ВОССОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ 3D-РЕКОНСТРУКЦИИ АНТРОПОГЕННОГО ЛАНДШАФТА ПОЛУОСТРОВА АБРАУ В АНТИЧНУЮ ЭПОХУ ПО ДАННЫМ АРХЕОЛОГИИ*

RECREATING A VIRTUAL MULTI-LEVEL MODEL OF ANTHROPOGENIC LANDSCAPE ABRAU PENINSULA IN ANCIENT TIMES ACCORDING TO ARCHEOLOGY

Малышев Алексей Александрович

Кандидат исторических наук, с.н.с. Института археологии РАН.

E-mail: maa64@mail.ru

Жеребятьев Денис Игоревич,

Кандидат исторических наук, ассистент кафедры исторической информатики исторического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова

E-mail: dzher@inbox.ru

Моор Вячеслав Витальевич

Архитектор/реставратор, начальник градостроительного управления администрации Гагаринского района Севастополя E-mail: moor v@mail.ru

Королёва Светлана Сергеевна

Сотрудник технического отдела Института физико-химической биологии им. А. Н. Белозерского. E-mail: s.koroleva@gmail.com

Alexey A. Malyshev

Denis I. Zherebyatyev

Vyacheslav V. Moor

Svetlana S. Koroleva

Рассматриваются основные аспекты воссоздания виртуальной 3D-реконструкции антропогенного ландшафта полуострова Абрау в античную эпоху по данным археологии. Накопленный объем данных позволяет создать многоуровневую виртуальную модель антропогенного ландшафта одного из регионов северного Причерноморья на базе современных технологий, используемых в археологических исследованиях, таких как технологии фотограмметрии, виртуальных панорам, 3D-моделирования и т.д.

Ключевые слова: археология, полуостров Абрау, Причерноморье, Раевское городище, поселение Дубки, виртуальная реконструкция, технологии фотограмметрии, виртуальные панорамы.

In this article the authors analyze the main aspects of the development of 3D virtual reconstruction of the peninsula Abrau landscape in ancient times according to archeological data. The available data allows to create a virtual model of a multi-level landscape of this region of the northern Black Sea on the basis of advanced technologies such as photogrammetry, virtual panoramas, 3D modeling, 3D engine, etc.

Keywords: digital archaeology, peninsula Abrau, Rayevskoe settlement, settlement Dubki, virtual reconstruction, photogrammetry, virtual panoramas, 3D engine.

^{*} Проект проводится при финансовой поддержке гранта РГНФ, № 13-01-12017 (2013-2015 гг.).

Территория между современными Анапой и Новороссийском (в античное время Горгиппия и Бата-гавань) в специальной литературе получила название полуострова Абрау. Данные письменных источников об истории этого региона крайне ограничены. Тем не менее благодаря многолетним комплексным исследованиям получен большой материал, позволяющий воссоздать не только связную картину этнополитической истории этого региона, но и, из-за специфики археологического источника эволюцию антропогенного ландшафта этого региона на довольно значительном хронологическом промежутке: начиная с античного времени, когда полуостров Абрау являлся составной частью Боспорского государства, до нового времени.

Накопленный объем данных позволяет создать многоуровневую — эпоха эллинизма (IV–II в. до н.э.), раннеримское время (I в. до н.э. — I в. н.э.), Новое время (XVII–XVIII вв.) — виртуальную модель антропогенного ландшафта одного из регионов Северного Причерноморья.

Опыт реализации проектов виртуальных реконструкций исторических объектов за рубежом значителен: пирамида Хуфу ХХVI в. до н.э.¹, Персеполис VI в. до н.э.², Рим IV в. н.э.³, Троя I–IX слои⁴, Пьетра II в. до н.э.⁵, Иерусалим I в. н.э.⁶, Константинополь 1200 г.² и др. Существенно меньше разработано российскими исследователями, в особенности виртуальных интерактивных онлайн реконструкций, связанных с археологией⁸. Среди них реконструкции Стасовского склепа 1872 г.⁹, деревянная крепость Тамбов XVII в.¹⁰ и др. Виртуальных реконструкций, представленных с помощью видео или статичных изображений, значительно больше. Первые публикации по данной тематике относят к 1997 г.¹¹

Отличие между системой репрезентации результатов работы на базе интерактивных технологий или представленных в виде видео или отдельных изображений заключается не столько в методе подачи информации, но и в наличии исследовательского инструментария. Демонстрируемый видеоролик или статичную картинку (скриншот) значительно сложнее подвергнуть научному анализу и критике (например, сделать замер части здания или его срез). Зачастую наличие документации об исследуемом объекте на сайте позволяет снять ряд вопросов при просмотре видео. Но порой возникает парадокс, когда видео существует само по себе и не связано с источниковой базой виртуальной реконструкции. Виртуальные реконструкции, созданные на базе интерактивных онлайн-технологий, позволили существенно усилить научную составляющую виртуальных реконструкций, внеся инструментарий анализа трехмерных моделей. В результате стало возможным иначе организовать работу с источниковой базой виртуальной реконструкции: пользователь, просматривая виртуальную реконструкцию, может выбрать отдельный интересующий его артефакт и получить в системе доступ к источниковой базе всего объекта или отдельных его элементов. Возможность проверки результатов виртуальной реконструкции обеспечивается в подобных интерактивных системах не только за счет новой организации структурирования информации, но и возможности использовать инструментарий анализа каждой 3D-модели. В итоге пользователь может от анализа всей виртуальной реконструкции перейти к анализу отдельного археологического артефакта и поэтапно сделать замеры отдельных его фрагментов, создать разрез отдельных его частей и т.п. Подобная система подачи информации позволяет надежнее установить степень аутентичности модели и выявить отдельные нестыковки, ошибки авторов реконструкции.

Развитие подобного инструментария анализа виртуальной реконструкции за рубежом в последние годы позволяет говорить о формирующемся стандарте репрезентации объектов культурного наследия на базе интерактивных систем. Можно считать подобную разработку информационной системой научной верификации виртуальной реконструкции.

Предлагаем свою концепцию построения подобной системы на примере виртуальной 3D-реконструкции антропогенного ландшафта полуострова Абрау в античную эпоху. Реконструкция реализуется с помощью современных средств трехмерного моделирования, программ создания интерактивных приложений («3D-движков») и программ фотограмметрии; ее главным результатом станет создание виртуальной 4D-интерактивной реконструкции¹² в среде Unity³D и ряде других смежных сред и разработка информационной системы научной верификации виртуальной реконструкции.

Наиболее значительны и многообразны эти данные по античной эпохе. В настоящее время нами осуществляется реконструкция антропогенного ландшафта раннеримской эпохи. По-видимому, начиная с эпохи эллинизма, эта территория являлась владениями боспорских правителей, для ее защиты и управления на рубеже эр возникает общирная сеть блок-постов — башнеобразных сооружений, в которых дислоцировались небольшие подразделения регулярной армии Боспорского государства¹³.

Одним из основных объектов реконструкции является история Раевского городища, расположенного в окрестностях Новороссийска. Географическое положение, выявленные здесь сооружения и комплексы свидетельствуют о его значении

как административного центра, осуществлявшего контроль над материковой частью полуострова.

Площадь территории городища (в пределах валообразной насыпи) составила 8,71 га. По периметру оно было опоясано оборонительными стенами, в которые были включены девять башен. Башни распределены вдоль стен неравномерно, концентрируясь преимущественно вдоль южной стены городища и южных отрезков западной и восточной стен — на участках, наименее защищенных рельефом. Как минимум, три башни (восточная, юговосточная, юго-западная) имели каменные цоколи прямоугольной формы.

Северная часть протяженностью около 185 м представляет крутой, около 35°, склон к реке Маскага, высотой 32–35 м. На этом склоне, в районе мысового гребня, выявлен ныне не используемый подъем на городище, шириной около 2–3 м, завершающийся въездом. Верхний участок въезда подходит к основанию крепостной стены, далее следует вдоль ее подножия с востока на запад около 40 м.

На расположенной в северо-восточном углу городища цитадели было выявлено основание двух оборонительных стен шириной около $1,8\,\mathrm{m}$, образующих прямой угол. Это позволило определить ее размеры и представить, что находилось на защищаемой территории: здание размером $12\times22\,\mathrm{m}$ (площадью $252\,\mathrm{m}^2$) и небольшой дворик к югу от него. Общая площадь цитадели — $650\,\mathrm{m}^2$. Местоположение въезда на цитадель еще не обнаружено. С восточной стороны зафиксирован вход (калитка?). Судя по уровню каменного завала с внешней стороны стены, поверхность была в древности срезана (эскарпирована).

В Новороссийской экспедиции Института археологии РАН 2013 г. наряду с традиционными инструментами фиксации раскопок авторским коллективом была апробирована одна из перспективных технологий фиксации информации — технологии фотограмметрии, результаты которых были положены в основу построения трехмерных моделей для виртуальной реконструкции. В основе данного метода лежат алгоритмы автоматизированного построения трехмерных моделей на базе фотографий, отснятых по периметру всего объекта. Первым этапом работы стала детальная съемка на фотоаппарат Canon 60D с линзами 10 мм и 25 мм отдельных башен Раевского городища по периметру в определенный временной промежуток на момент равномерного освещения (до восхода солнца). Затем в программе Agisoft Photoskan Pro велась обработка фотографий по следующим шагам:

а) привязка фотографий друг к другу. На фотографиях маркерами обозначались контуры отдельных углов и предметы, которые про-

- грамма на последующих фотографиях автоматически должна была распознать;
- б) создание облака точек. После привязки фотографий программа создавала облако точек с геометрией постройки;
- в) создание геометрии постройки. Аналогичное облако точек получается в процессе лазерного сканирования;
- г) создание текстуры на основе фотографий. Процесс построения высокополигональной модели на базе технологий фотограмметрии башни занял от 4 до 6 часов на ноутбуке и проводился в рамках экспедиции на месте раскопок¹⁴.

Созданная посредством технологии фотограмметрии трехмерная модель послужит двум задачам, одной из которых является основа для построения трехмерной модели, вторая — исходник, прилагаемый к документации для дальнейшего анализа и работы с ним. Фотограмметрические модели позволяют наиболее точно передать геометрию моделей. Отличительной их особенностью является возможность передавать сложные геометрические формы объекта, которые проблематично начертить вручную, в программах автоматизированного проектирования САD (computer-aided design).

Начнем со второй задачи. Построение трехмерной модели с помощью технологий фотограмметрии не может быть, по нашему мнению, самоцелью исследования, так как в этом случае модель может заменить хорошая фотография. Непосредственной задачей на данном этапе работы мы видим построение рабочего инструментария с моделью. Для этого созданная 3D-модель была экспортирована из программы Agisoft Photoskan Рго в формате U3D, после чего импортирована в программу Adobe Acrobat X с настройками «вид с 3 сторон» + «вид ISO». В ряде случаев для того, чтобы более детально доработать созданную модель и поправить текстуру прямо на 3D-модели, использовалась программа Meshlab. Для этого экспорт из программы Agisoft Photoskan Pro производился в формате obj, открывался в Meshlab и после экпортировался в U3D и импортировался в Adobe Acrobat X.

Созданная 3D-модель в формате pdf может быть просмотрена в программе Adobe Reader. Начиная с версии 9.0, в программу встроен инструмент анализа размеров и построения среза модели (см. рис. 4). Каждый элемент модели, помимо размера, может содержать подпись с текстовым описанием. При необходимости программа позволяет поменять освещение, превратить модель в чернобелый чертеж и т. п. В нашем случае для корректного освещения модели мы использовали настройку освещения Cube Light. Программа Adobe Acrobat X имеет разные возможности репрезентации моде-

ли и ее анализа, мы не будем подробно останавливаться на их описании. После необходимой разметки в программе Adobe Acrobat X модель сохраняется в формате pdf и прилагается к археологической документации уже со встроенными инструментами анализа.

Перейдем к описанию первой задачи — построению трехмерной модели на базе фотограмметрической модели. Для решения данной задачи авторами в программе Adobe Photoshop производилось объединение метровок и планов раскопа. В результате полученный план сохранялся в формате јрд и импортировался в 3D-программу ArhiCAD.

Далее в ArhiCAD производился импорт фотограмметрической модели, чертежей раскопа и срезов, включая чертеж шурфирования. В ряде случаев при сопоставлении нескольких чертежей раскопов и трехмерной фотограмметрической модели обнаруживался ряд нестыковок (см. рис. 5. Слева). Далее, на основе контуров чертежей, фотограмметрических моделей и данных топосъемки городища производилось возведение стен (см. рис. 5).

Параллельно с процессом реконструкции городища в программе Unity³D на базе топографического плана местности велось построение модели рельефа. Первоначально в программе Adobe Photoshop CS3 было произведено совмещение топографического плана территории с данными магнитосъемки, на основе чего были созданы два плана (текстура) форматом 8096 на 8096 пикселей. С помощью инструментария генерации ландшафта в программе Unity³D по данным топосъемки с высокой точностью была создана модель рельефа.

Следующим этапом работы стала реконструкция почвенного покрова. Геологические исследования полуострова Абрау за ряд лет позволили выявить в лабораторных условиях ряд растений, характерных для данной местности по разным временным периодам. Мы не будем останавливаться подробно на рассмотрении всех тонкостей реконструкции растительного покрова и перечислять виды растений и деревьев, произраставших на определенный временной период. Этим вопросам будет посвящена отдельная публикация.

Учитывая, что часть растений исконно существовала на полуострове и дошла до наших дней, в рамках экспедиции были отобраны отдельные виды растений и деревьев, которые вошли в библиотеку растительного покрова виртуальной реконструкции. Если часть деревьев уже существовала в стандартных библиотеках программы Unity³D и частично была скачана из других цифровых библиотек растительности из Интернета, то часть специфических растений, характерных для данной местности, пришлось снимать на фотоаппарат. Съемка велась на белом фоне или фоне неба, по-

сле чего фотография обрабатывалась в программе Adobe Photoshop CS3 и сохранялась в формате psd с прозрачным задним фоном и альфа-каналом. Аналогичным образом делались фотографии растительного покрова рельефа (см. рис. 6 слева). Результатом виртуальной реконструкции стала модель рельефа с растительным покровом. Далее из программы ArhiCAD был сделан экспорт моделей в формат 3ds вместе с материалом (текстурами). Следующим этапом работы стал импорт моделей в программу Unity³D, где создавался итоговый вариант виртуальной реконструкции. В итоге постройки были спроецированы на рельеф.

Одним из этапов работы, являющимся не менее важным, чем этап создания фотограмметрических моделей, стало построение виртуальных панорам. С помощью фотоаппарата Canon 60D и 8 мм «рыбий глаз» нами была сделана съемка на 360 градусов в основных важных точках раскопа. Затем кадры были загружены в программу PTGui 9.1 и собраны в единую панорамную картину, после чего склеены в отдельную панораму с помощью программы Kolor Panotour Pro 1.8. В этой же программе авторами был создан виртуальный тур по археологическому раскопу. На данном этапе созданные виртуальные панорамы послужили следующим задачам: фиксация информации, удобная демонстрация посредством виртуального тура стали основой для окружающей среды в Unity³D. Если в первых двух случаях созданные виртуальные панорамы вошли в состав информационной оболочки виртуальной реконструкции, то в последнем виртуальная реконструкция стала основой для создания окружающей среды (горизонта, неба) для виртуальной реконструкции в Unity³D. Далее, в программе Adobe Photoshop CS3 на созданном рисунке был удален ближайший горизонт, оставлены только горы и небо, замазаны штампом современные строения. После чего единая панорамная картина была открыта в Pano²VR, спроецирована на куб и загружена в библиотеку Unity³D. Посредством данной технологии авторам удалось воссоздать в виртуальных реконструкциях аутентичную окружающую среду.

Если технологии фотограмметрии применялись в нашем случае для оцифровки результатов раскопок, то для анализа и построения цифровых моделей найденных отдельных артефактов использовались интерактивные флеш-технологии на базе программы Object²VR. Каждый найденный артефакт был детально отснят по кругу на фотоаппарат на белом однообразном фоне. Для этого авторы спроектировали специальную станцию съемки на базе крутящейся основы-подноса и листа ватмана по периметру. Благодаря подвижному подносу на шарнирах неподвижная камера могла

снимать со всех сторон поворачивающийся предмет. Созданные фотографии были интегрированы в программу Object²VR, в которой производилось построение интерактивных флеш-моделей. Подобным образом был оцифрован ряд археологических находок, а также часть экспонатов местного музея.

Следующим этапом работы стала разработка информационной системы научной верификации виртуальной реконструкции. Об этом пойдет речь ниже.

Помимо сооружений Раевского городища была осуществлена 3D-реконструкция башнеобразного сооружения на поселении Дубки. Перейдем к ее описанию.

Отметим, что аналогичные объекты зафиксированы по всей территории полуострова Абрау. Подобные объекты (предположительно сигнально-сторожевые башни) располагаются регулярно в пределах 5–8 км (в зоне прямого просмотра) друг от друга, что может свидетельствовать о том, что данное реконструируемое сооружение является одним из комплекса сооружений, объединенных в общую сигнально-сторожевую сеть.

Постройка представляет собой типичное для этого региона двухкамерное сооружение, размером 7.7×12.7 м, общей площадью 97.8 м², она сохранилась на сегодняшний день в виде фрагментов стен полного периметра застройки высотой до 1,7 м, выполненных панцирной кладкой из местного камня с заполнением послойной плашечной забутовки на глиняном растворе. Такое сооружение, кроме только сигнального, носило еще и тактико-оборонительный характер. Об этом можно судить по следующим фактам: толщина кладки панцирных стен значительно превышает необходимую толщину для решения задач, связанных только с конструктивными особенностями здания; также явно прослеживается то, что кладка внешнего панциря выполнена из камня значительно большего калибра, пригодного для противодействия при нападении. Крупные блоки правильной формы, размером около $0.6 \times 0.6 \times 1.5$ м, использованы в фундаментном нижнем ряду и для укрепления углов здания.

Исследованные строительные остатки свидетельствуют о явном дефиците удобного для кладки (прочного и геометрической формы) строительного материала и о высоком уровне мастерства строителей, возводивших объект. При такой высокой квалификации строители, скорее всего, были профессиональными, т. е. исключительно строительными ремесленниками и не занимались другими видами деятельности.

Исходная высота каменной кладки была не менее 2,5 м. Судя по целой «сети» хозяйственных ям и более многочисленному массовому материалу

в слое, помещение 2 (далее пом.) было хранилищем, тогда как пом. 1 имело полифункциональное назначение — являлось входом-распределителем, обеспечивающим функциональные связи здания между различными функциональными зонами башни и, отчасти, использовалось как хозяйственное, (так как в аналогичных помещениях таких же сооружений, как и пом. 2, также была зафиксирована хозяйственная яма).

Поскольку башня имела хозяйственную часть и создавалась для выполнения конкретной боевой задачи, в ее устройстве должно было быть чёткое функциональное зонирование с обязательным разделением хозяйственной, жилой зон и зоны военного действия. Хозяйственная зона предопределена достаточно наглядно имеющимся археологическим материалом. Существование жилой зоны обусловливается необходимостью обслуживания, да и вообще мотивацией создания непосредственно в здании боевой башни значительной и чётко выделенной хозяйственной зоны. Жилая зона (пом. 4), вероятнее всего, располагалась на втором уровне над пом. 2, поскольку военная зона (пом. 3, 5, 6) должна быть единой и иметь максимально беспрепятственную связь с пом. 1.

Во избежание накапливания влаги внутри помещений на нижнем уровне, они должны были иметь вентиляционные отверстия, небольшие по размеру, вытянутые в горизонтальном направлении.

Ширина внешних стен (1,5 м), их сохранность (отсутствие следов естественного расползания кладок) и наличие опорного камня для лестничного пролета в восточном углу пом. 1 здания свидетельствуют о том, что весь периметр здания был перекрыт, а выше возведен второй уровень.

Наличие хорошо организованной лестничной платформы с подобранным под основание лестницы цельным опорным камнем указывает на большую интенсивность, загруженность и важность вертикального потока в функционировании сооружения. Это, в свою очередь, указывает на то, что верхний уровень по функциональному назначению был в сооружении не менее значимым, чем нижний, а возможно, и основным, самым востребованным.

Какой материал использовался для возведения конструкций верхних уровней: камень, дерево или глина (сырец)? С одной стороны, для возведения высокой, около 10м постройки сырцовый кирпич, вне всякого сомнения, оптимальный, по сравнению с деревом и камнем, строительный материал. Помещения для круглогодичного жилья в сырцовых стенах обладают хорошей теплоизоляцией и не пожароопасны. Судя по палеоботаническим данным, источники подходящего

строительного леса из хвойных пород были незначительными, налицо и явный дефицит строительного камня.

С другой стороны, сырцовый кирпич не выдерживает взаимодействия с атмосферными осадками, с наружной стороны кладка нуждается в финишном покрытии, и, скорее всего, она была оштукатурена раствором глины с добавлением конского навоза для придания гидрофобных свойств и растительного наполнителя (какого точно — проследить невозможно) для снятия внутреннего напряжения материала.

Растворы на основе глины в данном сооружении используются достаточно активно и в широком диапазоне строительных задач: как гидрофобная фасадная штукатурка, как формовочная масса сырцового кирпича, как кладочный раствор в панцирной кладке и забутовке панциря на первом уровне при устройстве пола.

Судя по расположению упорного камня в восточном углу, вход на верхний уровень был устроен в северном углу площадки, в пом. 3. Очажная конструкция располагалась, по всей видимости, в средней части второго уровня, встроена (дымоход) в несущую внутреннюю стену 2. Сам очаг был расположен ближе к входу в пом. 4, а волоковое окно дымохода, учитывая розу ветров, должно находиться в юго-западной стене здания. Здесь же, по-видимому, располагалась кухня. Возможно, система обогрева была более сложной и предусматривала устройство лежанки в помещении 4. В этом случае тепло очага использовалось самым эффективным образом, обогревая жилое помещение, в целом.

Пом. 4 было, судя по всему, жилым, особенно в холодное время года. Оконные проемы на этом уровне были, видимо, узкими, вытянутыми в вертикальном направлении. Необходимость предотвратить доступ влаги внутрь сооружения, сбережения тепла и обеспечения неприступности позволяет предположить, что они были немногочисленными и располагались, как и волоковое окно, с юго-восточной стороны.

Высота двухуровневого сооружения составляет примерно шесть метров, тогда как высота сторожевой башни на местности со сложным рельефом, окруженной довольно высокой растительностью, должна быть выше, и могла колебаться, в зависимости от конкретных условий местности, до 10–15 м. Набор необходимой высоты осуществлялся за счет пом. 5, основным назначением которого являлось закрытие и защита лестницы. Технически помещение 5 позволяло создать в башне дополнительный боевой уровень, оборудовав его окнами-бойницами, но в таком варианте башню должно было обслуживать достаточное по численности боевое подразделение. При определенных условиях пом. 5

вообще могло и не быть, и выход на верхнюю сигнально-сторожевую площадку мог осуществляться из пом. 3.

Обилие осадков в регионе и сильная ветровая нагрузка предполагают прочную и совершенную конструкцию покрытия. Обращенное к северо-восточному ветру, боре, пом. 4, скорее всего, имело односкатную кровлю со стропильной системой из дубовой жерди, перевязанной с балками перекрытия в общие фермы. Кровельным настилом, очевидно, был плотно уложенный и хорошо перевязанный камыш.

Сигнально-сторожевое назначение сооружения предполагает наличие площадки (6) для несения дозорной службы и подачи световых сигналов. Выполнявшая основную военно-целевую задачу площадка 6 должна была иметь максимально беспрепятственный доступ из любой функциональной зоны и особенно от входа, поэтому, скорее всего, была устроена над пом. 1. В противном случае лестница как основная коммуникативная связь, приобрела бы неоправданное препятствие в виде разрыва ее пути или пересечения функциональных потоков.

Поскольку конструкции перекрытия выполнялись из дубового наката, при их эксплуатации на открытых участках должны быть приняты дополнительные меры по защите здания от проникновения через перекрытие осадков. Принимая во внимание используемые для возведения объекта материалы и технологии, это вполне могло быть устройство полов из каменных плиток на гидрофобном глиняном растворе. Это обеспечило бы не только решение технических задач, но и улучшение функционально-эксплуатационных свойств сигнально-сторожевой площадки.

Для быстрого удаления дождевых осадков с площадки пол должен был иметь уклон для отвода воды с организованным водостоком, поскольку вода отводимая, с достаточной высоты, могла вызывать разрушение конструкций.

По периметру смотровой площадки были возведены борта высотой примерно 1,2–1,5 м, необходимые как укрытие от сильных ветров и вражеских стрел. При условии возведения бортов из сырцового кирпича верхний торец борта также требовал дополнительных мероприятий для защиты кладочного материала. Как и в устройстве пола площадки, торец мог закрываться настилом из каменной плашки на гидрофобном растворе с уклоном (вероятнее всего наружу) для отвода воды.

Процесс реконструкции облика сигнальносторожевой башни в поселении Дубки проводился по аналогичной методике, описанной авторами выше. Стоит отметить, что эта аналитика во многом сформировалась в процессе построения 3D-модели башни. В ходе реконструкции башни нами было проработано около семи вариантов облика сторожевой башни. Часть гипотез о внешнем облике башни и построении отдельных ее элементов была отвергнута из-за конструктивной несостоятельности, что явно прослеживалось в процессе построения 3D-модели. Собранная аналитическая база, технологии сопромата, данные о прочностных характеристиках материала, из которого построена башня, позволили авторам восстановить наиболее достоверный облик сигнально-сторожевой башни в Дубках, являющийся характерным для подобных построек сигнальносторожевых башен этого региона.

Созданный итоговый вариант виртуальной реконструкции Раевского городища и поселения Дубки был сохранен программой Unity³D в web-формат на базе html-страницы. Благодаря данной технологии есть возможность демонстрировать созданную виртуальную реконструкцию в режиме онлайн прямо на сайте и встраивать на страницу необходимые модули анализа источниковой информации.

Для работы с документацией предусмотрен отдельный модуль на базе сервиса Issuu и программы FlippingBook PDF Publisher¹⁵. Модуль работы с чертежами, планами, фотографиями функционирует на основе технологий компании Prezi. С помощью встроенного инструментария пользователь может перейти от просмотра трехмерной модели к чертежу раскопа или фотографии, поставить их рядом и сопоставить одно с другим. Наиболее важным

инструментом системы является модуль работы с фотограмметрической моделью на базе технологий Adobe Acrobat X Pro. Речь о возможностях анализа модели фотограмметрии в программе Adobe Acrobat X Pro и Adobe Reader шла выше, поэтому мы не будем повторяться.

В стандартный перечень модулей информационной системы вошли такие составные части, как виртуальные панорамы и интерактивные флеш-модели. О них речь шла выше.

В ходе построения 3D-html-страницы к окну виртуальной ре-конструкции была подключена источниковая база. С помощью отдельного идентификационного номера в навигационном окне на плане территории обозначаются объекты реконструкции; подобный идентификационный номер с полным названием объекта указан нами слева от 3D-окна, с перечнем доступных источников по объекту (история, описательные источники, чертежи, планы и т.д.). Граница между окнами изменчивая, благодаря чему пользователь может открыть интересующее его окно и работать с определенным видом документации.

Созданные виртуальные реконструкции в рамках проекта по реконструкции полуострова Абрау планируется разместить на сайте ABRAU ANTIQUA в сети Интернет, сделав их доступными для всего научного сообщества и широкого круга людей, интересующихся древней историей.

ПРИМЕЧАНИЯ

- Khufu Reborn. 3D Experience [Electronic resource]. URL: http://www.3ds.com/company/passion-for-innovation/the-projects/khufu-reborn/3d-experience (дата обращения: 10.02.2011).
- ² Persepolis a virtual reconstruction. [Electronic resource]. URL: http://www.persepolis3d.com/frameset. html (дата обращения: 20.02.2012).
- ³ Rome Reborn. A digital model of ancient Rome. Gallery [Электронный ресурс]. URL: http://www.romereborn.virginia.edu/gallery-current.php (дата обращения: 11.03.2012).
- ⁴ Troy [Электронный ресурс]. URL: http://www.cerhas.uc.edu/troy/troy_i.html (дата обращения: 20.02.2012).
- Petra. The Great temple excavation. Technology and the Excavations of the Temple [Electronic resource]. URL: http://brown.edu/Departments/Joukowsky Institute/Petra/excavations/technology.html (дата обращения: 20.02.2012); 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. Rhode Island, 2001 [Electronic resource]. URL: http://vis.cs.brown.edu/docs/pdf/Vote-2001-NMA.pdf (дата обращения: 11.11.2011).
- ⁶ The Jerusalem Archaeological Park. [Электронный ресурс]. URL: http://www.archpark.org.il/virtual1. shtml (дата обращения: 11.11.2011).
- ⁷ Byzantium 1200 [Electronic resource]. URL: http://www.byzantium1200.com (дата обращения: 11.11.2011).
- ⁸ Под понятием «интерактивные онлайн-реконструкции» авторы подразумевают разработки, дающие возможность пользователю реконструкции «прогуляться» по объекту, взаимодействовать с виртуальной средой и источниковой базой виртуальной реконструкции в Интернете. В понятие «интерактивные реконструкции» авторы не включают виртуальные реконструкции, представлен-

- ные авторами посредством видео или статичных картинок. Подобные виртуальные реконструкции на примере археологических объектов датируются 1999 г.
- ⁹ Виноградов Ю. А., Логдачева Е. В., Швембергер С. В. Стасовский склеп в Керчи (древний Пантикапей). Опыт компьютерной 3D-реконструкции // Науки о культуре в перспективе «digital humanities»: Материалы международной конференции 3–5 октября 2013 г., Санкт-Петербург / под ред. Л. В. Никифоровой, Н. В. Никифоровой. СПб., 2013. С. 429–437.
- Жеребятьев Д.И. Применение технологий интерактивного трехмерного моделирования для восстановления утраченных памятников истории и архитектуры (на примере Тамбовской крепости) // Круг идей. Междисциплинарные подходы в исторической информатике: труды X конференции Ассоциации «История и компьютер» / под ред. Л.И. Бородкина, И. М. Гарсковой. М., 2008. С. 321–342; [Электронный ресурс]. URL: http://www.aik-sng.ru/text/krug/8/321–342.pdf (дата обращения: 10.02.2011).
- ¹¹ Смирнов А. С., Трифоненко А. В. АРХЕО: Программа для создания графических информационных схем в среде системы AUTOCAD // Круг идей: традиции и тенденции исторической информатики. М., 1997. С. 119–136 [Электронный ресурс]. URL: http://aik-sng.ru/text/krug/4/9.shtml (дата обращения: 10.02.2011).
- ¹² Под понятием 4D авторы подразумевают представления объекта реконструкции в его эволюции, где в качестве одного из компонентов измерения служит время. Авторы предполагают построение в рамках проекта нескольких срезов виртуальной реконструкции.
- ¹³ Масленников А. А. Эллинская хора на краю Ойкумены. Сельская территория европейского Боспора в античную эпоху. М., 1998. С. 103–112.
- ¹⁴ Технические параметры ноутбука ACER Aspire 5742: процессор i3, O3У 4Gb, видеокарта GeForce GT 540M.
- ¹⁵ FlippingBook PDF Publisher [Electronic resource]. URL: http://page-flip.com/products/publisher/ (дата обращения: 10.02.2011).



Рис. 1. Основные объекты исследования в окрестностях ст. Раевская

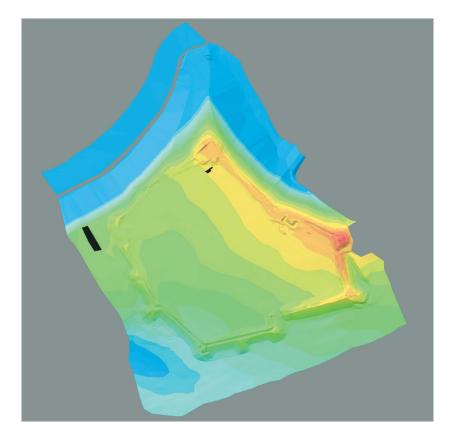


Рис. 2. 3D-модель современного ландшафта Раевского городища (выполнена М. О. Жуковским)



Рис. З. Пример башни Раевского городища, созданной с помощью технологии фотограмметрии. Вид сверху в программе Adobe Reader

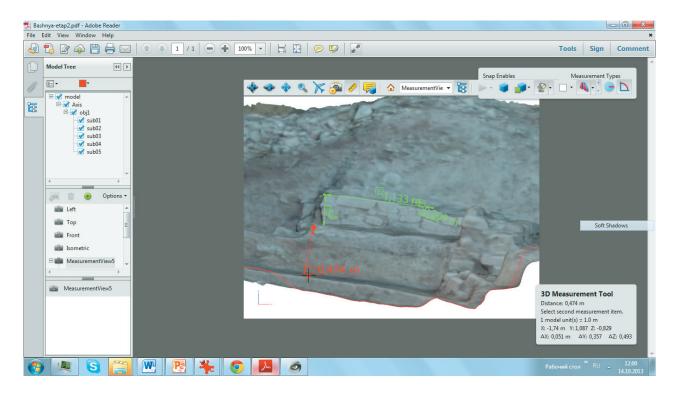


Рис. 4. Пример разреза башни Раевского городища с замером отдельных элементов в программе Adobe Reader. Разрез выполнен с помощью инструментов Adobe Reader

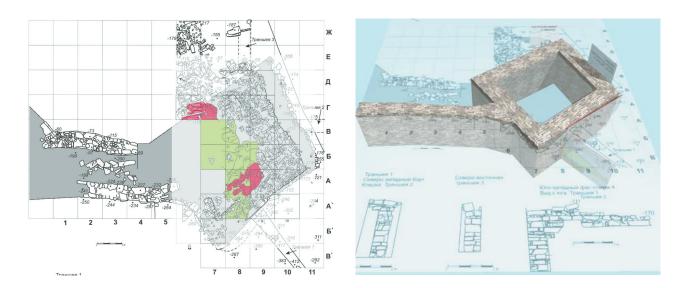


Рис. 5. Слева. Результат наложения метровок на план раскопа в программе Adobe Pho-toshop CS3. Темным цветом выделен фрагмент разницы между двумя планами раскопа. Справа. Результат созданного фундамента на базе чертежей раскопа и фотограмметрии





Рис. 6. Слева. Фрагмент съемки растительного покрова со стремянки. Квадратом помечена часть кадра, которая войдет в текстуру почвы библиотеки Unity3D. Справа. Пример съемки растений. Квадратом помечена часть кадра, вошедшая в текстуру





Рис. 7. Слева. Пример виртуальной панорамы, открытой в программе QuickTime. Справа. Пример интерактивной флеш-модели артефакта



Рис. 8. Фундамент сигнально-сторожевой башни в Дубках



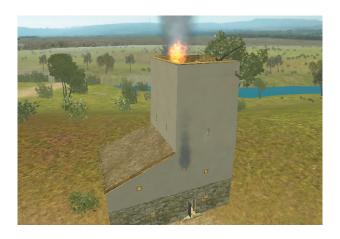


Рис. 9. Слева. Реконструкция сигнально-сторожевой башни поселения Дубки. Справа. Реконструкция сигнально-сторожевой башни в Unity3D: 1 — вход-распределитель; 2 — хранилище; 3, 5, 6 — военная зона; 4 — жилая зона





Рис. 10. Слева. Площадка башни Дубки. Справа. Подъем на башню (пом. 5)



Рис. 11. Иллюстрация информационной системы научной верификации виртуальной реконструкции на примере сигнально-сторожевой башни в поселении Дубки