посчитали, что «большинство людей, думая о Нотр-Даме, представляют именно его».

Как пример, для наиболее точной реконструкции лучше всего применима технология лазерного сканирования. Так, искусствовед и историк Эндрю Тэллон (Andrew Tallon) отсканировал Нотр-Дам с помощью лазерных сканеров. В 2010 г. компания AGP активно содействовала Эндрю Тэллону в создании цифровой модели собора. В рамках исследования несущих конструкций, использовавшихся в разных соборах мира, Тэллон создал цифровые карты Нотр-Дам с миллиметровой точностью. В этом ему помогли данные с плотностью несколько точек на сантиметр [5].



Рис. 3. Облако точек Нотр-Дам де Пари © Art Graphique & Patrimoine [5].

Технология работает следующим образом: человек расставляет маяки в пространстве, определяя при этом плотность и разрешение сканирования. Затем лазеры направляют лучи на объекты вокруг, записывая расстояние до них. В результате получается цифровая модель собора, состоящая из записанных точек.

Другой пример — это комбинирование данных цифровой съемки, лазерного сканирования и работы с историческими данными. Такие работы велись на руинах храмового комплекса Мишон (вьет. Mĩ Sơn) — обширной археологической территории, расположенной в центральном Вьетнаме [2].

На примере виртуальной реконструкции одного из храмов я опишу основные этапы работы с 3D-моделями.

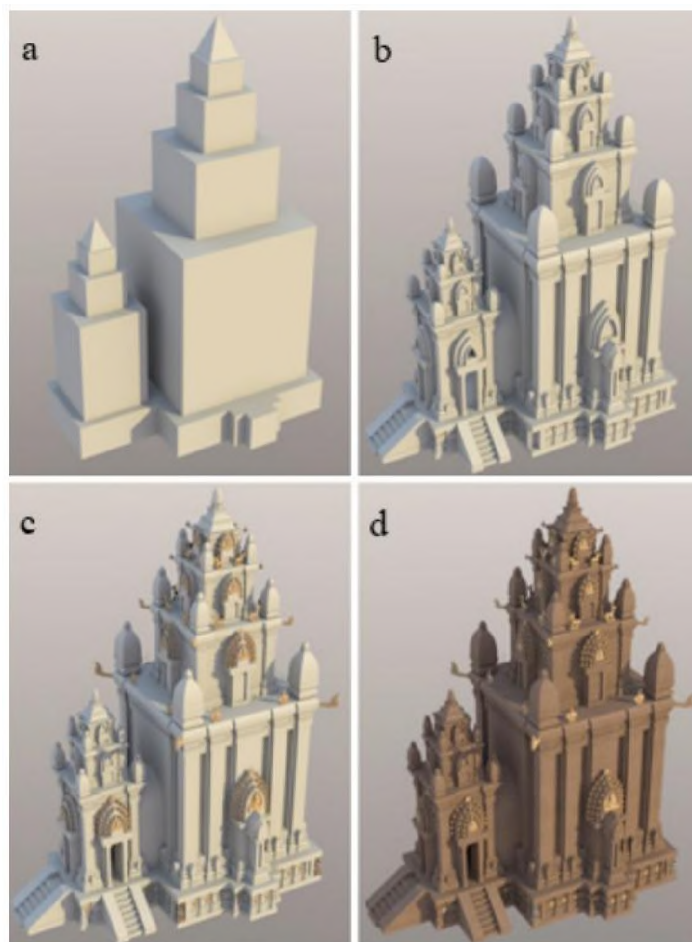


Рис. 4. Пример, отображающий последовательность реконструкции посредством 3D-моделирования: а) объемная модель — общие габариты; б) модель с отображением основных архитектурных конструкций; в) архитектурная модель с декоративными элементами; д) финальная модель с текстурами [2, с.6].

Работа по 3D-моделированию всегда ведется совместно с археологами и историками, в особенности для принятия решений по тем или иным отсутствующим элементам. На первом этапе были созданы три варианта базовой, габаритной модели храма. На втором этапе каждый вариант был уточнен и дополнен отсутствующими стенами с предполагаемыми характерными архитектурными элементами. Этот этап представлялся наиболее сложным по причине отсутствия достаточного количества материалов и данных по этому сооружению. Однако посредством сопоставления археологических данных по другим аналогичным храмам и сохранившимся текстовым записям удалось определить общие элементы и построить модель с учетом характерных архитектурных конструкций. Данный этап стал подготовительным для следующего.

На третьем этапе – на уже уточненную с архитектурной точки зрения модель добавлялись элементы декора и скульптур. Все эти шаги так же проходили совместно с археологами и согласовывались с ними, с учетом имеющихся исследований. Вариативность расположения декора может меняться до того момента, пока не будет выбран и утвержден наиболее близкий к имеющимся описаниям и данным вариант, по мнению исследователей. Если все предыдущие этапы согла-

сованы, то остается последний — финальный — наложение подходящих тому времени, объекту и месту текстур и материалов на готовую модель.

По сути, этапы, перечисленные выше, на примере работы зарубежных археологов можно использовать для создания универсальной схемы, отображающей основные этапы работы при создании 3D-моделей для реконструкции объектов.

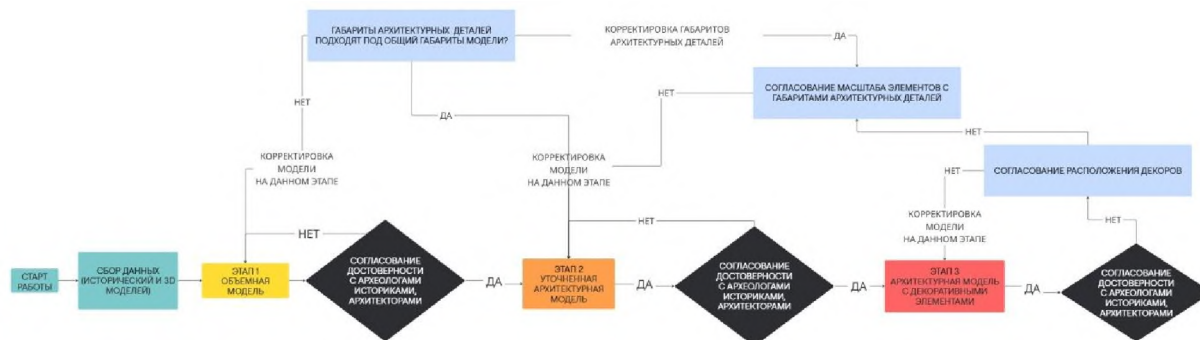


Рис. 5. Схема процесса реконструкции, основанного на сопоставлении исторических и археологических данных и 3D-моделировании.

Наша работа по созданию визуальной, а затем и виртуальной реконструкции проводилась в рамках сирийско-русской подводной археологической экспедиции под руководством В.В. Лебединского в 2021–2022 гг. с материалами, полученными в ходе подводно-археологических исследований в акватории Таурус, находящейся в Сирийской Арабской Республике. Речь идет о уникальных сооружениях крепости Мараклея, находящихся на морском дне. Мы также руководствовались перечисленными ранее методами и начали с уточнения общих габаритов, по сохранившимся описаниям, а также на основе тех фундаментов, которые были зафиксированы на искусственном рифе во время экспедиций [3].

Ниже приводится описание из арабских источников: «Замок был расположен напротив Мараклеи посреди моря, всего в двух полетах стрелы от берега, и представлял собой прямоугольную и продолговатую башню. Каждая сторона имела в длину двадцать пять с половиной локтей. Стены были толщиной в семь локтей, а сама башня имела семь этажей» [3, с. 187–188].

В качестве основы для постройки послужили лодки, которые грузили камнями и полностью затапливали в море. Камни крепостных стен были связаны друг с другом с помощью железных прутьев. Каждое основание было покрыто слоем свинца. Внутри была устроена большая цистерна, которой вполне хватало для нужд гарнизона. Этот замок защищали около ста воинов, а за ним находилась еще одна прилегающая башня [3, с. 187–188]. Также известно, что в те времена похожие сооружения возводились тамплиерами в городах Акра (Акко), Сафита и Бодрум.



Рис. 6. Виртуальная 3D-реконструкция крепости тамплиеров в Акре по состоянию на 1291 г. Кадр из фильма канала National Geographic — «Затерянные города».



Рис. 7. Донжон, часовня (Chapelledonjon) и план замка крестоносцев «Safita ou Chastel-Blanc» в Сирии (Syrie). Современный вид [4, с. 363].

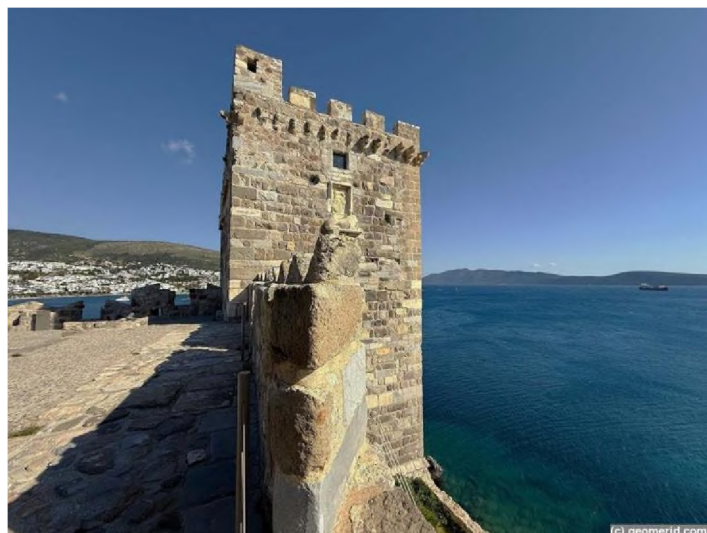


Рис. 8. Замок Святого Петра (Бодрум, Турция).
Английская башня была наблюдательным пунктом за морем [6].

Лучше сохранившиеся примеры крепостей и башен того же промежутка времени позволяют на их примере понять основные архитектурные принципы, которые могли быть применимы на нашем объекте. На примере схематического сечения башни в Сафите можно понять предположительное количество уровней и их назначение.

«Внутри башня состоит из трех уровней. На первом этаже находится часовня св. Михаила. Ее стены поднимаются на 17 метров в высоту и завершаются бочкообразным сводом. В восточной части зала находится полукруглая апсида и алтарь. Интересно, что наружная сторона башни плоская, ниша апсиды оказывается полностью утоплена в толще стен. Шесть узких окон, освещающих алтарь, больше походят на бойницы. Света, который проходит через них, хватает лишь на то, чтобы ослабить царящий в зале сумрак. В центре зала находится отверстие цистерны, вырубленной в скале под самой башней. В юго-западном углу часовни устроена лестница, которая ведет на верхний этаж. Лестница в западной части стены ведет отсюда на открытую верхнюю площадку башни. Парапет выполнен в виде зубцов с прорезанными в них бойницами для лучников» [4, с. 365].

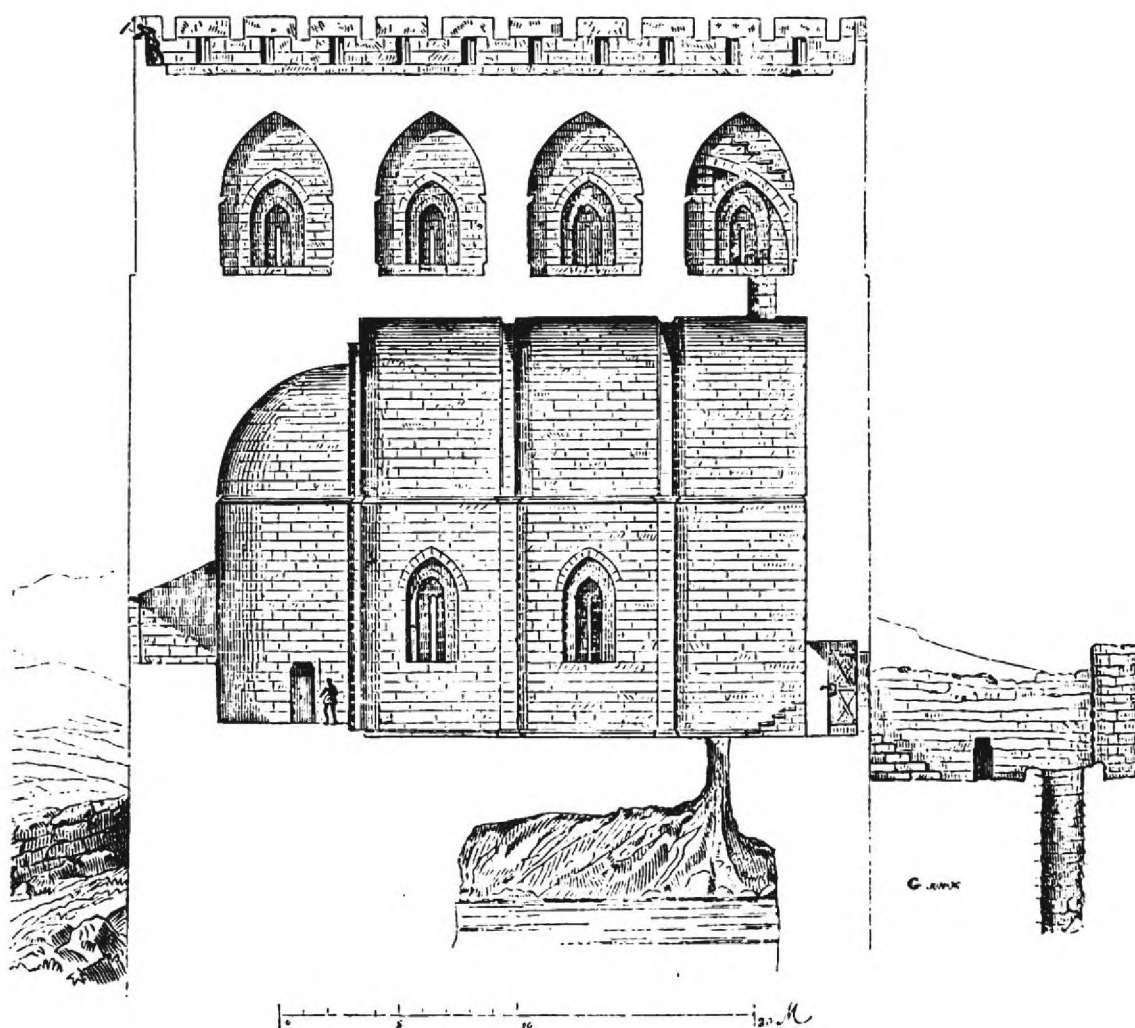


Рис. 9. Средневековая крепость Сафита. Иллюстрация, схематичное сечение. Источник: Эммануэль Гийом Рэ «Исследование памятников военной архитектуры крестоносцев в Сирии и на острове Кипр». 1871. С.90 [7].

На начальном этапе виртуальной реконструкции была создана эскизная модель с габаритами объектов исследования.

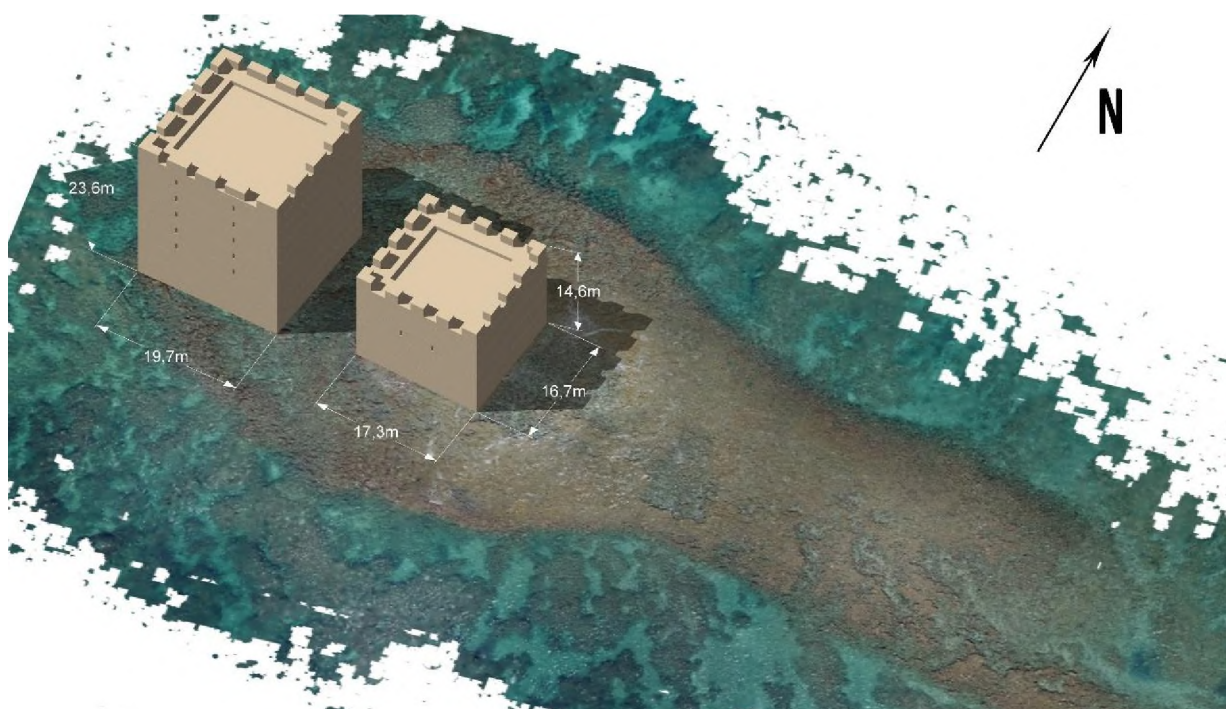


Рис. 10. Эскизная 3D-модель реконструкции башен крепости Мараклея (автор Башенкова А. А.)

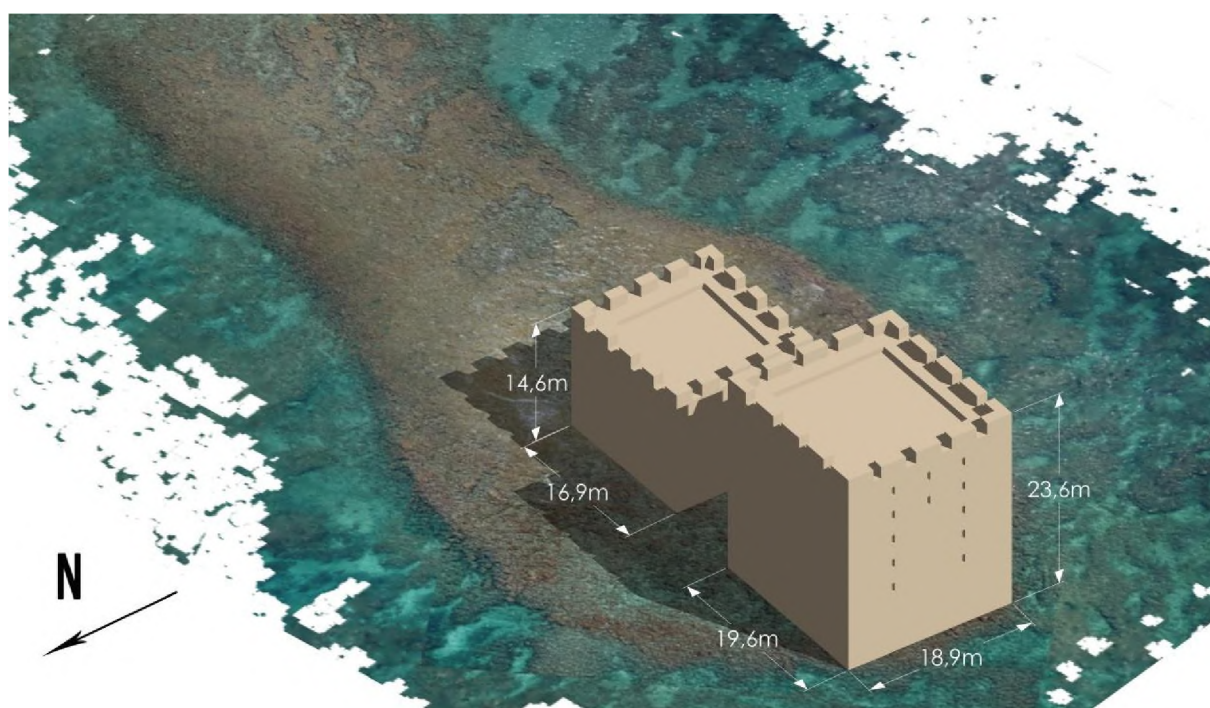


Рис. 11. Эскизная 3D-модель реконструкции башен крепости Мараклея (автор Башенкова А. А.)

По сохранившимся фундаментам и описаниям габаритов башен были под-
няты условные модели с учетом имеющихся сохранившихся аналогов.

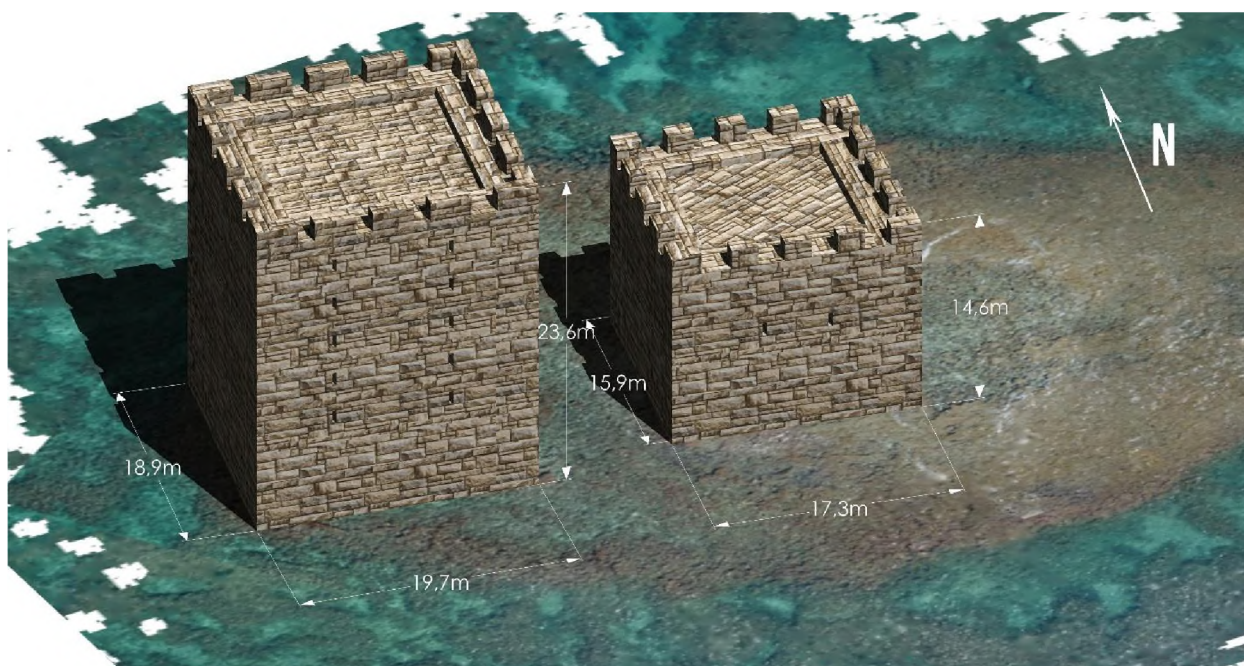


Рис. 12. Эскизная 3D-модель реконструкции башен крепости Мараклея
(автор Башенкова А. А.)

Это только первоначальный этап, после которого необходимо проводить дополнительные исследования и совместные работы по выявлению характерных архитектурных деталей, конструкций и элементов, свойственных фортификационным строениям того промежутка времени.

К тому же в ходе проведенных работ в непосредственной близости от фундаментов под водой был зафиксирован ряд архитектурных деталей: остатки колонн, известняковые блоки. Однако говорить о функциональности обнаруженных колонн можно будет только после полного обследования остатков крепости.

Проведение дальнейших подводно-археологических исследований, изучение и анализ письменных источников, данных картографии и гидрологии позволят продолжить разработку виртуальной модели этого исторического памятника Сирийской Арабской Республики, и приблизит нас к финальному результату.

Таким образом, подводя итог, можно сказать, что в нашем проекте 3D-реконструкции башен Мараклеи, проводимом под руководством В. В. Лебединского, на дальнейших этапах разработки будет представлен тот самый аспект вариативности.

Нами будут проработаны варианты расположения деталей и количества уровней в башнях, их внешние особенности, и в итоге из возможных вариантов коллективом участников процесса будет выбран вариант, наиболее соответствующий тем совокупным характеристикам, которые, как мы считаем, могли быть присущи этим сооружениям.

Библиография

1. Щучкина Е. Н., Стойчикова Е. Д., Историческая реконструкция методами 3D моделирования // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2021. Т. 3. С. 966–969. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoricheskaya-rekonstruktsiya-metodami-3d-modelirovaniya>.
2. Guidi G., Russo M., Angheladdu D., Digital Reconstruction of an Archaeological Site Based on the Integration Of 3D Data and Historical Sources // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W1, 2013 3D-ARCH 2013 – 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 25–26 February 2013, Trento, Italy, 2013. P. 99–105.
3. Лебединский В. В., Прудников В.В. Результаты исследований остатков морской крепости Мараклея (Хараб Маркия) в акватории Сирийской Арабской Республики в 2021–2022 гг. // Археология евразийских степей. 2023. №5. С. 182–195.
4. Орлов И.И. Морфология средств защиты и фортификации западной Европы под влиянием крестовых походов XI–XIII вв. // Вестник РГХПУ им. С.Г. Строганова. 2020, № 4, Ч. 2. С. 363–365.
5. Крупенников И.В. «Как лазерный 3D-сканер помогает восстановить Нотр-Дам-де-Пари» // URL: https://blog.iqb.ru/faro-3d-scanner-notre-dame/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera
6. Замок Святого Петра. © Geomerid.com // URL: <https://geomerid.com/ru/place/zamok-svyatogo-petra-bodrum-dostoprimechatelnosti/overview/> Авторские права принадлежат Geomerid.com
7. Rey E.G. Etude sur les monuments de l'architecture militaire des croisés en Syrie et dans l'île de Chypre. Paris: Impr. nationale. 1871. С.90.

References

1. Shchuchkina E. N., Stoychikova E. D., Historical Reconstruction By 3d Modeling Methods // Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavtiki. 2021. T. 3. С. 966–969. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoricheskaya-rekonstruktsiya-metodami-3d-modelirovaniya>.
2. Guidi G., Russo M., Angheladdu D., Digital Reconstruction Of An Archaeological Site Based On The Integration Of 3D Data And Historical Sources // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W1, 2013 3D-ARCH 2013 – 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 25–26 February 2013, Trento, Italy, 2013. P. 99–105.
3. Lebedinskiy V. V., Prudnikov V. V. Results of the Study of the Sea Fortress Remains of Maraclea (Kharab Maraqiya) In the Water Area of the Syrian Arab Republic In 2021-2022 // Archaeology of the Eurasian Steppes. 2023. №5. P. 182–195.
4. Orlov I. I. Morphology of Means of protection and fortification of Western Europe under the Influence of crusades of the XI–XIII-th centuries. // «Gerald of the RGHPU». 2020, No. 4, Part 2. P. 363–365.

5. Krupennikov I. V., «How a 3D Laser Scanner is Helping Restore Notre-Dame de Paris» // URL: https://blog.iqb.ru/faro-3d-scanner-notre-dame/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera
6. Castle of St. Peter. © Geomerid.com // URL: <https://geomerid.com/ru/place/zamok-svyatogo-petra-bodrum-dostoprimechatelnosti/overview/>
7. Rey E.G. Etude sur les monuments de l'architecture militaire des croisés en Syrie et dans l'île de Chypre. Paris: Impr. nationale, 1871. P.90.