

*В.Н. Окатенко, Д.В. Следюк*

## ИЗУЧЕНИЕ ТОПОЛОГИИ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

*В статье рассматриваются вопросы методики использования беспилотных летательных аппаратов и новейших компьютерных технологий, получивших апробацию в результате работы на памятниках Харьковщины. Огромное значение в изучении древностей археологам оказывают данные дистанционного зондирования Земли — космосъемка и аэрофотосъемка, которые позволяют быстрее и качественней выявлять, и изучать новые памятники и ландшафты. Специальные методы работы с космоснимками, их точная пространственная привязка с использованием GPS помогают не только находить новые памятники, но и делать пространственный анализ оставленных человеком древностей, реконструировать ландшафты, в которых обитал человек и понять его взаимосвязь с окружающей средой.*

**Ключевые слова:** *топология, зондирование, спутниковая съемка, дрон, поселения, курганные могильники.*

Последние годы изучения памятников скифского времени в бассейне Северского Донца ознаменовались открытием большого количества поселенческих структур (городищ, селищ) и тяготеющих к ним курганных могильников. Например, еще недавно на Харьковщине было известно около двух десятков (16) городищ [Гречко, 2010, с. 28, табл. 1, рис. 2]. За последние же 5 лет число известных укрепленных поселений увеличилось почти вдвое (рис. 1). Это не говоря о селищах, расположенных в их округе, небольших курганных группах и отдельно стоящих насыпях, как на полях (пашне), так и в лесных массивах. Некоторые из них были обследованы Г.Е. Свистуном, В.И. Квитковским, Д.Ю. Юшковым, В.М. Окатенко, М.И. Саяным, и уже получили отражение в научной ли-

тературе [Окатенко, Голубева, 2015; Саяный, 2015; Свистун, Квитковский, Юшков, 2016; Квитковский, Юшков, 2016]. Месторасположение большинства вновь выявленных городищ приводится в данной работе впервые. Следует подчеркнуть, что нами был проведен только первичный осмотр и фиксация отмеченных укреплений (без шурфовок), поэтому хронологическая атрибуция большинства из них является открытой и ожидает последующих тщательных исследований.

Все эти открытия неразрывно связаны с развитием технологий дистанционного зондирования земли и применения их в изучении объектов археологического наследия. Изучение их данных и методы геофизики, базирующиеся на применении ГИС-технологий, получили признание за рубежом и уже активно внедряются в археологическую практику на постсоветском пространстве [Коробов, 2011].

Прежде всего, наиболее доступной для археолога является имеющаяся в открытом доступе космосъемка земли. По материалам спутниковой съемки исследователь фиксирует объект (ты), анализирует архивы и карты, а затем проводит традиционную разведку — выезд на местность (осмотр, сбор подъемного материала, шурфовка). Этот метод имеет потенциал не только для выявления новых объектов, но и для уточнения границ уже известных памятников [Квитковский, Юшков, 2016, с. 24—25]. Но, не смотря на это, его можно отнести, хоть и к очень удобному и доступному, но лишь к первичному методу исследования памятников из-за ряда недостатков спутниковых фото. Так, покрытие поверхности земли снимками в относительно высоком разрешении неравномерно. Большая часть снимков земной поверхности

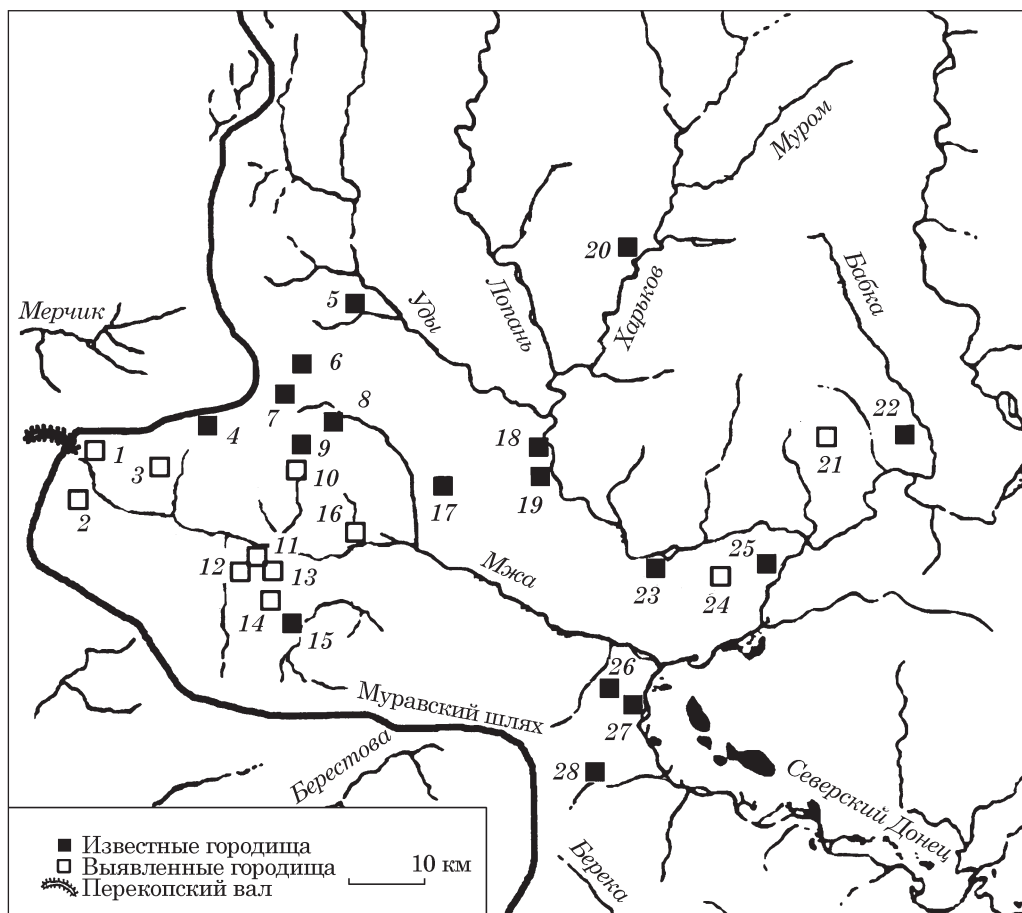


Рис. 1. Схема расположения городищ в бассейне р. Северский Донец: 1 — Старовалковское; 2 — Илюховское; 3 — Костев; 4 — Барановское; 5 — Смородское (Закозаровское); 6 — Люботинское; 7 — Караванское; 8 — Чернецкий Яр; 9 — уроч. Городище (Куколевское); 10 — Одрынское; 11 — Зайцевское; 12 — Знаменское; 13 — Старая Водолага; 14 — Новая Водолага; 15 — Червонососовское; 16 — Ракитнянское; 17 — Яковлевское; 18 — Карачевское (Донецкое); 19 — Хорошевское; 20 — Циркуновское; 21 — Каменная Яруга; 22 — Кочеток II; 23 — Водяное; 24 — Соловецкое; 25 — Мохначанское; 26 — Тарановское; 27 — Коробовы Хутора; 28 — Большая Гомольша; 29 — Леськовка (не обозначено)

для сервиса GoogleEarth выполнена спутниками компании DigitalGlobe, имеющими разрешение 15 м на пиксель (м/пк). Вблизи крупных населенных пунктов доступны изображения более высокого разрешения, но такое покрытие неравномерно, и различается в разных частях света. Например, многие города США — сняты с разрешением 0,15 м/пк, а Москва — с разрешением 0,6 м/пк. Разрешение лучших снимков на территории Украины и того меньше. К сожалению, большая часть интересующих нас археологических памятников находится вне крупных населенных пунктов, и разрешение спутниковых снимков вблизи этих памятников значительно ниже. Еще одним недостатком спутниковой съемки является неоднородность сезонного покрытия поверхности земли по времени съемки. Так, нередки случаи, когда на одном небольшом участке местности соседствуют снимки, выполненные в теплое время года, судя по вегетации растительного покрова, и выполненные зимой, о чем говорит снежный

покров. Это затрудняет анализ содержащейся в снимках информации, так как для одних методик удобнее иметь зимние снимки, для других же — весенние или осенние. Также стоит отметить относительно невысокую точность геопривязки спутниковых снимков. По разным источникам, расхождение координат объектов на спутниковых снимках и данных высокоточных GPS-приемников может составлять до 15 м. Кроме того, из-за особенностей спутниковой съемки, часть мозаики фотоснимков выполнена вертикально «в надир» или близко к этому, а на части снимков хорошо заметны отклонения оси съемки от вертикали. Особенно легко это заметить на снимках городов, где многие здания сняты с большим отклонением от вертикали. Такое отклонение искажает форму и вносит погрешности в определении координат видимых на снимках объектов. Так же важным недостатком общедоступной спутниковой съемки является сложность, а в некоторых случаях, и полная невозможность получения

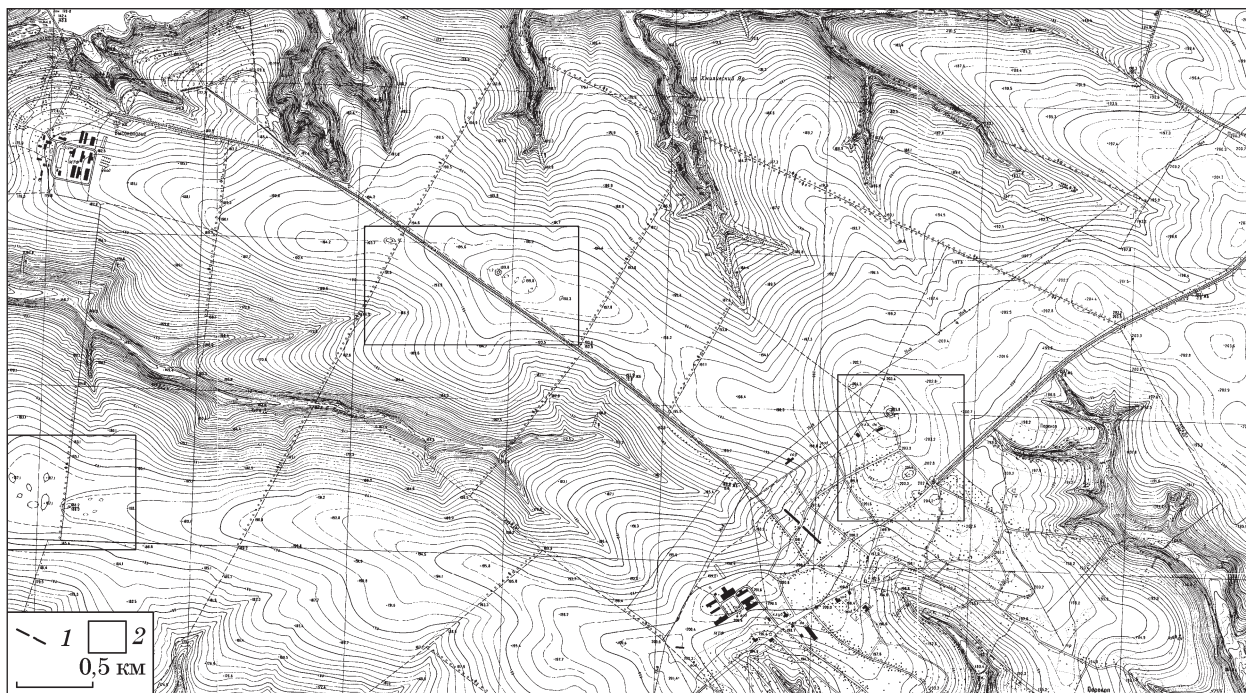


Рис. 2. Месторасположение Перекопского вала и прилегающих курганных могильников в Валковском р-не Харьковской обл.: 1 — сохранившаяся насыпь вала; 2 — места расположения курганных групп

данных о высотах местности. И, наконец, стоит упомянуть, что нередко часть поверхности земли на спутниковых снимках закрыта облаками. Чаще всего такое встречается вдали от населенных пунктов, именно там, где находятся объекты нашего интереса.

Разумеется, традиционные археологические разведки с выездом на местность в ближайшее время ничто не заменит. После изучения архивов, анализа топографических карт и спутниковой съемки мы ставим перед собой цели и задачи разведки (фотофиксация, съемка плана, GPS-привязка и т. д.), выбираем методы и оборудование, которые будем использовать в ходе их выполнения. Это могут быть: компас, теодолит, тахеометр, бытовой или геодезический GPS-приемник, дельтаплан, дрон и т. д.

К числу таких методов относится и использование беспилотных летательных аппаратов — «дронов». Именно беспилотные летательные аппараты являются для исследователей на современном этапе развития наиболее доступным и прогрессивным средством для изучения топографии археологических объектов. ТОПОЛОГИЯ — это наука, учение о местностях. Топология (гр. *topos* «место», «местность» + «логия») [Чудинов, 1894, с. 867]. Во времена, когда топология еще только зарождалась (XVIII—XIX вв.), ее называли геометрией размещения. Применительно к археологии, мы можем говорить об изучении формы и размеров археологических памятников в их неразрывной связи с ландшафтами, на которых они находятся. И если самому описанию археологических памятников в профильной литературе отведено основ-

ное место, то осмыслению и объяснению самой их связи с окружающим ландшафтом, на наш взгляд, уделено еще недостаточно внимания. Особенностью съемки с дронов является фиксация большого участка местности, на которой расположен памятник, а не только его самого или ближайших нескольких метров от его границ, как при традиционной инструментальной съемке с помощью теодолитов или наземных GPS-приемников. Именно применение дронов дает возможность фиксировать и изучать памятники архитектуры в неразрывной связи с окружающей их местностью.

Теперь, стоит правильно определиться с терминологией. Само понятие «дрон» или «беспилотник» или «БПЛА», которое чаще всего используют для обозначения этого класса летательных аппаратов, не совсем верно. В нашем случае следует говорить о «дистанционно — пилотируемых летательных аппаратах» или «ДПЛА». Это различие может быть очень важно в правовом аспекте, так как локальные законодательства разных стран, регламентирующие использование воздушного пространства, по-разному определяют возможности использования «беспилотников», т. е. летательных аппаратов, действующих по программе в автономном режиме, и «дистанционно управляемых» летательных аппаратов, по сути, радиоуправляемых моделей. Однако, так как слово «дрон» уже стало устойчивым нарицательным обозначением для всех летательных аппаратов, не имеющих пилота непосредственно на борту, мы тоже будем его употреблять, чтобы не возникало путаницы в понятиях.



Рис. 3. Аэрофотосъемка Перекопского вала: 1 — курганная группа, расположенная вдоль укрепления; 2 — место зачистки вала А.А. Крютченком

Летом—зимой 2016—2017 гг. мы провели ряд исследований с помощью дрона DJI Inspire 1, с камерой X-550 на борту, на разновременных древних памятниках Харьковской обл.<sup>1</sup> Все снимки имеют GPS-Glanas привязку центров в системе координат WGS84. В данной работе мы коснемся только рассмотрения курганов и поселений раннего железного века.

Археологические разведки были сосредоточены преимущественно на исследовании памятников, расположенных вдоль сухопутной магистрали, которая в средние века называлась «Муравским шляхом» [Шрамко, 1984, с. 227; 1987, с. 20—24, рис. 1; Болтрик, 1990, с. 30—44; Бандуровский, Буйнов, 2000, с. 121—123; Гречко, Шелехань, 2012, с. 11—16, рис. 5]. Территориально все вновь выявленные поселения (рис. 1) находятся в бассейне р. Северский Донец (Валковский, Нововодолажский, Змиевской, Чугуевский р-ны) и одно городище в бассейне р. Ворскла (Богодуховский р-ны)<sup>2</sup>. Нет сомнений, что средневековый Муравский шлях мало чем отличался от торгового пути скифского времени. Современники неоднократно отмечали, что этот путь самый удобный, а в ряде случаев единственно возможный в междуречье Днепра и Северского Донца. На всем своем протяжении он проходил по водоразделу у верховий рек (рис. 1). Большинство вновь выявленных городищ расположены у истоков небольших рек, которые в настоящее время имеют сезонный водоток или вовсе пересохли. Рядом с городищами обязательно расположены селища и могильники. Обращает на себя внимание факт расположения большинства памятников не на крутых берегах Северского Донца, а на значительном удалении от него, то есть в непосредственной близости от Му-

равского шляха. Большинство укреплений и некрополей тяготеют именно к нему (рис. 1) и, видимо, имели большое значение для защиты (контроля) сухопутного пути. Ярким примером такой хорошо продуманной системы защиты из небольших городищ и земляных укреплений есть «стратегическая» возвышенность, которая заметно сужается на водоразделе, оставляя небольшой проход между современными селами Высокополье и Перекоп. Здесь, между заболоченными и поросшими густым лесом берегами рек Коломак и Мжа в уроч. Валки, расположен земляной Перекопский вал и ров длиной 6 км, перегораживающий Муравский шлях (рис. 1—3)<sup>3</sup>. Очевидно, что укрепленные поселения возле сс. Старые Валки и Илюховка были крепостями в системе обороны Перекопского вала (рис. 1).

Интересно, что подобная ситуация повторилась и в средневековье, когда уже существовавший Перекопский вал был укреплен и использовался для защиты от набегов кочевников вторично, но уже от крымских татар. Царское правительство в то время предусматривало возможность включения только что построенного Можеского острога («Старые Валки») в Белгородскую линию укреплений с целью расширения Московского государства на юг. Так, летом 1646 г. по приказу царя Алексея Михайловича для исследования уроч. Валки и округи по течению рек Коломака и Мжи сюда была направлена своего рода топографическая экспедиция во главе с И. Масловым и Г. Жулиновым [Заго-

1. В разные периоды в работах принимали участие проф. С.А. Скорый и сотрудники ДП ОАСУ «Слобожанская археологическая служба» А.М. Голубев, к. и. н. И.В. Голубева и Г.Е. Свистун.

2. Городище Леськовка (на карте-схеме не обозначено) на рис. 1.

3. В 2016 г. в ходе экспедиции ДП ОАСУ «Слобожанская археологическая служба» А.А. Крютченко доказал принадлежность первичной насыпи вала к скифскому времени. Этому памятнику посвящена статья исследователя в настоящем сборнике, поэтому нам нет необходимости останавливаться на данном вопросе подробно.

4. Средневековый острог примыкает к Перекопскому валу в юго-восточной его оконечности и был расположен практически в том же месте, что и скифское городище Старые Валки (см. далее: рис. 15—17).

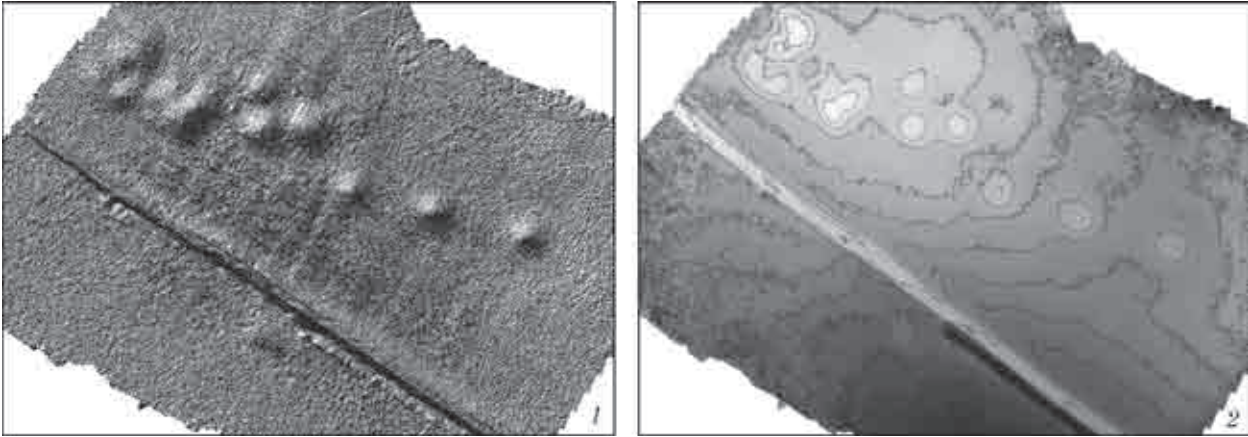


Рис. 4. Цифровая высотная модель курганной группы, расположенной вдоль укрепления на территории Перекопского сельсовета Харьковской обл.

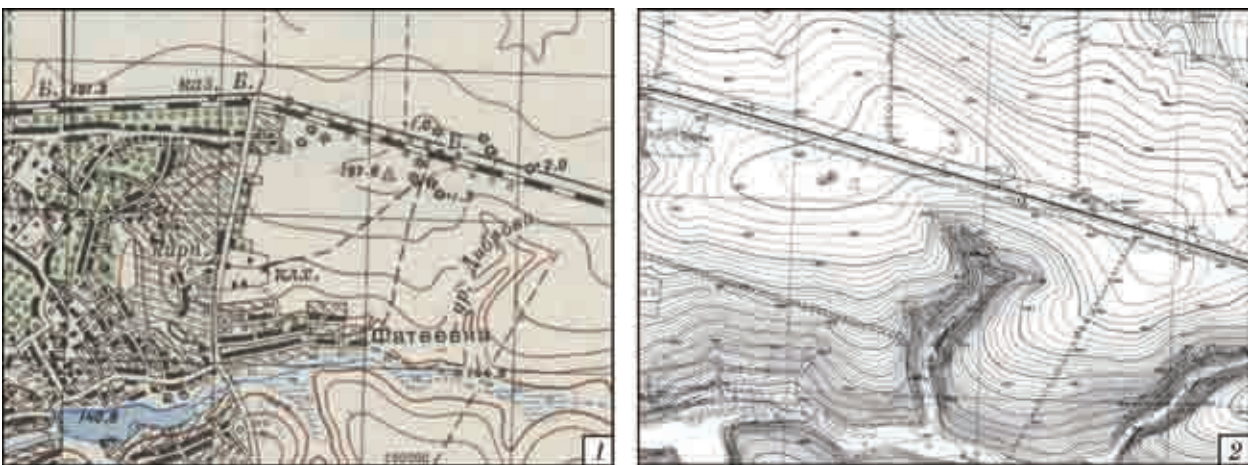


Рис. 5. Месторасположения курганной группы на восточной окраине с. Высокополье Валковского р-на

ровский, 1980, с. 70] <sup>1</sup>. Кроме описания самого Перекопского вала с урочищами они сделали тщательный осмотр «следов и остатков каких-то других древних укреплений». К ним относятся «около р. Болгирь старинный, уже обвалившийся вал, также переведенный концами к обоим лесам, но только значительно короче», а также описание Болгирского и Одринского <sup>2</sup> городищ [Альбовский, 1905, с. 18, 25]. Еще И. Маслов и Г. Жулинов обратили внимание на то, что «старинные Валки» являлись передовой линией укреплений соседних городищ [Загорский, 1980, с. 71]. Частые опустошительные набеги татар вызвали крупномасштабное развитие «валового дела» и постройку крепостей Изюмской черты [Альбовский, 1905, с. 52]. Старый Валковский (Перекопский) вал впоследствии вошел в эту систему укреплений.

1. Существуют и более ранние упоминания уроч. Валок, напр., 1627 г. в Книге Большому Чертежу, 1636 г. белгородским воеводой А. Тургеневым.

2. Городище Одринское (от р. Одринка) несколько раз меняло свое название из-за смены названий населенного пункта который впоследствии существовал на его территории: хут. Куколевского, хут. Городище, уроч. Городище (см. далее: рис. 18—22).

Тут важно отметить, что в разные исторические периоды прежние жители данного региона, видимо, должны были укреплять те же «перелазы», защищая свои поселения от набегов кочевников. Как следствие, уместно предположить, что существующая продуманная система защиты из городищ и земляных укреплений в районе современных Валок, а также наличие большого количества городищ, тяготеющих к Муравскому Шляху (рис. 1), может косвенно указывать на существование и других земляных укреплений скифского времени на стратегических участках, которые впоследствии были перекрыты уже средневековыми линиями обороны. Интересен тот факт, что царские «топографы» умышленно скрывали наличие некоторых укреплений. Примером может служить Старовалковское городище, находящееся на соседнем мысу — севернее Можеского острога (рис. 15—17) с культурным слоем как скифского времени, так и середины XVII в. [Окатенко, Голубева, 2014, с. 13, рис. 61—63]. В данном случае укрывательство информации непосредственными исполнителями проекта, очевидно, связано с целью завышения ими денежных средств, выделяемых Московским правительством на земляные работы.

Только тщательное изучение переплетенных земляных укреплений, которые тянутся по доразделу вдоль Муравского шляха рядом с городищами, позволит в дальнейшем выделить участки укреплений, построенных в раннем железном веке. Созданная в скифское время система укреплений была настолько продумана, а места для городищ были выбраны настолько удачно, что на месте многих из них или рядом с ними, впоследствии возводились средневековые крепости. Все эти наблюдения подтверждают точку зрения Б.А. Шрамко. Исследователь считал, что направить массу людей на постройку такой большой системы укреплений, собрать и вооружить гарнизоны городищ, организовать их снабжение всем необходимым, постоянно поддерживать в хорошем состоянии дерево-земляные укрепления можно было лишь при наличии централизованной власти в период государственного образования [Шрамко, 1987, с. 24].

Мы полагаем, что только тесное сочетание традиционных методов археологической разведки и современных технологий позволит нам в полной мере изучить наше культурное наследие. Так, на сегодняшний день мы выделили и опробовали несколько методик применения воздушной съемки с дронов для решения стоящих перед археологией задач. Вот их краткое обозначение.

1. Обзорная аэрофотосъемка.
2. Съемка сферических панорам.
3. Съемка ортофотопланов.
4. Географическая привязка ортофотопланов и объектов на них.
5. Создание 3D-моделей археологических памятников.
6. Создание карт высот открытой местности.
7. Создание карт высот лесистой местности.
8. Создание изолиний высот на основе карт высот.

Начнем с обзорной аэрофотосъемки. Это самый простой и доступный в технологическом плане метод съемки уже известных, и обна-

ружения неизвестных ранее археологических памятников. Обзорная съемка проводится с высоты 250—500 м, камера направлена под углом к горизонту. Значительная высота съемки обеспечивает широкий охват местности, что удобно при разведке памятников. Оператор дрона осматривает окрестности с высоты на своем мониторе, попутно фиксируя увиденное на цифровую камеру дрона. В ряде случаев при использовании этого метода удавалось обнаружить не описанные ранее курганы непосредственно *ad oculos*, прямо на мониторе оператора дрона, в других случаях археологические памятники или их фрагменты выявлялись при последующем анализе фотоснимков *post factum*. Наглядным примером служат снимки самого Перекопского вала вместе с окружающими его топографическими объектами (рис. 3) — расположенного вдоль него курганного могильника в Валковском р-не [Шрамко, Михеев, Грубник-Буйнова, 1977, с. 61—62]. Эффектно выглядят и насыпи самых крупных «курганов-лидеров» скифского времени, которые находятся среди современной застройки — Хомякова Могила (8,5 м высотой) Песочинского могильника [Бандуровский, 1998, с. 5, фото 8, 9; Бабенко, 2005, с. 23, рис. 2] в снт. Песочин (рис. 13; 14 — см. вклейку), курган, расположенный на въезде Алексеевском (7 м) на территории Люботинского городского совета (рис. 9—11) и городища в уроч. Городище, площадью 26 га (рис. 19) на территории Валковского р-на [Шрамко, Михеев, Грубник-Буйнова, 1977, с. 58—59; Буйнов, Окатенко, 2004, с. 9—12; Буйнов, Гречко, 2005, с. 13—17]. Примером успешного применения этой методики может служить обнаружение группы неизвестных ранее курганов (рис. 8), расположенных на север от Барановского городища (с. Бараново, Валковский р-н). Эти курганные насыпи не обозначены ни на одной из топографических карт и даже не фиксируются на спутниковых снимках (рис. 7). Другим примером может служить установление возможных топологических связей трех курганов (ли-

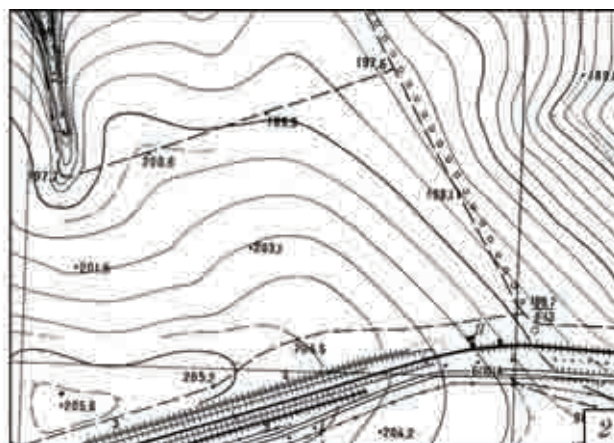


Рис. 7. Карты участка местности, расположенного на север от с. Бараново Валковского р-на

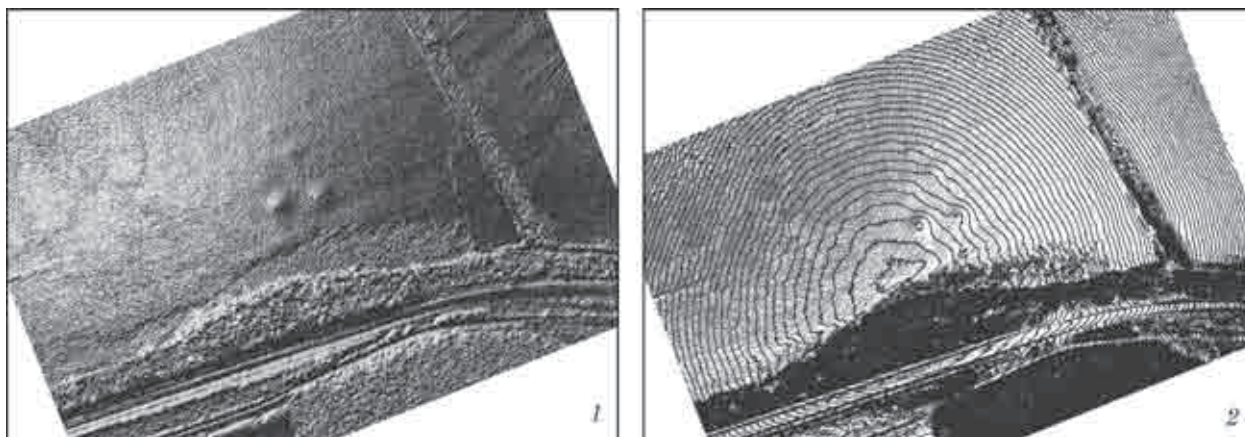


Рис. 8. Цифровая высотная модель курганов расположенных на север от Барановского городища



Рис. 9. Месторасположения трех «Дуншовских» курганов в г. Люботин (въезд Алексеевский): 1 — на географической карте 1 : 50000 (1949 г.); 2 — фото Google, 2016 г.

дерев) на въезде Алексеевском и Дуншовском кладбище (до 5 м) в г. Люботин (рис. 9; 10) с Центральной группой Люботинского могильника [Бандуровский, 1998, с. 1—2; фото 2; 3; Бандуровский, Буйнов, Дегтярь, 1998, с. 143—157; рис. 1].

Следующий метод, в целом, похож на описанный выше, но съемка происходит не хаотически, по желанию оператора, а из одной точки в воздухе делается ряд снимков вкруговую, так, что они описывают нижнюю полусферу под дроном. В дальнейшем из полученных снимков сшивается сферическая панорама  $360 \times 360^\circ$ , точнее — ее нижняя полусфера, в эквидистантной проекции. Для сшивки панорамы может быть использована программа PTGui или ее аналоги. После сборки панорама может быть просмотрена в программах — просмотрщиках типа FSPViewer. В этом случае наблюдатель имеет возможность, действуя мышкой или стрелками клавиатуры, направлять свое поле зрения в любую сторону, приближать или отдалять изображение земли по своему усмотрению. Преимуществом данного метода перед описанным выше является то,



Рис. 10. Дуншовские курганы в г. Люботин (обзорная аэрофотосъемка): курган 1 на Алексеевском въезде; крупные курганы 2 и 3, расположенные на городском кладбище (вид с северо-востока)

что съемка ведется систематически, без пропусков по азимуту и вертикальному углу. Таким образом исключаются пропуски участков земной поверхности в осматриваемом регионе, те самые досадные случаи, когда жалеешь, что не



Рис. 11. Аэрофотосъемка кургана 1 на Алексеевском въезде в разные сезоны года (вид с юго-востока)

взял кадр немного левее или ниже. Полноценно проиллюстрировать данную методику в этой статье не возможно, в виду особенности технологии просмотра панорам.

Следующая методика, о которой мы хотим рассказать, это создание ортофотопланов. Под ортофотопланом понимают фотографический план местности на точной геодезической опоре, полученный путем аэрофотосъемки с последующим преобразованием аэроснимков из центральной проекции в ортогональную. Сам ортофотоплан состоит из множества фотоснимков снятых вертикально «в нади́р». Для каждого такого снимка есть одна точка визирования, находящаяся над его центром, и чем дальше от центра снимка, тем больше угол визирования отличается от перпендикулярного к поверхности (центральная проекция). В сильно упрощенном виде при ортогональной проекции каждой точке конечного изображения соответствует своя вертикальная точка визирования. Для получения ортофотоплана используются методики фотограмметрии. Примером программы для таких вычислений может быть Pix4d, являющаяся на сегодня стандартом de facto для обработки данных с «беспилотников». В общем виде сначала происходит выравнивание исходных фотографий, затем на основе анализа перекрывающихся участков снимков строится облако точек, на основе которого создается полигональная модель поверхности, описывающая ее трехмерное представление и, наконец, по этой модели строится ортофотоплан с преобразованием изображения в ортогональную проекцию. Таким образом мы получаем фотоплан местности с минимальными искажениями. Так как практически все современные «беспилотники» оснащены навигационной системой GPS и способны снабжать полученные с их помощью снимки координатами, мы получаем на выходе геопривязанный ортофотоплан. Точность геопривязки зависит от множества факторов и чаще всего колеблется от 0,5 до 3 м. по горизонтали. Для решения многих археологических

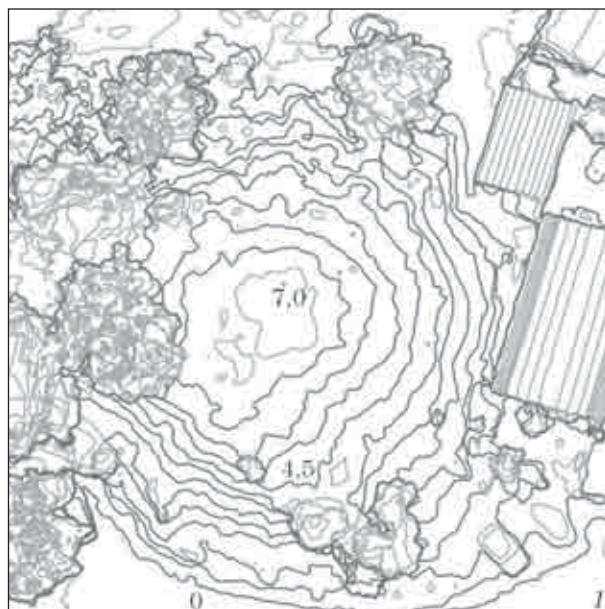


Рис. 12. Курган 1 на Алексеевском въезде с изолиниями высот (также см. вклейку)

задач такой точности вполне достаточно, тем более, что она сопоставима, а во многих случаях и превосходит точность тех карт и спутниковых снимков, которые применяются обычно археологами. Разрешающая способность ортофотопланов, получаемых при помощи дронов, тоже зависит от целого ряда факторов, и при правильном применении технологии вполне может соответствовать требованиям к подробности фотопланов масштаба 1 : 1000 и 1 : 500. Примерами снятых нами ортофотопланов могут быть Можеский острог (средневековье) и городище скифского времени (рис. 16) у с. Старые Валки [Голубева, 2006; Окатынко, Голубева, 2015] и городище в уроч. Городище (рис. 21; 22 — см. вклейку).

В тех случаях, когда необходима более высокая точность геопривязки ортофотоплана, дроны тоже с успехом могут справиться с этой задачей. Так, используя в процессе аэросъемки





Рис. 13. Месторасположение кургана «Хомякова Могила» в с/пос. Песочин Харьковской обл.: 1 — на географической карте 1 : 100 000; 2 — фото Google, 2016 г.



Рис. 14. Курган-лидер Песочинского могильника «Хомякова Могила»: 1 — аэрофотосъемка (вид с юга); 2 — с изолиниями высот (см. вклейку)

сеть из опорных точек на земле, имеющих точные координаты, мы можем после обработки первичного материала получить ортофотоплан с точностью по осям X и Y порядка 2—3 см, и по оси Z в пределах 5 см. Такая точность вполне сопоставима с инструментальными методами съемки, но значительно превосходит их по скорости проведения и количеству получаемых данных. Ярким примером такого вида съемки (рис. 22) служит городище в уроч. Городище, расположенное в Валковском р-не.

Одной из самых интересных, на наш взгляд, методик использования дронов в археологии является методика построения 3D-моделей археологических памятников. Первичным материалом для моделей могут служить фотографии снятые «в надир». Как описывалось выше, после выравнивания исходных снимков и получения облака точек, строится полигональная модель поверхности. Это векторная модель поверхности, состоящая из множества треугольников. Таким образом мы получаем из двумерных фотоснимков 3-мерную модель описывающую не только линейные размеры объекта

по осям X и Y, но и его форму. На этом этапе мы уже переходим на новый уровень — получаем и фиксируем топологическую информацию об исследуемом археологическом памятнике. Как правило, векторная модель может быть покрыта текстурой, тождественной по цвету и форме исходному объекту. В этом случае векторная модель будет предельно фотореалистична и по внешнему виду полностью воссоздавать не только форму, но и текстуру поверхности моделируемого объекта. Полигональная модель так же, как и ортофотоплан, имеет геопривязку, что позволяет проводить любые измерения археологического памятника по его модели. Такая возможность особенно полезна при проведении раскопок, когда облик вскрываемого археологического памятника день ото дня меняется, и часть пространственной (топологической) информации о нем безвозвратно теряется в процессе работы. Последовательное создание 3D-моделей археологических памятников в процессе раскопок позволяет получать такие модели на разных этапах вскрытия памятника, делать как бы объемные цифровые «стоп-кадры». В дальнейшем такие последовательности моделей могут быть использованы как в научных, так и учебно — методических целях. Мы опробовали данную методику в процессе раскопок кургана Турецкая Могила [Окатынко, Скорый 2016, с. 25—26], сделав 3D-модели кургана на этапе зачистки профилей насыпи и после вскрытия самой могилы<sup>1</sup>. В дальнейшем 3D-модели могут быть экспортированы в специализированные программы для работы с 3D-объектами для выполнения линейных измерений, а также измерений площадей и объемов и визуализации этих моделей. В данном случае под визуализацией мы понимаем созда-

1. Фотоматериалы раскопок кургана Турецкая Могила, полученные с помощью БПЛА см. в публикации В.Н. Окатынко и С.А. Скорого в настоящем сборнике.



Рис. 15. Месторасположение Старовалковского городища и Можеского острога в с. Старые Валки: 1 — на географической карте 1 : 50000; 2 — фото Google, 2016 г.; 3 — на топографической карте

ние виртуальных фотоснимков и видеокладов на основе цифровых 3D-моделей. Для этих задач могут применяться геодезические программы и программы для работы с 3D-моделями типа Autodesk AutoCAD Civil 3D, Cinema4D, 3DS Max.

Еще одной производной обработки аэрофотоснимков с дронов являются карты высот. В отличие от 3D-моделей, описанных выше, они не содержат полного векторного представления поверхности местности или археологического памятника. В них имеется только информация о различиях в высоте точек, формирующих изображение объекта. Как правило, эта информация закодирована в виде цветовой окраски точек. Шкала высот имеет цветовую кодировку, и в соответствии с ней в условные цвета окрашиваются все точки изображения. Достоинством этого метода отображения топологии поверхности исследуемой местности является то, что у нас есть непрерывная картина, передающая информацию о форме объекта (длине, ширине и высоте), лишенную какого бы то ни было визуального шума в виде естественного цвета его поверхности, скрадывающего восприятие формы данного объекта. Такие виды работ выполнены нами на курганных могильниках, расположенных у с. Высокополье [Шрамко, Михеев, Грубник-Буйнова, 1977, с. 58], в Перекопском и Барановском сельсоветах, а также на городищах у Старых Валок и уроч. Городище (рис. 4; 6; 8; 17; 21, 1 — см. вклейку).

Отдельной задачей является создание карт высот местности, покрытой лесом. Несмотря на внешнюю схожесть задач, и конечных результатов, методика получения карт высот поверхности земли лесистой местности на много сложнее, чем на открытых участках. Как мы помним, исходными данными для получения карт высот являются фотоснимки и полученное

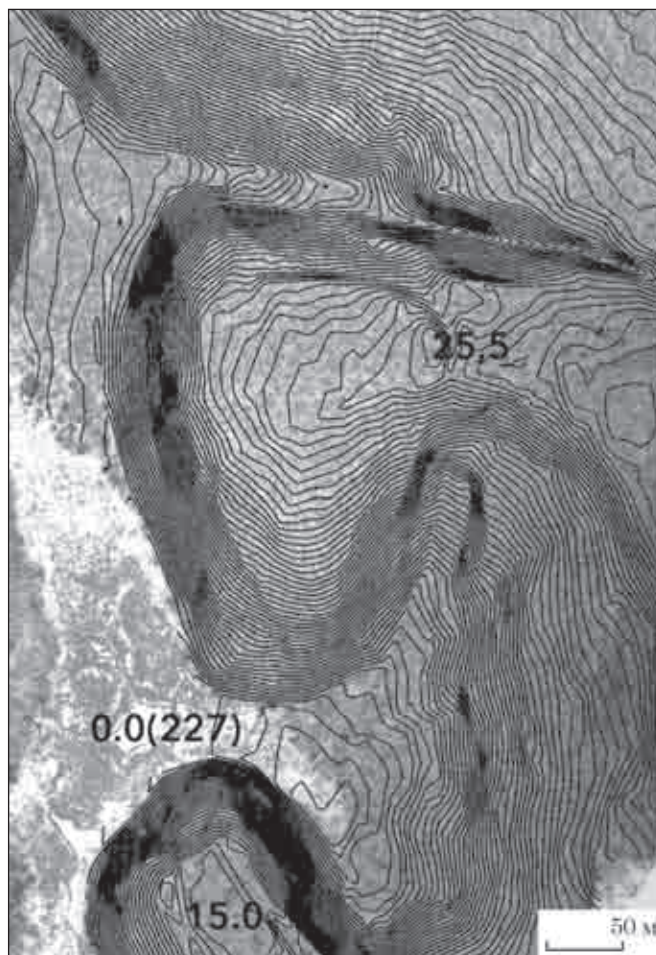


Рис. 16. Ортофотоплан местности покрытой лесом у с. Старые Валки с нанесением микрорельефа

на основе анализа перекрывающихся областей облако точек. В случае с открытой местностью основным вкладом в получаемое облако точек будет оптическая поверхность земли, что и нужно нам. В случае же с лесистой местностью основной вклад будет со стороны крон деревьев, и совсем незначительный — со стороны участков поверхности земли, видимых сквозь

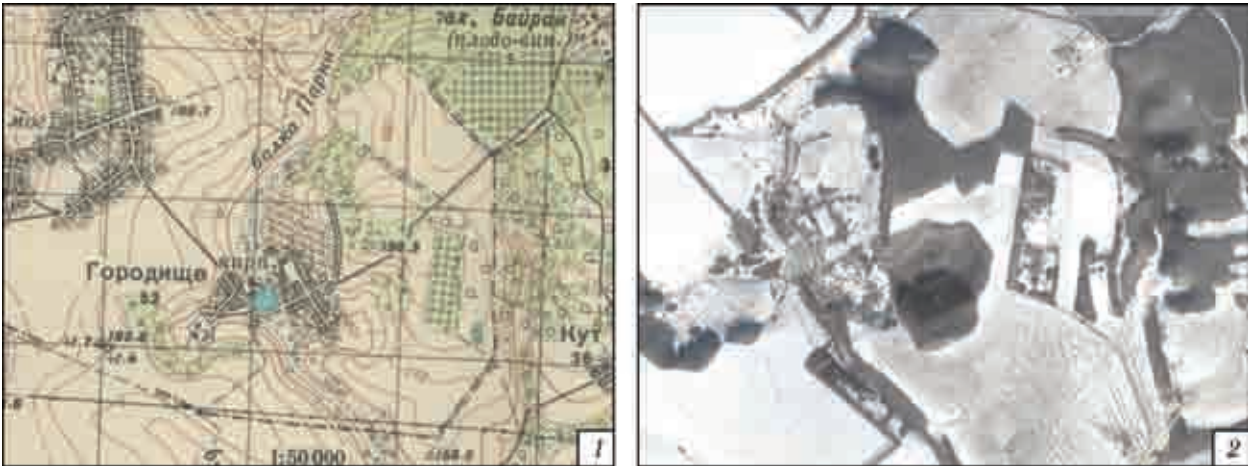


Рис. 18. Месторасположение городища в уроч. Городище (Куколевского) в Валковском р-не: 1 — на географической карте 1 : 50000; 2 — фото Google, 2016 г.



Рис. 19. Обзорная аэрофотосъемка городища в уроч. Городище в осенний период (вид с юго-востока)

просветы крон. В этом случае полученная традиционным способом карта высот будет описывать высоты поверхности, огибающей кроны деревьев, а это совсем не то, что требуется для археологии. Для того чтобы и в этом случае получить карту высот именно поверхности земли, требуется другая методика, основанная на стереофотограмметрии. В упрощенном виде суть ее сводится к следующему: из исходных фотоснимков формируются стереопары, которые рассматриваются визуально, и на них в «ручном» режиме выделяются точки, соответствующие поверхности земли. В дальнейшем, на основании массива полученных таким образом точек, строится карта высот поверхности Земли. Процесс этот долгий и трудоемкий, т.к. плохо поддается автоматизации. Но и результат этой работы сложно переоценить. Это

один из очень немногих методов получения рельефа на территориях, покрытых растительностью. Работа инструментальными методами в лесу крайне затруднительна и трудоемка, ввиду ограниченной видимости для теодолитной съемки. Низкое качество, а иногда и невозможность приема GPS-сигнала под кронами деревьев также сильно затрудняет или делает невозможной получение рельефа при помощи GPS. Мы использовали методику получения рельефа поверхности Земли в условиях лесной растительности на территории 2 городищ, расположенных на юго-восточной оконечности Перекопского вала у с. Старые Валки. Несмотря на неблагоприятное время съемок, при внимательном рассмотрении полученных материалов можно проследить контуры сохранившегося мощного участка вала в северной

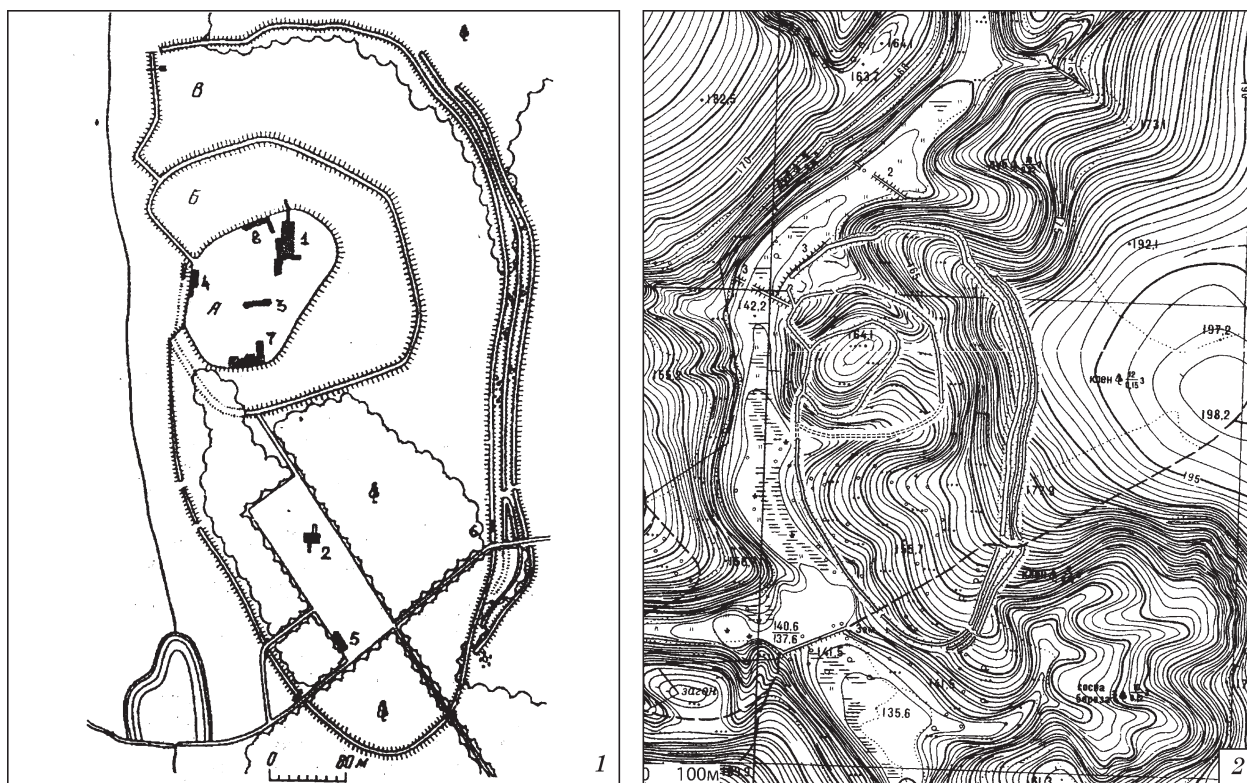


Рис. 20. Городище в уроч. Городище: 1 — съемка Б.А. Шрамко 1951 г., дополненная Ю.В. Буйновым 2001—2003 гг.; 2 — нанесение плана городища на топографическую основу

части скифского городища и полные очертания Можеского острога середины XVII в., с четко выраженными местами расположения башен (рис. 15—17).

Наконец, еще одной методикой, связанной с картами высот, является получение изолиний рельефа. Это привычное для геодезистов и археологов отображение информации о высотах рельефа, которое также помогает обнаруживать топологические паттерны, могущие указывать на искусственный характер некоторых участков рельефа, или позволяют более точно определить геометрию исследуемого объекта (рис. 3; 8; 12; 14, 2; 16; 17; 22 — см. вклейку). Особенно это важно для изучения разрушенных и запаханых курганов и майданов. Примером здесь может служить бесконтактное зондирование майдана одного из могильников возле Перекопского вала, которое позволило установить в его центре углубление, не фиксируемое визуально. Это обстоятельство может указывать нам на то, что здесь был довольно крупный курган, разрушенный в процессе селитроварения (рис. 4, 2).

Подведем итоги.

1. Использование указанных методик, благодаря своей доступности, позволяет не только выявлять новые объекты, визуально не фиксируемые на местности (при сильной распахке, в густом лесу и пр.), но и делать довольно точные топографические планы ландшафтов и GPS-привязки самих памятников. Не менее важно — обзорное и объемное представления о них.

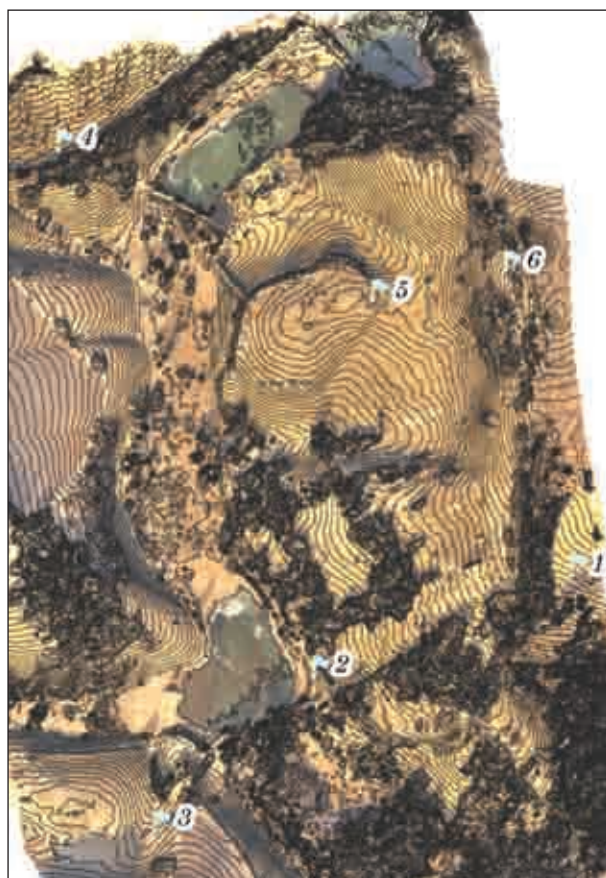


Рис. 22. Ортофотоплан городища в уроч. Городище (осенний период) с нанесением микрорельефа и пунктов опорных точек, зафиксированных геодезическим прибором GPS

2. Изучение топологии археологических объектов позволяет рассматривать их в неразрывной связи с ландшафтами, на которых они находятся, и объединить их в единую систему — т. н. культурные ландшафты.

3. Огромное значение эти работы имеют также для охраны археологического наследия. БПЛА позволяют в довольно короткие сроки делать фотофиксацию и привязки к глобальной системе координат, что в дальнейшем поможет создать банк данных и проводить своевременные охранные мероприятия.

4. Фотоальбомы с видами археологических памятников с воздуха, их 3D-модели способствуют популяризации археологического знания в учебных заведениях, научных учреждениях и широких кругах населения.

*Альбовский Е.А.* Валки, украинский город Московского Государства // СХИФО. — 1905. — Т. 16. — С. 9—53.

*Бабенко Л.И.* Песочинский курганный могильник скифского времени. — Харьков, 2005. — 284 с.

*Бандуровский А.В.* Отчет об археологических исследованиях в Харьковской обл. в 1997 г. / НА ІА НАН України. — 1997/19.

*Бандуровский А.В., Буйнов Ю.В., Дегтярь А.К.* Новые исследования курганов скифского времени в окрестностях г. Люботина // Люботинское городище. — Харьков, 1998. — С. 143—182.

*Бандуровский А.В., Буйнов Ю.В.* Курганы скифского времени. Северскодонецкий вариант. — К., 2000. — 245 с.

*Болтрик Ю.В.* Сухопутные коммуникации скифии // СА. — 1990. — № 4. — С. 30—45.

*Буйнов Ю.В., Окатенко В.Н.* Раскопки городища скифского времени в уроч. Городище // АБУ 2002—2003 рр. — 2004. — С. 9—12.

*Буйнов Ю.В., Гречко Д.С.* Некоторые итоги раскопок городища в уроч. Городище (к вопросу об исторических судьбах племен бондарихинской культуры) // АДУ 2003—2004 рр. — 2005. — С. 13—17.

*Голубева І.В.* Відновлення досліджень першої Валківської фортеці // Нові дослідженні пам'яток козацької доби в Україні. — 2006. — Вип. 15. — С. 27—31.

*Гречко Д.С.* Населення скіфського часу на Сіверському Дінці. — К., 2010. — 286 с.

*Гречко Д.С., Шелехань А.В.* Гришковский могильник скифов на Харьковщине. — К., 2012. — 197 с.

*Квитковский В.И., Юшков Д.Ю.* Использование спутниковой съемки местности для поиска памятников раннего железного века на Харьковщине // Проблемы истории и археологии Украины: Материалы X Междунар. конф., посвящ. 125-летию проф. К.Э. Гриневича (Харьков, 4—5 ноября 2016 г.). — Харьков, 2016. — С. 24—25.

*Загоровский В.П.* Изюмская черта. — Воронеж, 1980. — 238 с.

*Коробов Д.С.* Основы геоинформатики в археологии. — М., 2011. — 221 с.

*Окатенко В.М., Голубева І.В.* Результати археологічних обстежень на території м. Харкова і Харківської області у 2014 р. // АДУ 2014 р. — 2015. — С. 237—238.

*Окатенко В.М., Голубева І.В.* Звіт про наукові археологічні експертизи і охоронні розкопки в м. Харкові

і Харківській області та наукові розвідки в Донецькій області в 2014 р. / Архів ХІМ.

*Окатенко В.Н., Скорый С.А.* Скифский курган «Турецкая Могила» // Проблемы истории и археологии Украины: Материалы X Междунар. конф., посвящ. 125-летию проф. К.Э. Гриневича (Харьков, 4—5 ноября 2016 г.). — Харьков, 2016. — С. 25—26.

*Саяний М.І.* Соловецьке городище — невідома пам'ятка археології Зміївщини // Харьковський історико-археологічний збірник. — 2015. — Вип. 17. — С. 18—22.

*Свистун Г.Е., Квитковский В.И., Юшков Д.Ю.* Знаменское городище скифского времени на Харьковщине // АДІУ. — Вип. 2 (19). — 2016. — С. 233—256.

*Чудинов А.Н. (ред.)* Словарь иностранных слов, вошедших в состав русского языка. — СПб, 1894. — 1004 с.

*Шрамко Б.А.* Поселення скіфського часу в басейні Дінця // Археологія. — 1962. — Т. XIV. — С. 136—155.

*Шрамко Б.А., Михеев В.К., Грубник-Буйнова Л.П.* Справочник по археологии Украины. Харьковская область. — К., 1977. — 155 с.

*Шрамко Б.А.* Энгельс и проблема возникновения городов в Скифии // Ф. Энгельс и проблемы истории древних обществ. — К., 1984. — С. 218—229

*Шрамко Б.А.* Бельское городище скифской эпохи (город Гелон). — К., 1987. — 182 с.

*В.М. Окатенко, Д.В. Следюк*

## ВИВЧЕННЯ ТОПОЛОГІЇ АРХЕОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ФОТОГРАМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Останні роки вивчення пам'яток скіфського часу у басейні Сіверського Дінця ознаменувалися відкриттям великої кількості поселенських структур (городищ, поселень) і курганних могильників, що тягнуть до них.

Усі ці відкриття нерозривно пов'язані з розвитком технологій безконтактного зондування землі і застосування їх до вивчення об'єктів археологічної спадщини. Вивчення даних дистанційного зондування і методи геофізики, що базуються на застосуванні ГІС-технологій, отримали визнання за кордоном і вже активно впроваджуються в археологічну практику на пострадянському просторі.

Найдоступнішою для археолога є наявна у відкритому доступі супутникова зйомка землі. Цей метод має потенціал не лише для виявлення нових об'єктів, але і для уточнення меж вже відомих пам'яток. Не дивлячись на це, його можна зарахувати, хоч і до надзвичайно зручного та доступного, але лише первинного методу дослідження пам'яток, зважаючи на ряд недоліків супутникових фото.

Саме безпілотні літальні апарати являються для дослідників (на сучасному етапі розвитку) найбільш доступним і прогресивним засобом для вивчення топології (геометрія розташування) археологічних об'єктів. Стосовно археології, ми можемо говорити про вивчення форми і розмірів археологічних пам'яток в їх нерозривному зв'язку з ландшафтами, на яких вони знаходяться.

Влітку—взимку 2016—17 рр. автори провели ряд досліджень за допомогою дронів на пам'ятках ран-

ньої залізної доби, розташованих в Харківській області (кургани і городища біля Перекипського валу, кургани в м. Люботин і в смт Пісочин, а також городище в уроч. Городище). Таким чином, на сьогодні ми виділили і випробували декілька методів застосування повітряної зйомки з БПЛА для вирішення завдань, що стоять перед археологією. Ось їх коротке позначення: 1) оглядова аерофотозйомка; 2) зйомка сферичних панорам; 3) зйомка ортофотопланів; 4) географічна прив'язка ортофотопланів і об'єктів на них; 5) створення 3D-моделей археологічних пам'яток; 6) створення карт висот відкритої місцевості; 7) створення карт висот лісної місцевості; 8) створення ізоліній висот на основі карт висот.

Підіємо підсумки.

1. Використання вказаної методики, завдяки своїй доступності, дозволяє нам не лише виявляти нові об'єкти, що візуально не фіксуються на місцевості, але і робити досить точні плани і GPS-прив'язки цих пам'яток, оглядове і об'ємне уявлення про них.

2. Вивчення топології археологічних об'єктів дозволяє нам розглядати їх в нерозривному зв'язку з ландшафтами, на яких вони знаходяться і об'єднувати їх в т.зв. культурні ландшафти.

3. Величезне значення ці роботи мають також для охорони археологічної спадщини. БПЛА дозволяють в досить швидкі терміни робити фотофіксацію і прив'язки до світової системи координат, що надалі дозволить створити банк даних і проводити своєчасні охоронні заходи.

4. Фотоальбоми з видами археологічних пам'яток з повітря, їх 3D-моделі сприяють популяризації археологічного знання в широких колах населення.

**Ключові слова:** топологія, зондування, супутникова зйомка, дрон, поселення, курганні могильники.

*V.N. Okatenko, D.V. Sledyuk*

## STUDY OF THE ARCHAEOLOGICAL OBJECTS' TOPOLOGY BY PHOTOGRAMMETRIC METHOD WITH USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

The last years of the study of Scythian time monuments in the Seversky Donets Basin were marked by the discovery of a large number of settlement structures: fortifications, settlements and located near them burial mounds.

All these discoveries are inextricably linked with the development of technologies for contactless sounding of the earth and their application to the study of archaeological heritage sites. The study of remote sensing data and methods of geophysics based on the application of GIS technologies have gained recognition abroad and

are already actively being introduced into archaeological practice in the post-Soviet space.

The most accessible for the archaeologist is the available in the open access Earth satellite imagery. This method has the potential not only to identify new objects, but also to clarify the boundaries of already known monuments. But despite this it can be attributed, albeit to a very convenient and affordable, but only to the primary method of researching monuments because of a number of shortcomings in satellite photos.

Unmanned aerial vehicles is the most accessible and progressive means for researchers at the current stage of development for studying the topology (placement geometry) of archaeological objects. As applied to archeology, we can talk about studying the shape and size of archaeological sites in their inseparable connection with the landscapes on which they are located.

In the summer—winter of 2016—17 the authors conducted a series of studies using drones on the monuments of the Early Iron Age located in the Kharkov region (burial mounds and hillforts near the Perekopsky Val, burial mounds in the city Lubotin and in the urban-type settlement Pesochin, and also a hillfort in the natural boundary Gorodische). Thus, to date, we have identified and tested several techniques for using aerial survey with UAV to solve the challenges facing archeology. Here is their short notation: 1) survey aerial photography; 2) shooting spherical panoramas; 3) photographing of orthophotomaps; 4) geo-referencing orthophotomaps and objects on them; 5) creation of 3D-models of archaeological monuments; 6) creation of elevated elevation maps; 7) creation of maps of heights of a wooded area; 8) create heights isolines based on height maps.

Thus.

1. Using these methods due to its availability allows us not only to identify new objects not fixed in the terrain visually, but also to make fairly accurate plans and GPS bindings of these monuments, a survey and a three-dimensional view of them.

2. The study of the topology of archaeological objects allows us to consider them in indissoluble connection with the landscapes on which they are located and combine the so-called «cultural landscapes».

3. These works are also of great importance for the archaeological heritage's protection. UAVs allow you to make photo fixations and bindings to the world coordinate system in a relatively short time, which in the future will enable creating a data bank and conducting timely security measures.

4. Photo albums with types of archaeological monuments from the air, their 3D-models promote the popularization of archaeological knowledge in wide circles of the population.

**Keywords:** topology, contactless sounding, satellite imagery, drone, settlements, burial mounds.

*Одержано 11.03.2017*

К статье

В.Н. Окатенко, Д.В. Следюка «Изучение топографии археологических объектов фотограмметрическим методом с использованием беспилотных летательных аппаратов»

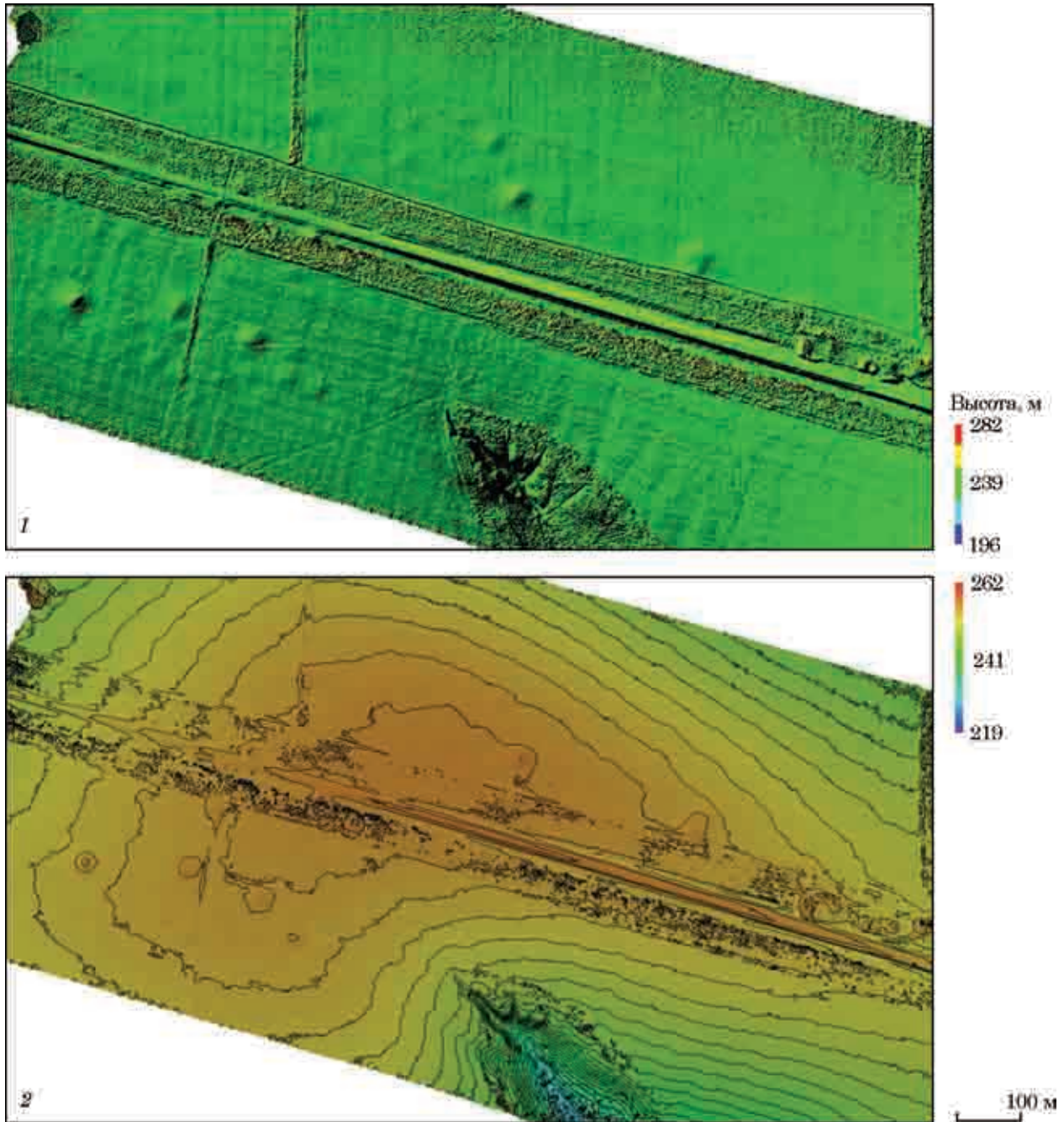


Рис. 6. Цифровая высотная модель курганный группы, расположенной на восточной окраине с. Высокополье Валковского р-на Харьковской обл.

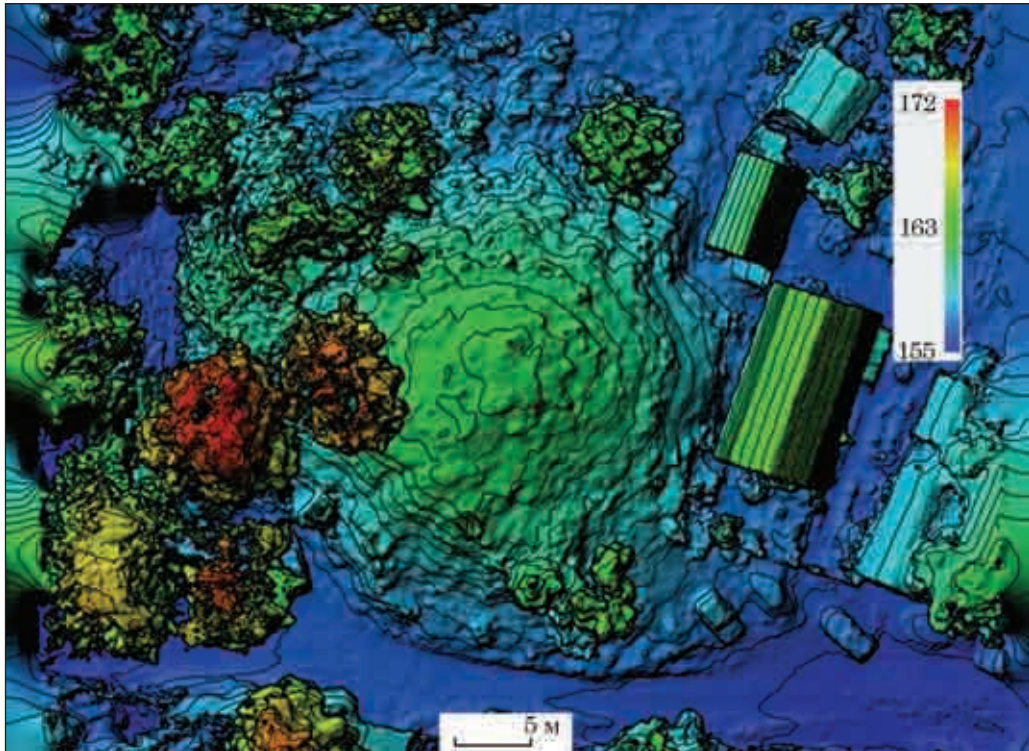


Рис. 12. Курган-лидер (№ 1) на Алексеевском въезде в г. Люботин

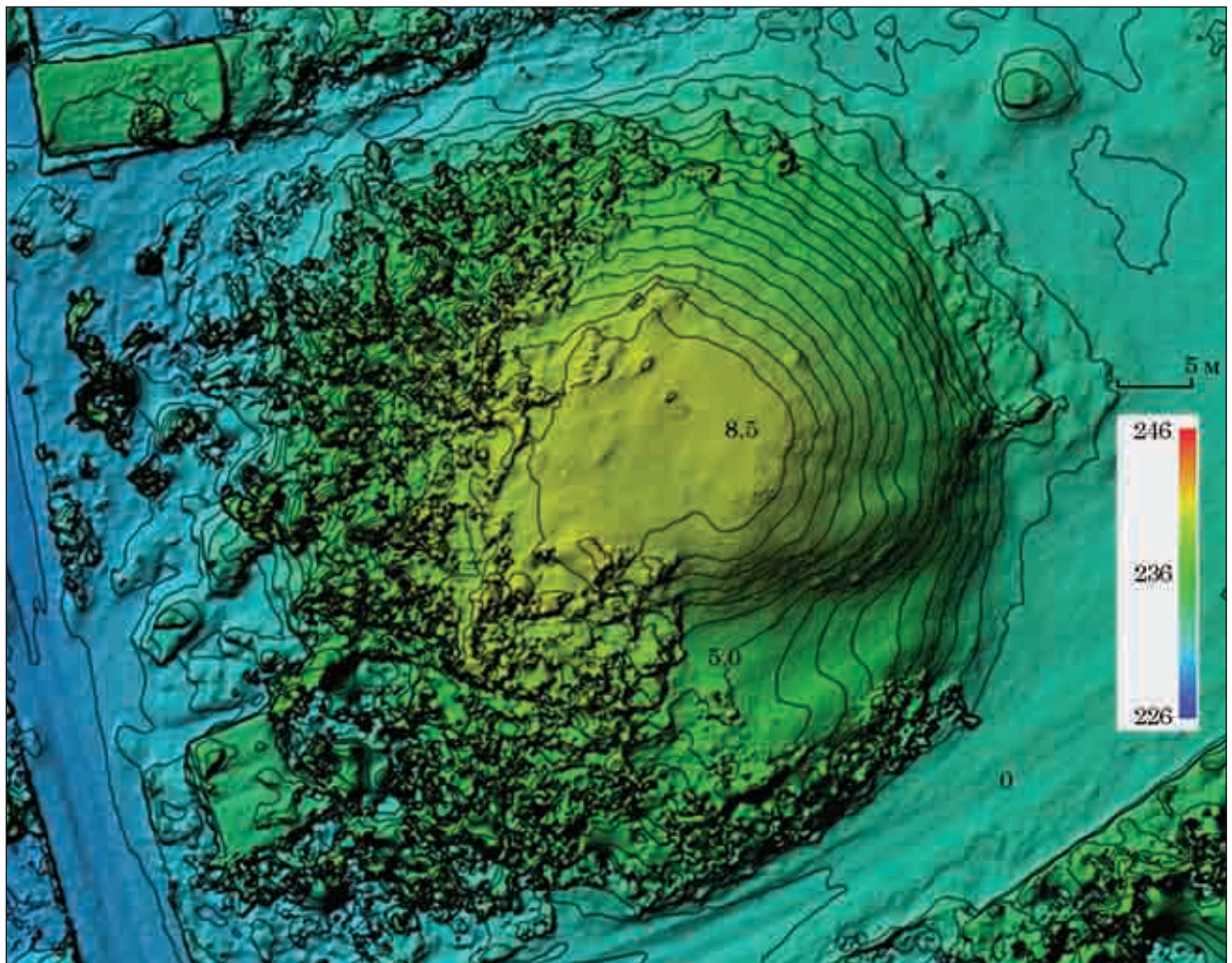


Рис. 14. Курган-лидер Песочинского Могильника «Хомякова Могила» на территории с/пос. Песочин



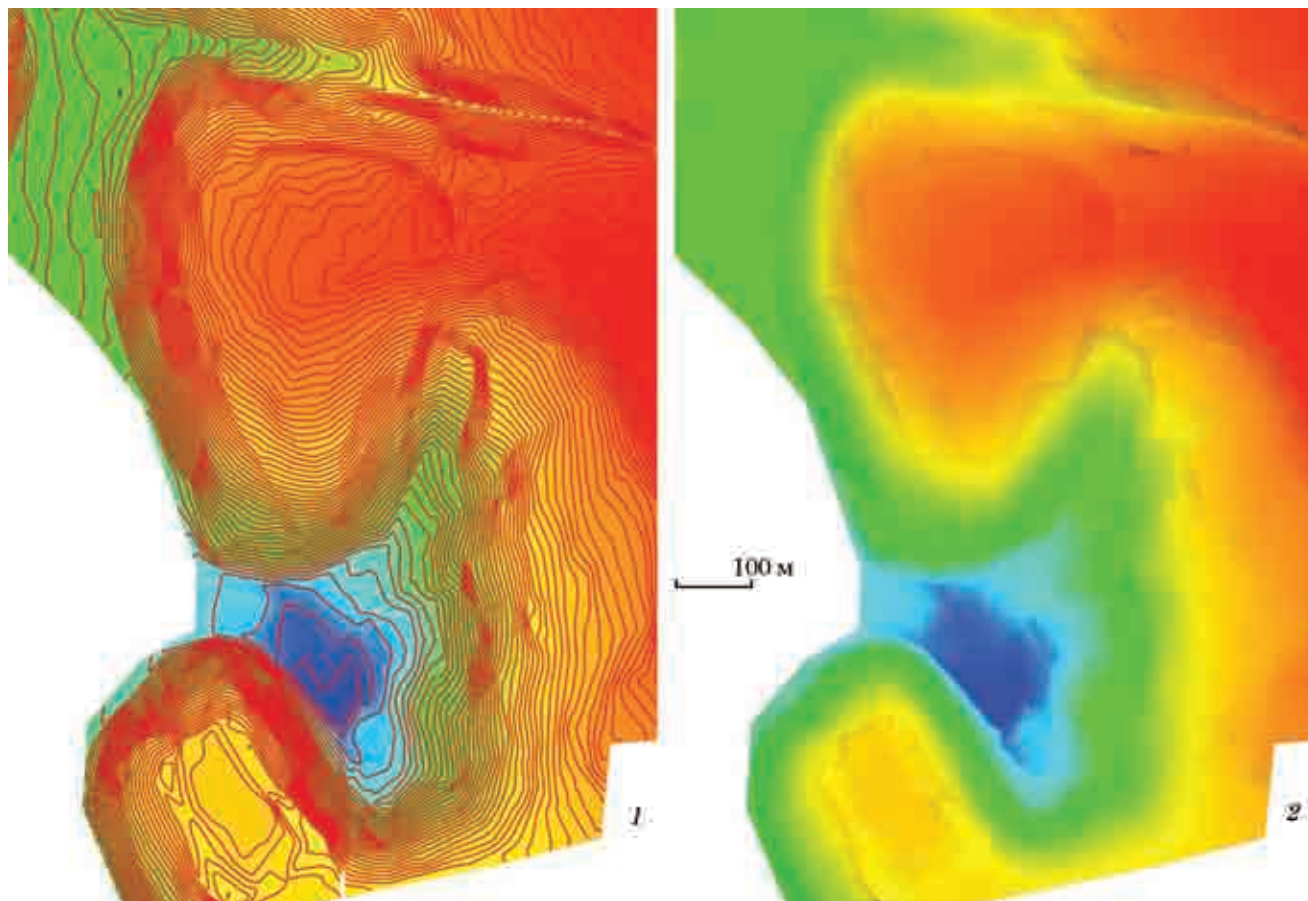


Рис. 17. Карта высот скифского городища Старые Валки и средневекового Можеского острога с нанесением микрорельефа

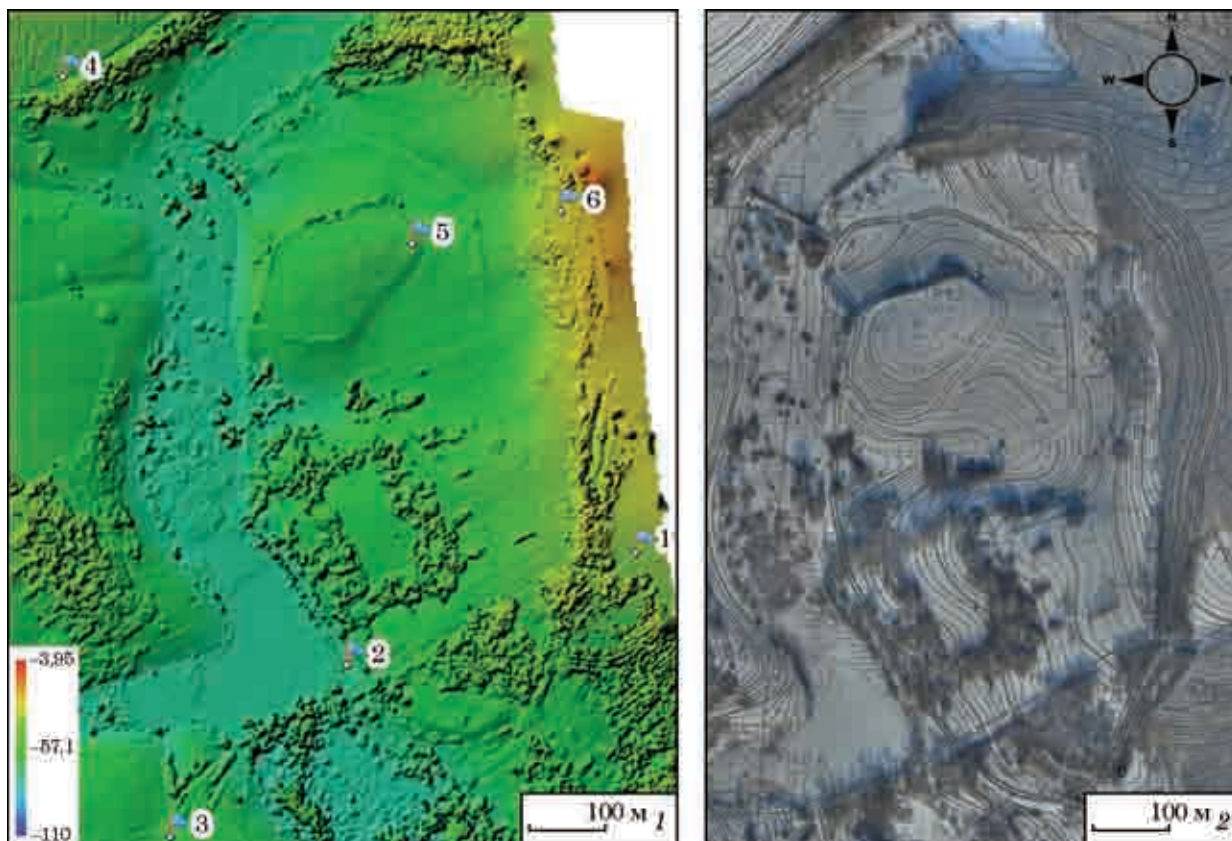


Рис. 21. Ортофотоплан городища скифского времени в уроч. Городище в Харьковской обл.: 1 — карта высот памятника; 2 — аэрофотосъемка в зимний период с нанесением рельефа и оборонительных сооружений