

УДК 902.26, 528.2/5

Н. И. Винокуров, А. П. Пигин, А. Ю. Будю

К тридцатилетию Артезианской археологической экспедиции. Опыт организации топографо-геодезических работ на памятнике Артезиан

В статье представлено становление технологий пространственной фиксации элементов археологического памятника Артезиан от ранних простейших, с произвольной привязкой и ориентированием по компасу, до современных, с жесткой организацией координатной среды. Описан опыт применения современных технологий — электронных тахеометров, спутниковых приемников и данных дистанционного зондирования, формирование компьютерной пространственно-информационной модели памятника.

Ключевые слова: Артезиан, городище, некрополь, топографический план, системы координат, трансформирование раstra, цифровая модель местности, ГНСС-технологии

Тридцать лет тому в 1987 г. на базе одноименного молодежного археологического отряда Восточно-крымской археологической экспедиции Института археологии СССР Крымским филиалом Института археологии и Центром творчества детей и молодежи им. А. Косарева и лицеем № 1502 при МЭИ (г. Москва) была образована Артезианская археологическая экспедиция (ААЭ) [2].

На протяжении многих лет Артезианская экспедиция исследует в Крымском Приазовье урочище Артезиан, известное уникальными археологическими памятниками — жемчужинами прибрежной зоны Крымского Приазовья [4, 5]. В цен-

тре этих исследований — городище и некрополь Артезиан (Рис. 1).

Одним из ключевых элементов многолетних исследований археологического памятника является качественная локализация исследуемых элементов памятника, основой которой являются топографо-геодезические методы и технологии.

Для крупных археологических памятников, исследуемых в течение нескольких десятков лет поколениями археологов, учитывая становление опыта археологической школы исследователей, развитие методов и технологий пространственной локализации объектов и их элементов, корректировки

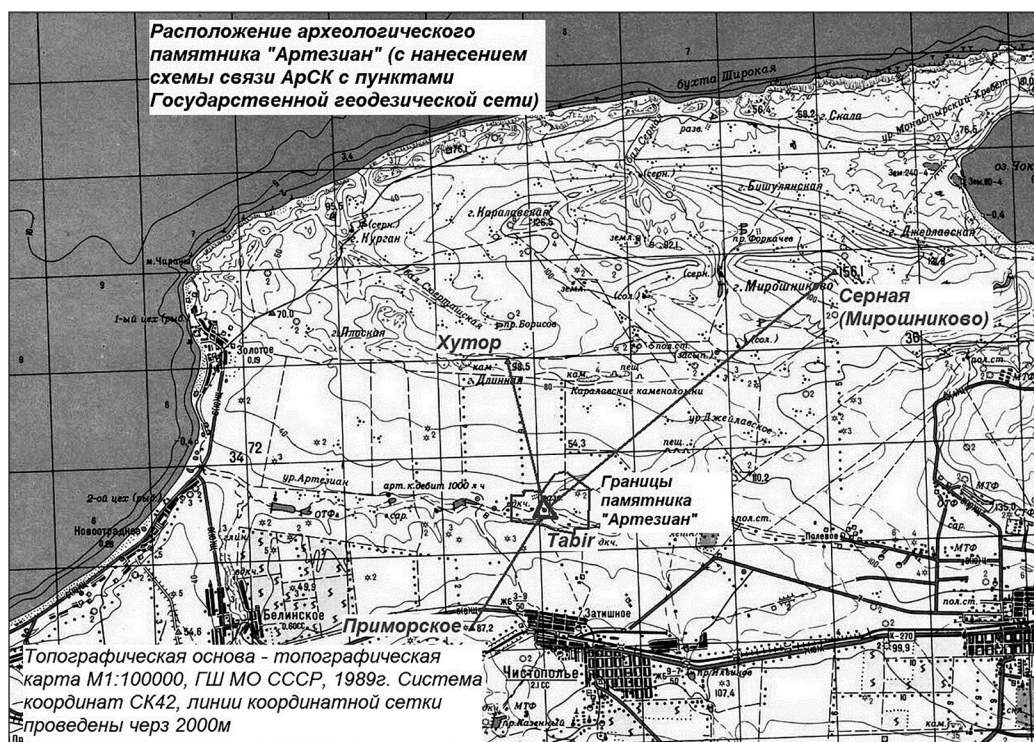


Рис. 1. Схема расположения археологического памятника Артезиан

требований нормативных документов, в общем случае является необходимым решением следующих задач [8, с. 126]:

1. Объединение и сохранение в едином координатном пространстве материалов исследований (планов) разных лет;

2. Точная пространственная локализация элементов исследований — раскопов, строительных остатков, артефактов;

3. Создание топографических материалов, обеспечивающих анализ, планирование и проведение дальнейших перспективных исследований территории памятника и ближайших окрестностей, включающее:

а. актуализацию и расширение топографической подосновы;

б. включение в работы современных материалов дистанционного зондирования;

с. развитие плано-высотной опорной сети.

4. Создание топографических материалов в виде цифровых моделей, являющихся основой пространственной компьютерной реконструкции памятника;

5. Создание материалов, обеспечивающих постановку на учет ОКН, установление статуса землепользования;

6. Подготовка топографической основы для разработки концепции и проектирования музеефикации памятников.

Все материалы создаются в единой пространственно-информационной модели памятника, в однозначно определенной, связанной с государственной системой координат (СК) координатной среде. В принятой терминологии геоинформатики — цифровой модели местности (ЦММ).

Представляет интерес опыт поэтапного подхода к решению перечисленных задач, становления и организации в ААЭ технологий пространственной фиксации элементов памятника. Методы и технологии развивались от ранних простейших, с произвольной привязкой и ориентированием по компасу, до современных, с жесткой организацией координатной среды и применением современных технологий — электронных тахеометров, спутниковых приемников и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), формированием компьютерной пространственно-информационной модели памятника.

Первый этап, 1988-2001

Археологические исследования памятника ААЭ последнего десятилетия XX века начались на северо-западном участке раскопа 1, затем южном участке раскопа 2 (рис. 2).

В условной системе координат и высот в начале работ была выполнена мензульная съемка небольшого участка, включающая глинище, зольники 1–4, вскрытый северо-западный участок будущего раскопа 1 и предполагаемую территорию городища. Масштаб съемки — 1:1000, исполнитель работ — А. В. Токарев (Москва). Результаты были представлены на бумажной основе.

Ориентирование сетки квадратов для разбивки раскопов в начале работ (1988 г.) производилось по компасу, без учета поправок (отображаемых на секретных в те годы картографических материалах) за магнитное склонение и сближение меридианов. Применение бытового компаса, годовые и локальные (магнитная аномалия) изменения склонения привели к тому, что ежегодно, от сезона к сезону приходилось корректировать разбивку сетки квадратов, из-за чего снижалась точность локализации элементов раскопов, накапливались нестыковки планов строительных остатков (СО).

Второй этап, 2001-2006

Расширение площади исследований к концу 90-х годов (начало работ на некрополе, расширение площади раскопа 2, раскоп цитадели) потребовало коренного изменения топографо-геодезического обеспечения работ.

В 2001–2002 году на памятнике проведен комплекс таких работ, включающий создание планово-высотной опорной сети и топографическую съемку памятника.

Была проведена новая ориентировка сетки квадратов. Была выбрана и закреплена точка начала системы координат (СК), затем геодезистом В. В. Семеновым окончательно откорректирована ориентировка СК. Ориентирование и дальнейшее развитие сети пунктов, закрепляющих сетку квадратов, было

произведено по Полярной, предположительно без учета часового угла Полярной и звездного времени наблюдений. Погрешность истинного азимута ориентирования сети составила 18.5' по результатам анализа 2016 г.

Так родилась используемая археологами система координат, которую позднее мы назвали Артезианская система координат — АрСК. Эта система координат, как и система высот — условная. Физически АрСК была закреплена группой из пяти расположенных в северо-западной части городища базовых пунктов, кустом по углам квадрата 20x20 м и в центре квадрата. Начало системы координат АрСК — реперный пункт 1 с координатами в АрСК 0,0. Все опорные пункты базовой группы представляют собой металлические круглые в сечении трубы, забетонированные на глубину до 1,50 м, ниже уровня почвенного слоя. Они ежегодно после работы заваливаются бутовыми камнями в виде туров, чтобы исключить возможность их повреждения мародёрами. Как впоследствии оказалось, туры хорошо просматриваются на спутниковых снимках, что в дальнейшем позволило легко калибровать, привязывать и использовать такие снимки.

От базовой группы пунктов в 2002 г. была развита планово-высотная сеть реперов — пунктов опорной сети (Рис. 2). Опорные пункты сети фиксировались двумя створами, перпендикулярными друг другу, ориентированными по осям запад-восток и север-юг. Долговременные скрытые репера устанавливались по створам через каждые 100 метров. Каждый репер дублировался вынесенными по сторонам на 20 метров бетонированными контрольными пунктами.

Развитие опорной сети производилось от пунктов базовой группы с короткими расстояниями между пунктами, то есть с базиса 20 м. Последующее распространение на 420 м к востоку (некрополь) и 180 м к югу (городище), привело к неизбежным погрешностям в установке реперов силами археологов ААЭ. Как показали последние работы,

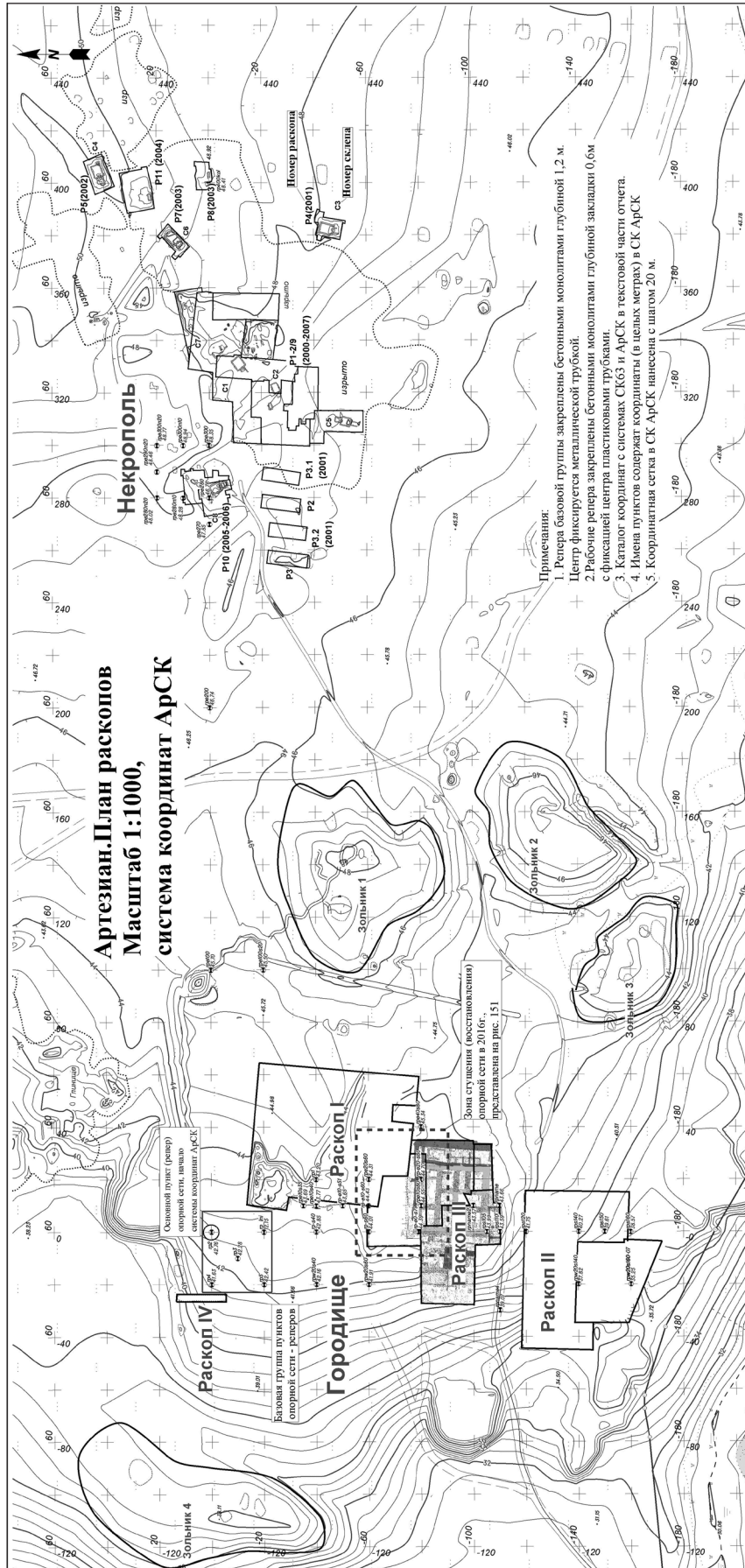


Рис. 2. Общий план раскопов и пунктов опорной сети на памятнике Артезиан

угловое несоответствие прямоугольности достигает 45", имели место погрешности в расстояниях.

Рабочие репера закреплены бетонными монолитами глубиной до 0,7 м с фиксацией центра пластиковыми (для защиты от поисковиков) трубами. Все репера несли высотную отметку в условной системе высот. За 0 высотной системы была принята основная скважина недействующей водозаборной системы, расположенная к югу от городища.

В центральной части памятника (городище и некрополь) в условной системе координат (АрСК) силами Крымского филиала института археологии НАН Украины (геодезист В. В. Семенов) выполнена тахеометрическая съемка в масштабе 1:1000. Высота сечения рельефа — 1 м, система высот — условная. На центральном участке в этой работе в план включен небольшой фрагмент более старой (1988 г.) мензульной съемки. Плотность пикетов в принципе соответствует требованиям М 1:1000, на участке мензульной съемки пикеты показаны частично, их отметки округлены до дециметров. Результаты съемки представлены в бумажном виде. Оцифровка (векторизация) съемки не производилась, отсканированный топографический план вплоть до 2016 года использовался только в растровом виде.

Третий этап, 2006–2016

Накопившийся большой объем пространственной информации, требующий упорядочения и уточнения, расширение работ на некрополе привели к необходимости организации следующего, качественно нового, этапа в организации топографо-геодезического сопровождения исследований. Дополнительным толчком к этому этапу послужило развитие современных технологий геодезических работ, представившие новые возможности локализации пространственной информации. В 2006–2008 гг. силами волонтеров компании Навгеоком (Москва) и КМС (Киев) выполнен комплекс работ, в ко-

торый входило решение трех основных задач [3, с. 47].

А) Привязка. Результативная интерпретация археологических данных отдельного памятника невозможна без анализа ландшафтно-исторической среды территории, что в свою очередь требует перехода представления пространственных данных памятника не в условной, а общей (государственной, местной) системе координат и высот. Такое представление позволяет ввести в пространственно-исторический анализ весь корпус доступных картографических, спутниковых, аэросъемочных материалов.

Определение координат базовой группы реперов в системе координат 63 года и Балтийской системе высот проведено волонтерами компании Навгеоком (Москва) от пункта «Tabig» (Лагерь) в 2007 году, расположенном непосредственно в лагере ААЭ. В свою очередь пункт «Tabig» определен спутниковыми измерениями в статическом режиме от пунктов триангуляции Дмитрием Мызиным (компания КМС) в 2006 г. (Рис. N1).

Б) Развитие опорной сети. Силами волонтеров компании Навгеоком выполнена привязка ранее созданных в условной системе координат АрСК пунктов опорной сети, развитой силами ААЭ, в СК63, опорная сеть дополнена рабочими пунктами для ведения последующих исследований на территории городища и некрополя.

В) Съемка строительных остатков (СО). В состав выполненных работ вошла масштабная, сплошная съемка строительных остатков памятника. Целью съемки, было установление точного местоположения предметов в месте раскопок относительно друг друга и определение их точных координат. Полевое кодирование не производилось, характеристики точек приведены в их названиях, например — название **stena23–12** включают принадлежность объекту (**stena23**) и порядковый номер точки съемки объекта (**12**).

Эта съемка носила в определенной степени опытный характер. В процессе

работ выявлялись, уточнялись и «притирались» возможности геодезических технологий и нужды и требования археологов. Следует отметить, что геодезистами не достаточно полно в качестве абрисов использовались планы СО, архитектурные планы. Как результат — на отдельных участках (в частности на стыке раскопов 1 и 3) оставались не решенные проблемы некоторых нестыковок архитектурных планов. Тем не менее, общие результаты съемки позволили ААЭ упорядочить значительный массив пространственной информации.

Съемка элементов строительных остатков городища и некрополя выполнялась с использованием двухчастотных ГНСС приемников. Использовалась методика псевдокинематики (на реперах) и непрерывная съемка контуров СО двухчастотными геодезическими спутниковыми приемниками. Результаты представлены в виде наборов точек вида P_n, X, Y, Z .

В последующих работах 2016 г. проанализирована точность спутниковых определений координат и высот точек из работ Навгеокома 2007 и 2008 гг. Средние квадратические погрешности координат однократного определения — $M_x=0.026$ $M_y=0.024$ $M_n=0.018$. Таким образом, точки съемки 2007–2008 вполне приемлемы для создания планов всего требуемого масштабного ряда.

С внедрением электронного тахеометра и постепенным освоением технологии в производство археологических работ в ААЭ существенно повысились возможности качественной локализации в исследованиях. Силами ААЭ в 2014 и 2015 гг. проведена съемка небольших участков (прирезов) раскопа III, в северо-восточной его части и раскопа I в южной части. На северном и восточном участке раскопа III точки съемки достаточно четко «ложатся» на план строительных остатков. То есть в плановом отношении результаты съемки в принципе приемлемы, в высотном отношении качество не всегда отвечает требованиям, за основу принимаются результаты нивелирования.

Работы 2016–2017 г.

К 2016 году в силу большого объема строительных работ на Керченском полуострове, значительного объема уже выполненных и планируемых археологических исследований назрела необходимость проведения масштабных топографо-геодезических работ на памятнике. Остро встала необходимость создавать топографические материалы на всей площади памятника для определения и юридического закрепления границ памятника — объекта культурного наследия, уточнять пространственную фиксацию результатов раскопок. Развились возможности включения в общие материалы исследований современные данные — спутниковые снимки, результаты съемки БПЛА. Такие задачи реализуются на основе создаваемой информационно-пространственной цифровой модели (ИПЦМ) памятника.

В рамках проекта «Экспедиция CREDO» для выполнения топографо-геодезических работ привлечены волонтеры — профессионалы компании Кредо-Диалог (Минск), компании «Эффективные Технологии» (Санкт-Петербург) и студенты геодезических вузов России. Организатором работ волонтеров в рамках проекта «Экспедиция CREDO» выступила компания Кредо-Диалог. Ключевой задачей проекта ЭКСПЕДИЦИЯ CREDO 2016–2017 ставилось создание пространственно-информационной цифровой модели памятника и на ее основе создание комплекта топографо-геодезических документов для юридического оформления объекта культурного наследия, текущего и перспективного проведения археологических исследований и музеефикации памятника

Предварительная подготовка

Все имеющиеся материалы в разнообразных системах координат преобразованы (трансформированы) в единое координатное пространство в СК63 и Балтийскую систему высот (БСВ), включены в набор проектов цифровой модели местности (ЦММ) CREDO. Ме-

тодом наименьших квадратов определены параметры связи в простом преобразовании Хельмерта Артезианской системы координат и высот (АрСК) и СК63 с необходимой отбраковкой.

Составлен каталог координат реперов, заложенных в начале нулевых и определенных в СК63 в процессе работ волонтеров компании «Навгеоком» 2007–2008 гг. в двух СК. Планы сети реперов городища и некрополя приведены на рис. 2. Каталог реперов этой работы приведен в отчете ААЭ за 2016 год.

В работу включены спутниковые снимки картографических сервисов GOOGLE и YANDEX. Спутниковые снимки высокого разрешения выбраны из ГИС SAS-планета [1] и трансформированы в рабочую систему (СК63). Основные проблемы использования спутниковых снимков — неточности привязки снимков в геосервисах, недостаточная ортокоррекция снимков, плавающий DATUM для СК42(63) [6]. Трансформирование и привязка сдвигом, разворотом и масштабированием (после пересчета меток из WGS84 в СК63) произведены с максимально возможной точностью, в том числе благодаря тому, что репера (в первую очередь базовой опорной группы), точнее туры из камней на реперах, фиксируются на спутниковых снимках.

Эти снимки (весна и поздняя осень) позволяют достаточно точно выделять аномалии растительности, рельефа, элементы человеческой деятельности (дороги, следы траншей, окопов, раскопов — черных и белых), и фиксировать контуры, требования к положению которых невысоки.

Кроме этого, для различных целей (уточнения деталей, исторического анализа) использованы приведенные в СК63 дополнительные картографические материалы — аэрофотосъемка 1974 г., топографические карты М 1:25000 Генштаба РККА 1933 г., топографические карты ГУГиК СССР 1970-х гг.

Съемка

Топографическая съемка на участке городища и зольников выполнена по

требованиям М 1:500 [7] и с высотой сечения рельефа 0,25 м, на остальных участках с высотой сечения рельефа 0,5 м. При съемке применялись спутниковые (Real Time Kinematic — RTK) и наземные технологии. Для спутниковых технологий использовано качественное и простое в обращении оборудование российского производства [9]. Кроме спутниковых технологий в работе использована наземная тахеометрическая съемка с электронным тахеометром Topcon GTS 105.

Работы выполнялись тремя бригадами волонтеров под руководством специалистов и преподавателей. Для реализации целей учебной практики бригады менялись, осваивая разные методы работы.

Для уточнения и приведения в единую СК планов СО проведен дополнительный набор пикетов в раскопах I, II, III и IV с тщательным выбором места постановки вехи. Последующей трансформацией планы строительных остатков приведены в общее координатное пространство модели. План раскопа I, большая часть строительных остатков которого скрыта, создан путем сбора в ТРАНСФОРМЕ из нескольких фрагментов, привязанных отдельно. Их положение уточнялось как по закоординированным точкам, так и путем взаимного согласования элементов фрагментов планов.

Обработка данных

Для обработки собранных методами ГНСС данных, объединения их в единый цифровой массив и создания пространственно-информационной цифровой модели памятника использовано программное обеспечение CREDO [10]. Формирование цифровой модели местности произведено на основе результатов наземных и спутниковых измерений, растровых файлов археологических планов строительных остатков, спутниковых снимков высокого разрешения, аэрофотоснимков и снимков квадрокоптера, данных старых карт более мелкого масштаба.

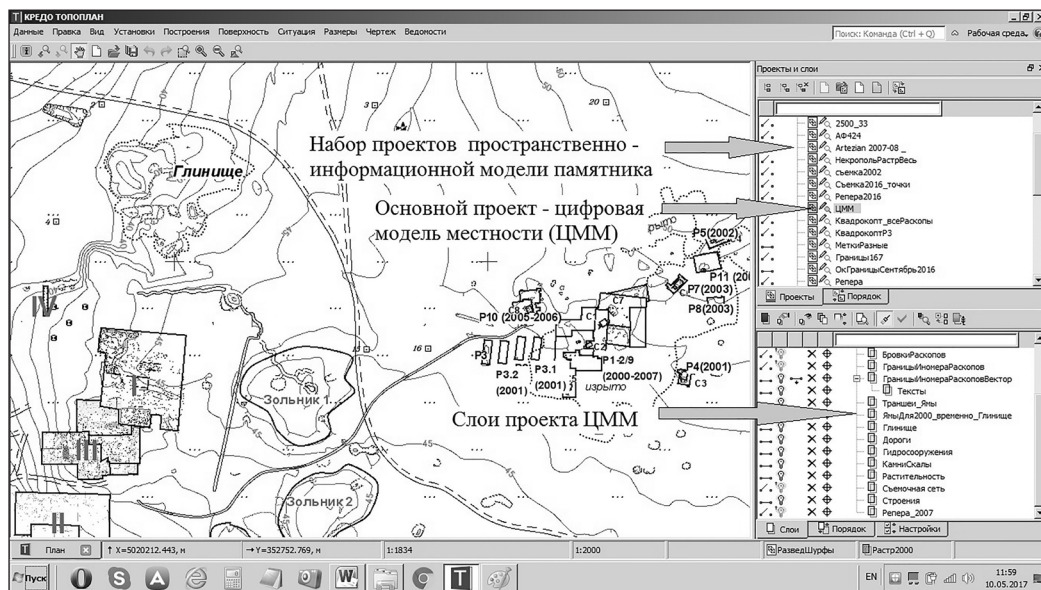


Рис. 3. Структура проектов и слоев пространственно-информационной компьютерной модели памятника

Результирующие материалы

Основным результатом работ 2016–2017 гг. является информационно-пространственная цифровая модель (ИПЦМ) памятника, включающая собственно ЦММ в форматах CREDO (Рис. 3), планы строительных остатков, (раскопов), спутниковые снимки, данные БПЛА, сведения об опорной сети, границы ОКН, растры топографических карт мелких масштабов, сведения об археологических объектах прилегающих территорий, другие дополнительные данные.

На основе ИПЦМ созданы различные чертежи в М 1:100, 1:500, 1:2000, 1:5000 для решения задач исследований, планирования работ, решения юридических аспектов ОКН. Материалы созданы с конкретным для определенных задач содержанием, нужной для них высотой сечения рельефа, в СК АрСК, СК63.

Таким образом, полученные материалы позволяют успешно решать задачи, описанные в начале статьи.

Значение проведенной работы сейчас резко возросло, так как интенсивно ведутся археологические исследования

в связи с проводимыми грандиозными строительными работами Керченского транспортного перехода, реконструкцией транспортных автомобильных и железнодорожных магистралей в Восточном Крыму, причем ожидается еще больший объем этих исследований.

Важным является и то, что ЦММ памятника, его топографический анализ служат вкладом в воссоздание общей картины развития локальных природно-географических зон Артезианского (Салынского) урочища и примыкающих к нему территорий Крымского Приазовья, будут способствовать реконструкции антропогенного воздействия на окружающий природный ландшафт на протяжении всего четвертичного периода, включая последние столетия и даже десятилетия.

Кроме того, на наш взгляд, актуальной задачей, которая пока решается отрывочно на отдельных памятниках Восточного Крыма, является создание единой археологической геоинформационной системы (ГИС) Европейского Боспора. Проведенная работа — только одна из составных частей такой ГИС.

-
1. SASGIS. Веб картография и навигация / [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://sasgis.ru/sasplaneta/>
 2. ААЭ. Артезианская Археологическая Экспедиция / [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://artezian.info/info/>
 3. Винокуров Н. И., Мызин Д. А., Пархалин И. Н. Опыт использования профессиональной GPS-аппаратуры для дистанционного исследования антропогенных структур в Крымском Приазовье // Геопрофи. № 3. 2009. С. 47–51. — 72 с.
 4. Винокуров Н. И. Археологические памятники в Крымском Приазовье (по материалам ААЭ 1988–2011). 2012. Издательство: Lap Lambert academic publishing, Германия. 632 с.
 5. Винокуров Н. И. Археологические памятники урочища Артезиан в Крымском Приазовье. — М., 1998. 241 с.
 6. ГОСТ 32453-2013 Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. М. Стандартинформ, 2014.
 7. ИНСТРУКЦИЯ по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 (ГКИНП-02-033-82). Москва: Недра, 1982 г.
 8. Пигин А. П., Бейлин Д. В., Рак И. Е. Топографические работы на объектах археологических исследований (на примере работ сезона 2013 г. на территории крепости Илурат) // Таврические студии, №6(2014), Симферополь, 2014.
 9. Погодин А. Артезианская археологическая экспедиция 2016 /А. Погодин [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://geodesist.ru/threads/artezianskaja-arheologicheskaja-ehkspedicija-2016.58315/>
 10. Программный комплекс CREDO. Обработка материалов инженерно-геодезических изысканий [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://credo-dialogue.ru/tehnologii/geodeziya.html>

The article presents the development of element spacial registration of Artesian archeological site — from earlier simple technology with arbitrary georeference and orientation by the aid of a compass to modern one with strict organization of coordinate environment. It also describes experience of applying modern technologies — total stations, satellite receivers and remote sensing data as well as creation of digital 3D information site model.

Keywords: *Artesian, site of ancient settlement, necropolis, topographic plan, coordinate systems, bitmap transformation, digital terrain model*