О СОЗДАНИИ ЕДИНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ЛАНДШАФТА АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «ГНЁЗДОВО»

В.В. Новиков (Историко-археологический центр «Гардарика»)

В 2010 г. окончил исторический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «историк, археолог». В настоящее время — председатель правления АНО «Историко-археологический центр «Гардарика». Кандидат исторических наук.

П.А. Плетняков (ГК «Геоскан», Санкт-Петербург)

В 2010 г. окончил географический факультет Ставропольского государственного университета (в настоящее время — Северо-Кавказский федеральный университет) по специальности «геоинформатик». После окончания университета работал в компании ЗАО «НЕОЛАНТ Сервис». С 2016 г. работает в группе компаний «Геоскан», в настоящее время — руководитель проекта.

Археологический комплекс «Гнёздово» — это уникальный историко-ландшафтный памятник, расположенный в 13 км от Смоленска [1]. Он занимает территорию, площадью около 200 га, протяженностью 5 км по обоим берегам Днепра, и включает Центральное селище и городище, Ольшанское селище и городище, а также самый крупный курганный могильник эпохи викингов в Европе (рис. 1). Постановлением Совета Министров РСФСР от 30 августа 1960 г. № 1327 и Решением Исполнительного комитета Смоленского областного совета депутатов трудящихся от 25 марта 1961 г. № 233 комплекс был принят на государственную охрану как памятник археологии государственного (федерального) значения.

Как отмечается в [2], Гнёздово в X веке, в период своего расцвета, был одним из важнейших пунктов на «пути из варяг в греки...», своеобразным стержнем формирующегося Древнерусского государства, связавшем Север и Юг Европы. В трактате «Об управлении империей» византийского императора Константина Багрянородного Гнёздово упоминается под именем «крепость Милиниска» — по-видимому, оно и было ранним Смоленском, о котором говорится в «Повести временных лет», при описании событий, происходивших в 862 г.

Жизнь поселения Гнёздово прекратилась в XI веке, и активная деятельность человека на его территории почти не велась. Благодаря этому сохранился раннесредневековый ландшафт, не уничтоженный современной городской инфраструктурой.

К началу XX века в Гнёздово насчитывалось 8 курганных групп, а общее число курганов составляло около 4500. Именно здесь в Древней Руси было место концентрации «больших курганов» — погребений первых русских князей. Особенно крупной была когда-то Центральная курганная группа. В настоящее время сохранилось лишь около 1500 курганов — остальные уничтожены в результате хозяйственной и строительной деятельности местных жителей [2].

Детальное изучение Гнёздовского археологического комплекса началось в связи с сооружением Орлово-Витебской железной дороги, которая разрезала территорию комплекса в центральной части пополам. Непоправимый урон нанесли также карьеры, образовавшиеся на территории комплексу при строительстве коттеджных поселков рядом с его границей.

В условиях постоянного уничтожения исторического ландшафта и курганных насыпей особенно важен планомерный мониторинг еще не утраченных участков при помощи современных методов крупномасштабной топографической съемки. Первые работы в этом направлении начались в 2010 г., когда при помощи электронного тахеометра Trimble M3 была выполнена тахеометрическая съемка курганных насыпей вокруг «большого кургана» в Центральной курганной группе. В дальнейшем для

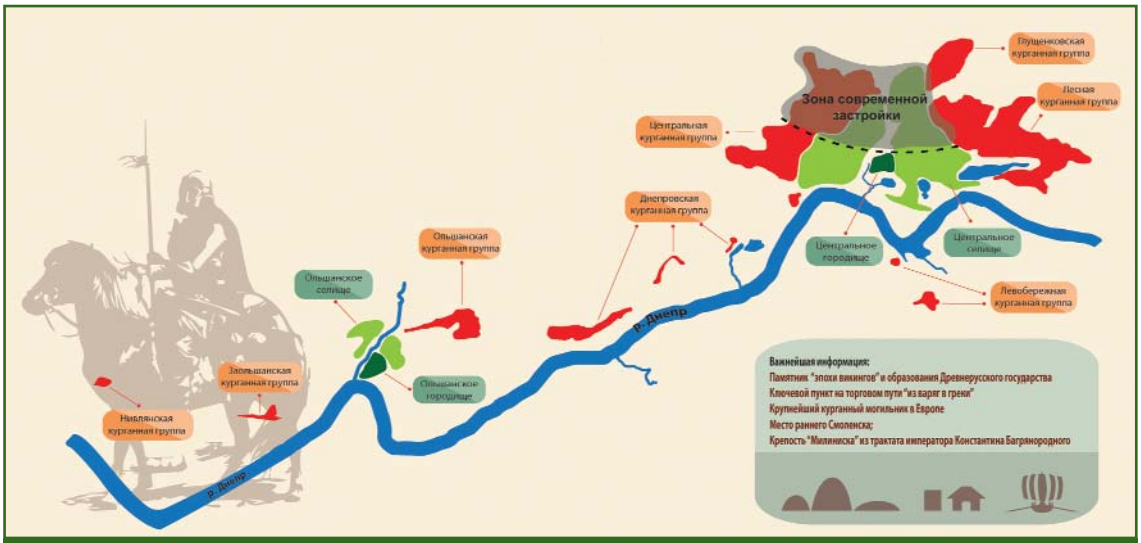

Рис. 1
Схема территории Гнёздовского археологического комплекса [1]

съемки стал использоваться также квадрокоптер DJI, позволивший выполнить аэрофотосъемку, по результату которой фотограмметрическим методом были получены трехмерные модели. Эти работы проводились в свободное время от основных археологических исследований и поэтому носили локальный характер.

Как показывает опыт, съемка исторического ландшафта при помощи тахеометра и квадрокоптера наиболее эффективна при совместном использовании обоих методов. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Тахеометрический метод позволяет выполнить съемку территории, покрытой лесом или высокой травяной растительностью с высокой точностью определения координат, но при этом требует значительных временных затрат на полевые и камеральные работы. Чтобы получить высокоточную модель поверхности ландшафта необходимо обеспечить высокую плотность снимаемых точек. Например, для построения такой модели участка площадью 0,7 га, на котором расположены большой курган высотой до 5 м и диаметром около 30 м, четверть большого кургана длиной 36 м с небольшим рвом глубиной до 3 м, а также 7 курганов разной высоты от 1 до 2 м и диаметром от 8,5 до 13 м, было измерено 5063 точки. При средней производительности съемки 800 точек в день на эту работу потребовалось около 6 рабочих дней. Предельная погрешность измерения координат съемочных точек тахеометрическим методом составила в плане и по высоте 2–5 см.

Альтернативой тахеометрическому методу является аэрофотосъемка с помощью квадрокоптера с последующей фотограмметрической обработкой полученных материалов. Аэрофотосъемка бытовой цифровой фотокамерой, установленной на квадрокоптере DJI, несколько уступает тахеометрической съемке в точности получаемых данных, но выгодно отличается от нее площадью охвата снимаемой территории. Этот метод позволил всего за один день получить данные для построения трехмерной модели ландшафта участка, площадью 2,9 га. В средней полосе европейской части России съемку местности с квадрокоптера предпочтительнее проводить ранней весной или поздней осенью, поскольку в это время года ошибки определения высоты на участках с высокой травянистой и древесно-кустарниковой растительностью минимальны. Предельная погрешность определения координат съемочных точек этим методом составила в плане и по высоте 10–20 см [3].

Несмотря на достаточную для археологических исследований точность и высокую эффективность описанных технологий, задача оперативного мониторинга и создания крупномасштабного топографического плана для всей территории Гнёздовского археологического комплекса не могла быть выполнена ни одной из них, даже при условии непрерывной работы в течение нескольких месяцев. Требовалось такое решение, которое одновременно обеспечило бы производительность аэрофотосъемки, значительно большую по сравнению с квадрокоптером, и точность, сопоставимую с традиционной тахеометрической съемкой. Дополнительным условием являлась возможность объединения новых материалов аэрофотосъемки с уже имеющимися данными в единой системе координат и в формате программного обеспечения (ПО), используе-

мого при археологических исследованиях.

По результатам сравнительного анализа оптимальным для выполнения поставленной задачи была признана технология, разработанная ГК «Геоскан» и позволяющая за один вылет выполнить аэросъемку территории, площадью до 800 га [4]. Данная технология включает:

— систему Геоскан 101 — беспилотный летательный аппарат (БПЛА) самолетного типа с аэрофотосъемочной и навигационной аппаратурой и специализированным ПО (рис. 2);

— фотограмметрическое программное обеспечение Agisoft Photoscan Professional для создания ортофотопланов и трехмерных цифровых моделей местности (ЦММ);

— геоинформационную систему (ГИС) «Спутник», позволяющую визуализировать ЦММ и ортофотопланы, а также использовать их для измерения и анализа различных параметров местности.

Топографическая съемка исторического ландшафта всей территории археологического комплекса «Гнёздово» с помощью данной технологии была впервые проведена в 2016 г. Проект был осуществлен усилиями Историко-археологического центра «Гардарика» и ГК «Геоскан» при поддержке Историко-археологического и природного музея-заповедника «Гнёздово» [1, 5].

Система Геоскан 101 имеет высокую степень автоматизации управления полетом и аэросъемкой, обеспечиваемую полетным заданием, загружаемым в бортовой компьютер БПЛА. Перед аэросъемкой территории Гнёздовского археологического комплекса с помощью ПО наземной станции управления готовилось полетное задание: определялись площадь и границы участка, оптимальная высота полета, пространственное разрешение съемки и др.

Рис. 2
Система Геоскан 101

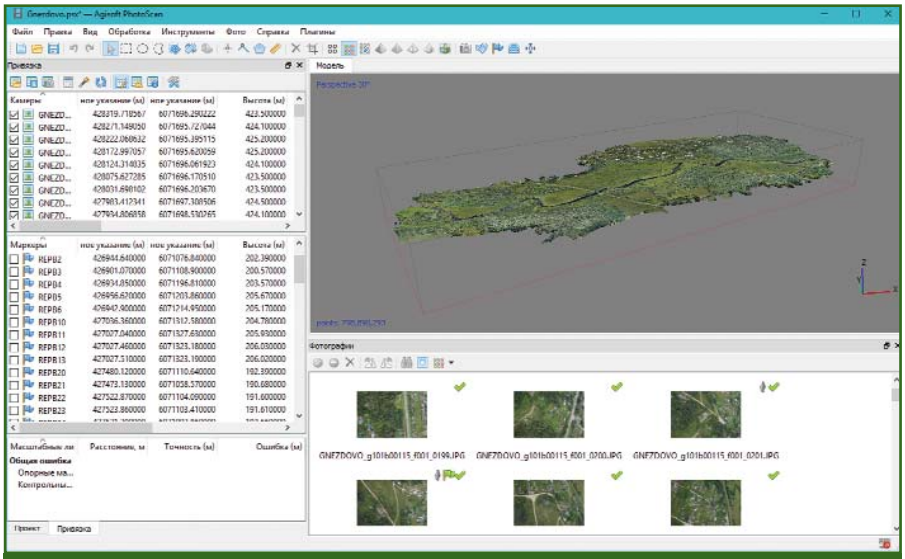

Рис. 3
Интерфейс ПО Agisoft Photoscan Professional

Для контроля точности создания ортофотоплана на территории комплекса были выбраны наземные опорные точки, пространственные координаты которых определили спутниковым приемником геодезического класса. Этот приемник ГНСС также использовался в качестве базовой станции во время аэрофотосъемки для получения корректирующей информации при уточнении координат центров фотографирования (КЦФ) аэроснимков, определяемых бортовым навигационным приемником ГНСС БПЛА.

Аэросъемка всей территории Гнёздовского археологического комплекса заняла около 6 часов. За это время было выполнено 5 вылетов и получено 6700 снимков цифровой камерой с разрешением 24 Мпикселей, обработка которых в последующем проводилась в ПО Agisoft Photoscan Professional (рис. 3).

Процесс обработки аэроснимков в Agisoft Photoscan ав-

томатизирован и требует минимального участия пользователя. На начальном этапе были загружены изображения каждого снимка и уточненных координат центров фотографирования. Далее осуществлялся поиск характерных точек и совмещение перекрывающихся изображений с учетом КЦФ, после чего строилось плотное облако точек. В результате обработки в ПО Agisoft Photoscan был получен ортофотоплан на территорию, площадью 1200 га с пространственным разрешением на местности 4 см на пиксель, ЦММ и текстурированная трехмерная модель высокой детализации (рис. 4). В качестве экспортных форматов были выбраны GeoTIFF для ЦММ и ортофотоплана, а также OBJ для текстурированных трехмерных моделей. По результатам оценки погрешность пространственных координат ортофотоплана и ЦММ составила в плане и по высоте 10 см.

Результаты обработки материалов аэросъемки были экспортированы в ГИС «Спутник». Их сравнение с набором космических снимков высокого разрешения, полученных в 2001–2013 гг., позволило наглядно оценить динамику застройки и разрушений на территории комплекса. Благодаря тому, что проект выполнялся в единой системе координат, результаты съемки тахеометром, которая велась последние шесть лет, были увязаны между собой и совмещены с материалами аэрофотосъемки 2016 г. Результатом интеграции всех данных стала единая цифровая трехмерная модель ландшафта археологического комплекса «Гнёздово», которая доступна для просмотра и изучения на сайте [1] в разделе «О памятнике», в подразделе «География» (рис. 5).

Перспективными направлениями использования трехмерной модели станут исследования изменений в застройке комплекса по результатам локального мониторинга, а также реконструкция исторического ландшафта по состоянию на X век на базе OBJ-моделей.

Рис. 4
Фрагмент текстурированной трехмерной модели

Рис. 5
Фрагмент единой цифровой трехмерной модели ландшафта в ГИС «Спутник» (Центральное селище и городище)

Список литературы

1. Археологический комплекс «Гнёздово». — http://gnezdovo.com.

2. Пушкина Т.А., Мурашева В.В., Ениосова Н.В. Гнёздовский археологический комплекс // Русь в IX–X веках. Археологическая панорама / Ин-т археологии РАН; отв. ред. Н.А. Макаров. — М.; Вологда: Древности Севера. — 2012. — С. 242–273.

3. Новиков В.В., Каинов С.Ю., Галеев Ф.С. Методика 3D-реконструкции ландшафта и визуализации археологических объектов на примере большого кургана из раскопок В.И. Сизова в центральной группе Гнёздовского археологического комплекса // III Международная конференция молодых ученых «Новые материалы и методы археологического исследования». — М., 2015. — С. 187–189.

4. ГК «Геоскан». — www.geoscan.aero.

5. Историко-археологический и природный музей-заповедник «Гнёздово». — http://gnezdovo-museum.ru.