

## О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОЙ СЪЕМКИ В АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ\*

Несмотря на всплеск интереса к археологии и проблемам сохранения культурно-исторического наследия нашей страны, следует отметить низкий уровень проработки концептуальной основы археологической картографии, непонимание предмета, места и роли картографического метода в археологических и междисциплинарных исследованиях. С учетом существенных проблем в области каталогизации и археологического картографирования и на уровне страны в целом, и на уровне отдельных регионов предлагаемые в статье методы и технологии позволят ускорить решение таких актуальных для страны задач, как формирование единой базы данных (реестра) археологических памятников, разработка детальных археологических карт для служебного пользования и электронных карт для всех заинтересованных лиц, выпуск тематических атласов, аккумулирование на основе Web-ГИС технологий и предоставление имеющихся на сегодняшний день данных для проведения исследований с целью реконструкции древних и средневековых сообществ и др.

Технология применения беспилотных систем аэрофотосъемки, адаптированная для задач поиска, картографирования и 3Д-моделирования была апробирована на археологическом комплексе у с. Сростки на городище Пикет и курганном могильнике Сростки-I. Полученные результаты свидетельствуют о больших возможностях предлагаемых методов.

*Ключевые слова:* междисциплинарные методы в археологии, археологические памятники, археологическое картографирование, технология Web-программирования и базы данных, методы геоинформатики и картографии в археологии, беспилотные системы и аэрофотосъемка.

**DOI:** 10.14258/tpai(2018)4(24).-07

### *Введение*

Многочисленные попытки каталогизировать археологические памятники (как изученные, так и неисследованные) на территории нашей страны стали предприниматься начиная с середины прошлого века и до сегодняшнего дня. Вместе с тем значительная часть территории (особенно Западной и Восточной Сибири) остается слабо изученной, особенно с позиции сплошного картографирования. Отсутствуют подробные археологические карты не только России, но и отдельных регионов, в частности Алтайского края и Республики Алтай. По-прежнему не доведены до степени готовности археологические карты и реестры Сибирского, Дальневосточного регионов и т.п.

Однако в 2014–2016 гг. была предпринята попытка создания интерактивной археологической карты России в рамках проекта «Геоинформационная система „Археологические памятники России“» (руководитель – доктор исторических наук Николай Андреевич Макаров, директор ИА РАН). Археологические карты, составленные на основе запущенной ГИС, выявили значительную неравномерность географического распределения памятников, которая выразилась в более высокой плотности их на юге и достаточно высокой концентрации в европейской части России по сравнению с Сибирью.

Анализ на основе имеющихся баз данных позволит установить, что большая часть памятников, затронутых изысканиями 2009–2012 гг. сосредоточена к западу от Урала. По утверждению Н.А. Макарова\*\*, данную диспропорцию нельзя объяснить

\* Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, грант №18-05-00864.

\*\* [http://grant.rscf.ru/prjcard\\_int?14-18-03755](http://grant.rscf.ru/prjcard_int?14-18-03755).

тем, что большая часть археологических работ за исследуемый период проводилась на европейской части России, а Сибирь и территории за Уралом обследованы недостаточно. Причина заключается скорее в отсутствии достоверных с картографической точки зрения данных, внесение которых возможно в базу данных национальной археологической ГИС.

Сплошные исследования памятников с сопутствующим процессом инструментальной топографической съемки и дистанционным зондированием актуальны и необходимы, особенно для территории Сибири, и в частности Алтая. В качестве примера приведем верховье р. Юстыд (левобережный участок площадью около 45 кв. км, юго-восточный Алтай), где за десятилетний отрезок времени удалось нанести на карту и исследовать, преимущественно без раскопок, более тысячи новых археологических объектов. Хотя на начало исследований было принято считать, что памятники Юстыда уже изучены В.Д. Кубаревым и другими археологами и новых объектов там практически быть не может. Однако в ходе сплошных исследований выявилось, что на левом берегу сосредоточены сотни археологических объектов, отличающиеся культурной и временной принадлежностью, не учтенные и не изученные ранее [Кубарев, 1991; Крупочкин, 2009; Крупочкин, Слюсаренко, 2015; и др.].

В этой связи следует отметить важность и перспективы более широкого и разнообразного (с точки зрения методов, алгоритмов и технологий) использования методов дистанционного зондирования как для поиска, так и для пространственно-временного анализа цифровых моделей памятников в контексте природно-географических условий, а также с учетом археологического ландшафта исследуемой территории.

Однако при спектре проблем, связанных с использованием космической съемки (высокая стоимость и привязка к доллару, зависимость от погодных условий, большой временной цикл между съемкой и обработкой и др.), переход на более независимую и автономную технологию беспилотной съемки является вполне очевидным фактом. Это особенно актуально при стремительно растущем рынке беспилотной техники и съемочной аппаратуры с одной стороны и довольно большим ценовым диапазоном – с другой\*.

Анализ работ зарубежных (Ж. Буржуа, В. Гейле, А. Де Вульф, Р. Гууссенс, Эстер Якобсон-Тепфер, С. Марченко и др.) и отечественных (Д.С. Коробов, А.В. Постнов, И.Д. Зольников, А.А. Тишкин, И.В. Журбин, А.В. Котляров, А.А. Картозия, В.И. Молодин, В.Б. Ковалевская, Е.С. Богданов, И.Ю. Слюсаренко и др.) ученых, активно использующих арсенал естественно-научных и других методов в археологических исследованиях, позволяет говорить о растущей популярности беспилотных технологий для проведения различных видов работ – от простой фотофиксации археологических памятников до решения сложных фотограмметрических задач (разработка трехмерных цифровых моделей, поиск новых объектов по материалам дешифрирования, определение границ памятников на основе мультиспектральной и лазерной съемки и др.).

Сегодня подтверждением данной тенденции являются конференции и съезды международного уровня, где рассматриваемая тематика становится все чаще предметом обсуждения: Археологический съезд 2017 г. (Барнаул – Белокуриха, 2–7 октября 2017 г.), Всероссийская конференция с международным участием «Естественно-научные методы в цифровой гуманитарной среде» (Пермь, 15–18 мая 2018 г.), Международная научная конференция «Аналитические методы и информационные технологии

---

\* <http://www.racurs.ru/?page=681>, <http://www.racurs.ru/?page=699>.

в исторических исследованиях: от оцифрованных данных к приращению знания» (Москва, МГУ, 19–21 октября 2018 г.) и др.\*

Отдельной строкой следует отметить международный проект Virtual Archaeology, возникший в ходе Первой международной конференции по Виртуальной археологии в Санкт-Петербурге в 2012 г.\*\* Его участники выявили необходимость создания электронного ресурса, содержащего информацию о целях, методах, устройствах и технологиях, используемых в виртуальной археологии, а также о конференциях и других важных событиях и публикациях. Партнерами данного проекта стали Государственный Эрмитаж, Некоммерческое партнерство «АДИТ» и др.

### ***Материалы и методы***

Целью наших исследований стала разработка и апробация технологии беспилотной съемки и дешифрирования археологических памятников на основе имеющейся материально-технической базы с учетом природно-географических условий территории.

Отдельной, но немаловажной задачей является ***разработка и апробация методики фотограмметрической обработки и дешифрирования получаемых при съемке материалов в разных спектральных диапазонах, практическая оценка их использования при поиске и картографировании памятников археологии.***

Беспилотная съемка представляет собой одно из наиболее активно развивающихся мультидисциплинарных направлений. С научной точки зрения она принадлежит к дистанционным методам, является прямым продолжением и следствием развития дистанционного зондирования. С практической точки зрения – это конгломерат робототехники, авиамоделирования, программирования, дистанционного зондирования, фотограмметрии, геодезии и картографии и других смежных научно-технических и естественно-научных направлений.

В классическом понимании дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) – получение информации о поверхности Земли и объектах на ней, атмосфере, океане, верхнем слое земной коры бесконтактными методами, при которых регистрирующий прибор удален от объекта исследований на значительное расстояние. Единой физической основой дистанционного зондирования является функциональная зависимость между зарегистрированными параметрами собственного или отраженного излучения объекта и его биогеофизическими характеристиками и пространственным положением [Книжников, 2011].

Для археологических исследований важно учитывать сущность и содержание решаемых задач с использованием методов и технологий ДЗ и отнесение этих задач к одному из двух направлений: 1) естественно-научному, 2) инженерно-техническому. Такое подразделение наблюдается в развитии научных подходов и формировании новых концепций междисциплинарных исследований в археологии, основанных на применении специальной приборной базы (например, в использовании регистрирующих устройств для сканирования поверхностного слоя и нижних горизонтов грунта при археологической разведке и т.д.).

Суть первого подхода сводится к получению новых исторических знаний об исследуемых объектах как на этапе дораскопчных исследований, так и на более позд-

---

\* <http://konf.asu.ru/archeo>, <http://dhconf.ru/book/>, <http://www.hist.msu.ru/Labs/HisLab/News/programma>.

\*\* <http://virtualarchaeology.ru/news/index.php?lang=ru>.

них этапах, т.е. в процессе раскопок. К последним относятся: съемка культурных слоев, фото- и видеофиксация артефактов, панорамная и трехмерная съемка кадровыми фотоаппаратами, лазерная съемка и др.

Второй – воплощает принципы и технологию аэрокосмических и геофизических методов. Согласно Ю.Ф. Книжникову и др. [2004, 2011] это нашло отражение в широко распространенных англоязычных терминах **remote sensing** и **remote sensing techniques**. Он более актуален для экспертизы и археологических изысканий, предусматривающих получение точных сведений о границах памятников, их состоянии, культурной принадлежности и ценности.

Оба направления находятся на подъеме и вызывают бурный интерес у потенциальных пользователей таких технологий в науке и на практике. Между тем акцентируем внимание именно на беспилотной съемке, **или съемке с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)**.

Как уже отмечалось выше, при планировании исследований с использованием БПЛА необходимо учитывать, что беспилотная съемка для археологии (кроме самой археологии) лежит в плоскости дистанционного зондирования, фотограмметрии, картографии и естественно-научных методов. Отсюда и область применения в археологических исследованиях беспилотной техники, а также возможности самой съемки также довольно разнообразны (табл.).

Типовая обобщенная схема использования беспилотной техники и различных видов съемок в археологических исследованиях

1. Рекогносцировка	2. Археологическая разведка	3. Полевые исследования
Обследование местности с предварительной природно-географической и культурно-исторической оценкой территории	1 Классическая съемка территории в дораскопочных исследованиях	<b>a</b> Одиночная, серийная и комплексная съемка
	2 Мультиспектральная, тепловизионная и лазерная съемка в дораскопочных исследованиях	<b>b</b> Мультиспектральная, тепловизионная и лазерная съемка в начале раскопок и в финальной фазе
	3 Предобработка, фотограмметрическая обработка, визуальное или полуавтоматическое дешифрирование	<b>c</b> Фотограмметрическая обработка и компьютерное дешифрирование отдельных объектов и территории изысканий
	4 Наземная инструментальная съемка (в том числе геофизическая), использование методов магнитометрии и электроразведки	<b>d</b> Соотнесение материалов воздушной съемки с данными геодезических съемок
Результаты (продукты)		
Снимки Квиклуки Цифровые модели рельефа (ЦМР)	Наборы данных – эталонов (образцов) для дешифрирования Результаты дешифрирования объектов археологии по материалам классической (видимый спектр) и многозональной (инфракрасный спектр) съемок Цифровые модели местности и высот археологического ландшафта Трехмерные векторные и растровые модели памятников Предварительно выделенные границы памятников (комплексов)	Результаты дешифрирования объектов археологии по материалам классической (видимый спектр) и многозональной (инфракрасный спектр) съемок Достоверно выделенные и нанесенные на карту границы памятников (комплексов) Археолого-геоинформационная система как инструмент визуализации и ретроспективного моделирования

На этапе рекогносцировки происходит обследование местности с целью установления природно-географических, геоморфологических и других условий местонахождения памятников, делаются попытки предварительного анализа возможного нахождения артефактов. Предпринимается увязка возможных закономерностей распределения археологических объектов с археологическим ландшафтом и климатическими условиями рассматриваемой (с позиции принадлежности памятников) эпохи. Кроме стандартных рекогносцировочных процедур на данном этапе возможно проведение подспутникового эксперимента – в случае использования материалов космической съемки, или сбор и описание образцов (состояние памятников и поверхностного слоя), используемых в качестве эталонов в дальнейших алгоритмах обучения как элемент компьютерного дешифрирования.

На этапе археологической разведки выполняется классическая (традиционная) съемка территории, характеризующаяся применением цифровых топографических аэрофото-съемочных камер или использованием бытовых и промышленных цифровых камер.

Среди цифровых камер, предназначенных для топографической аэрофотосъемки, можно выделить модели, производимые концерном Hexagon. В крупноформатном сегменте предлагаются камеры DMC II и ADS 80, позволяющие получать панхроматические и цветные изображения высокого разрешения с высокой геометрической точностью. ADS80 обладает возможностью получения стереопар изображений с оптимальным значением отношения базиса фотографирования к высоте съемки. DMC II (140, 230 или 250 Мп) дают возможность делать съемку для производства продуктов вплоть до 1:500.

В среднеформатном направлении продолжается развитие мультиспектральной среднеформатной кадровой камеры RCD-30 (60 Мп). Она эффективна для съемки линейных объектов, для проведения инженерных изысканий может быть интегрирована с лидарной системой Leica ALS. Адаптирована для работы с БПЛА, к примеру, Waran TC-1235.

Производитель камер Visionmar дополнил новой моделью суперкрупноформатную камеру A3 Edge. Данная модель обладает максимальным на сегодняшний день размером итогового кадра – 10200×80500 пикс. (820 Мп) и максимальной производительностью. Фокусное расстояние объективов (300 мм) позволяет проводить аэро-съемку с большой высоты, увеличивая тем самым площадь съемки.

В классе профессиональных камер также можно отметить многокамерную систему Quattro DigiCam от немецкого производителя IGI. В течение пары часов система может быть перенастроена для наклонной съемки: Quattro DigiCam Oblique. Доступны и другие конфигурации на основе DigiCam-H60: Dual (118 Мп, 2 объектива в надир), Triple (175 Мп, 3 объектива в надир) и пятикамерная система Penta DigiCam (1 объектив в надир и 4 наклонных).

В сегменте недорогих среднеформатных камер, разработанных для выполнения бюджетных съемочных проектов без участия дополнительного персонала (только пилот), успешно используется съемочная система DSS – изначально разработка компании Arplanix Corp., сегодня известна под маркой Trimble.

Из тенденций на рынке цифровых камер для аэросъемки наблюдается: увеличение объемов бортовой памяти, переход на накопители типа SSD. Во всех моделях реализованы возможности смены накопителя в полете и просмотра данных в полете, развивается модульный подход к конфигурации системы и т.п.\*

---

\* <http://www.racurs.ru/?page=754>.

При комплексном использовании съемки с БПЛА, предусматривающей составление цифровых планов местности в районе археологических изысканий, особенно при мониторинге состояния и оценки аварийности археологических памятников, обычная съемка (или аэрофотосъемка) комбинируется с материалами геофизических исследований, а также тепловой и мультиспектральной съемкой. Аналогичный подход был апробирован коллегами – А.И. Назмутдиновой, В.Н. Милич, И.В. Журбиным [2017] при исследовании группы средневековых финно-угорских памятников в верхнем и среднем течении р. Чепцы (северная часть Удмуртской Республики).

В качестве эталонной карты был использован фрагмент изображения, полученного в результате геофизических исследований той же территории. Далее выполнялась мультиспектральная съемка и комплекс работ, обеспечивающий получение необходимых данных для построения цифровой модели рельефа. Для классификации материалов мультиспектральной съемки авторами предложено использовать вейвлет-функцию (вейвлет Шеннона – Котельникова), при этом система признаков сформирована из средних значений и стандартных отклонений, рассчитанных по изображениям, полученным в результате двумерного дискретного вейвлет-преобразования (ДВП) [Назмутдинова, Милич, 2015].

На обработанном БИК-изображении темные участки показали области с большей мощностью гумусированного слоя, и эти области соответствуют красным участкам на изображении данных электроразведки (рис. 1, слева). Эллипсами на рис. 1 околнурены две ярко выраженные характерные области гумусированного слоя на данных электроразведки и данных ДЗЗ. Сопоставление формы и размеров полученных областей показали высокую степень соответствия значений индикатора и геофизических данных. Визуальное сопоставление полученного изображения с эталонным изображением, а также полученный коэффициент корреляции 0,60 позволили авторам говорить о том, что мультиспектральные данные, получаемые с БПЛА, могут служить эффективным инструментом в задачах распознавания областей с характерными свойствами (например, территорий со значительной мощностью гумусированного слоя) [Назмутдинова, Милич, Журбин, 2017].

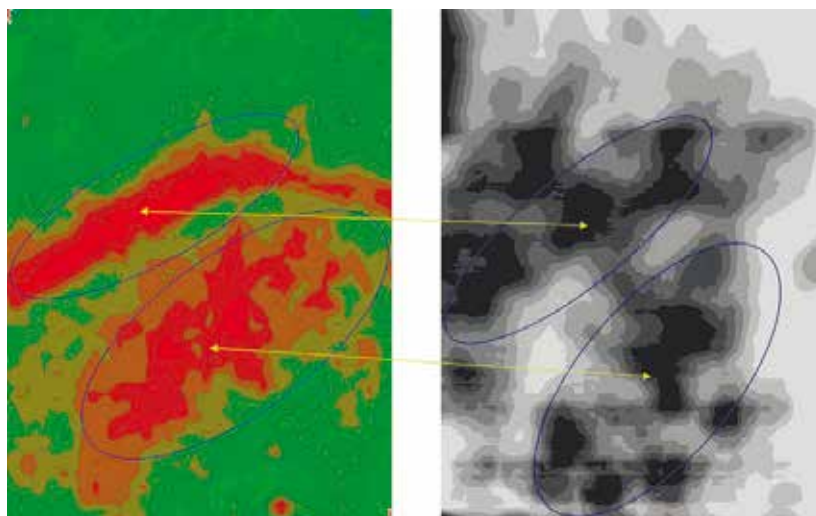


Рис. 1. Карты областей с характерными свойствами, полученные по данным электроразведки (слева) и мультиспектральным данным ДЗЗ (справа)

Для нашего эксперимента характерны несколько другие условия:

- 1) применение полубытовых/полупрофессиональных камер для фото- и аэросъемки;
- 2) использование в качестве носителя полезной нагрузки коптера серийного образца;
- 3) наличие топографических планов и материалов инструментальных съемок прошлых лет, что обеспечивает точную привязку отснятых данных и при необходимости позволяет сделать трансформирование снимков;
- 4) выполнение съемки фактически на этапе постполевых исследований, т.е. значительно позже самих раскопок.

Уточним некоторые детали алгоритма работы и характеристики оборудования. Как уже отмечалось выше, DJI Inspire-1 – квадрокоптер из серии беспилотных летательных аппаратов от китайской компании DJI Innovations. Одна из особенностей Inspire-1 – камера, расположенная под корпусом на моторизованном шарнире, который может вращаться на 360°. Съемка камерой может выполняться в формате 4К, что соответствует разрешению 3840×2160 пикселей. Камера оснащена 12-мегапиксельным CMOS-сенсором от Sony, диафрагма f/2.8. Объект имеет корректор оптических искажений и UV-фильтр, угол обзора составляет 94°. Диапазон светочувствительности ISO – от 100 до 3200, битрейт видео достигает 60 Мбит/с.

Начальная стадия работы с комплексом предполагает проверку оборудования, настройку программы управления полетом и калибровку. Проверка оборудования заключается в визуальном осмотре и обычной (ручной) проверке главных узлов и креплений дрона и камеры. Далее следует установка программного обеспечения на подходящий для этих целей гаджет с поддержкой ОС Android или Ios. Для этих целей мы использовали программу от компании DJI – Go Pro. Интерфейс программы позволяет полностью контролировать состояние устройства, батареи, камеры и оценить его готовность к полету.

После проведения калибровки следует настроить камеру в зависимости от освещения – и можно стартовать. При тестовых полетах проверяются возможности системы пространственного ориентирования, проходят испытания режимы автопилота: взлет-посадка, посадка на заданную метку, возврат на базу и др. Для составления полетного задания используется программы Ground Station Pro, Pix4D, MapPilot и др. Перечисленные программы позволяют задавать необходимые параметры, учет которых важен для дешифрирования и составления по материалам съемки цифровых моделей местности. Принципиальное отличие способов съемки под ручным и автоматическим управлением состоит в соблюдении заданных (оптимальных) параметров: высоты фотографирования; значений продольного и поперечного перекрытия; базиса фотографирования; расстояний между маршрутами; интервала фотографирования; числа маршрутов на съемочных участках и др. При ручном управлении выполнение всех заданных условий съемки весьма затруднительно, поэтому важное значение имеет возможность составлять полетное задание для автопилота. Все указанные выше программы позволяют корректно составлять полетное задание с учетом снимаемой площади и времени полета.

### ***Результаты и анализ***

Исходные съемочные материалы получены с помощью аппарата DJI Inspire-1, при этом была апробирована технология съемки с помощью программирования полетного задания с перекрытием снимков: продольное – не менее 20%, поперечное – не менее 80%. Реализация полетных заданий и контроль съемки производились с помощью программы Pix4D Capture.

Для получения продуктов фотограмметрической обработки в виде ортофотопланов и 3D-моделей археологических памятников мы использовали программу Agisoft PhotoScan (отечественная разработка, компания «Геоскан», г. Санкт-Петербург). Программа предназначена для реконструкции 3D-моделей по материалам фотосъемки с любых аппаратов и камер. Для моделей с заданным масштабом Agisoft PhotoScan позволяет измерять расстояния и рассчитывать площадь поверхности и объем. Масштабирование модели производится на основании предварительных измерений в пределах реконструируемой сцены. Наиболее востребованная задача, решаемая при помощи программы PhotoScan, – восстановление текстурированных 3D-моделей объектов.

Общий алгоритм работы включает несколько этапов:

1. Определение параметров внешнего и внутреннего ориентирования камер. На данном этапе программа находит общие точки фотографий и по ним определяет параметры камер: положение, ориентацию, внутреннюю геометрию (фокусное расстояние, параметры дисторсии и т.п.). Результатом предварительной обработки является разреженное облако общих точек в 3D-пространстве модели и данные о положении и ориентации камер. Полученное облако не используется на дальнейших стадиях обработки и служит только для визуальной оценки качества выравнивания фотографий. Данные о положении и ориентации камер используются на следующих стадиях обработки.

2. На втором этапе PhotoScan выполняет построение плотного облака точек на основании рассчитанных на первом этапе обработки положений камер и используемых фотографий. Перед переходом на следующий этап создания 3D-модели или перед экспортом модели плотное облако точек может быть отредактировано и классифицировано.

3. На третьем этапе PhotoScan строит трехмерную полигональную модель, описывающую форму объекта на основе плотного облака точек. Возможно использование двух основных алгоритмов: 1) карта высот – для условно плоских поверхностей; 2) произвольный – для любых типов поверхностей. Доступны также инструменты редактирования восстановленной модели, позволяющие оптимизировать модель.

Общий цикл обработки изображений с помощью PhotoScan можно представить в следующем виде:

Загрузка изображений в проект → Монтаж и удаление ненужных кадров → Выравнивание фотографий → Построение плотного облака точек → Построение трехмерной полигональной модели → Создание текстуры объекта → Построение тайловой модели → Построение цифровой модели местности → Построение ортофотоплана → Экспорт результатов.

В качестве полигона для апробации данного подхода был использован комплекс памятников около с. Сростки Алтайского края. Здесь расположены два объекта археологического наследия, отвечающие необходимым требованиям для проведения съемки. Первый – это городище Пикет, оно расположено на юго-восточной окраине с. Сростки Бийского района Алтайского края. Объект занимает площадку на правой береговой террасе р. Катунь высотой до 50 м, на западном мысовом выступе горы Пикет, и с трех сторон ограничен крутым склоном. Склон мыса, на котором расположено городище, имеет выпуклую форму: верхняя часть более пологая, нижняя – более крутая. Поверхностные отложения представлены покровными лессовидными суглинками. Площадь памятника составляет до 1,5 га. Городище состоит из 86 жилищных западин размера-



ми от 4×5 до 13×14 м, глубиной 0,4–0,8 м и имеет четко выраженную, архитектурно организованную застройку. С напольной стороны его огибает ров шириной на отдельных участках до 7 м и глубиной до 1,3 м. Жилищные западины располагаются вдоль мыса по направлению запад – восток и концентрируются в центральной части памятника. Археологические исследования, проведенные Алтайским государственным университетом, показали, что памятник датируется переходным временем от бронзы к железу [Папин, Редников, Федорук, Фролов, 2017]. Второй – курганный комплекс Сростки-I, в настоящее время датировка исследованных в разное время объектов указанного комплекса определена 2-й половиной IX – 1-й половиной X в. н.э. Курганный могильник Сростки-I – один из крупных раннесредневековых некрополей на юге Западной Сибири. Памятник находится на восточной окраине одноименного села, в Бийском районе Алтайского края. Его объекты располагаются на южном покатом склоне горы Пикет, на правом берегу Катуня. Исследования археологического комплекса осуществлялись в 1925 и 1930 гг. М.Д. Копытовым, М.Н. Комаровой и С.М. Сергеевым. В общей сложности тогда были раскопаны 56 курганов, но на них вскрывались лишь центральные участки в виде «колодцев», в последние годы раскапывался экспедицией Алтайского университета [Тишкин, Горбунов, Серегин, 2018].

По результатам проведения полевых работ были построены 3D-модели археологических памятников, а также ортофотопланы. Высокое качество изображения позволяет провести пространственный анализ отдельных объектов на городище и курганном могильнике и выявить особенности архитектурно-планировочных решений (рис. 2, 3). Проведение полевого эксперимента позволило сделать ряд методических выводов.

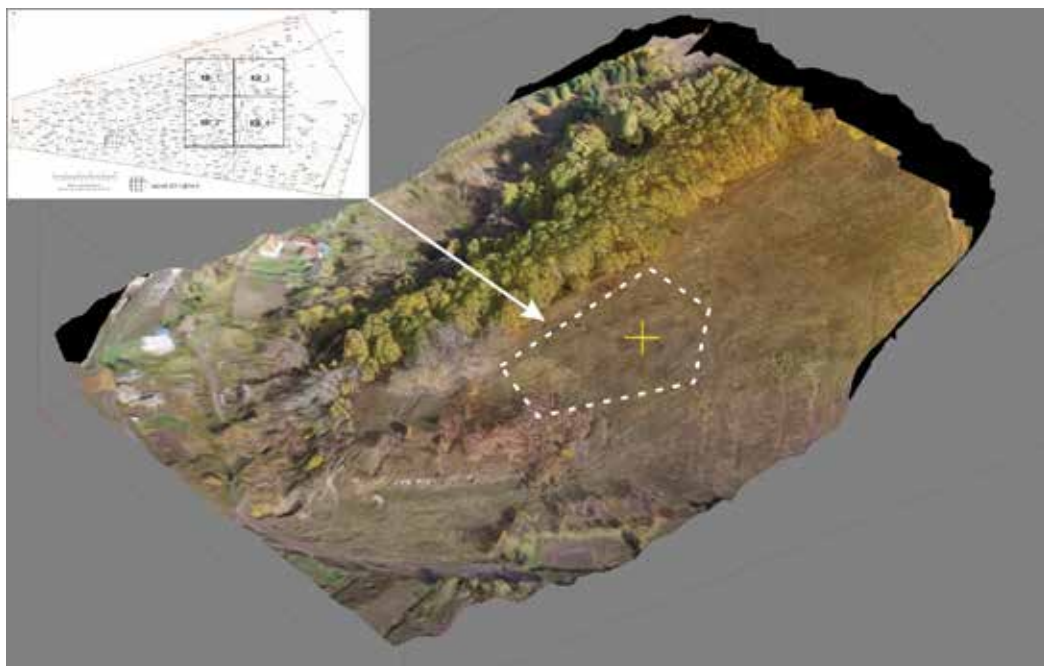


Рис. 2. Трехмерная модель городища Пикет с планом раскопа 2011–2014 гг. (построена авторами по материалам съемки, август 2018 г.)

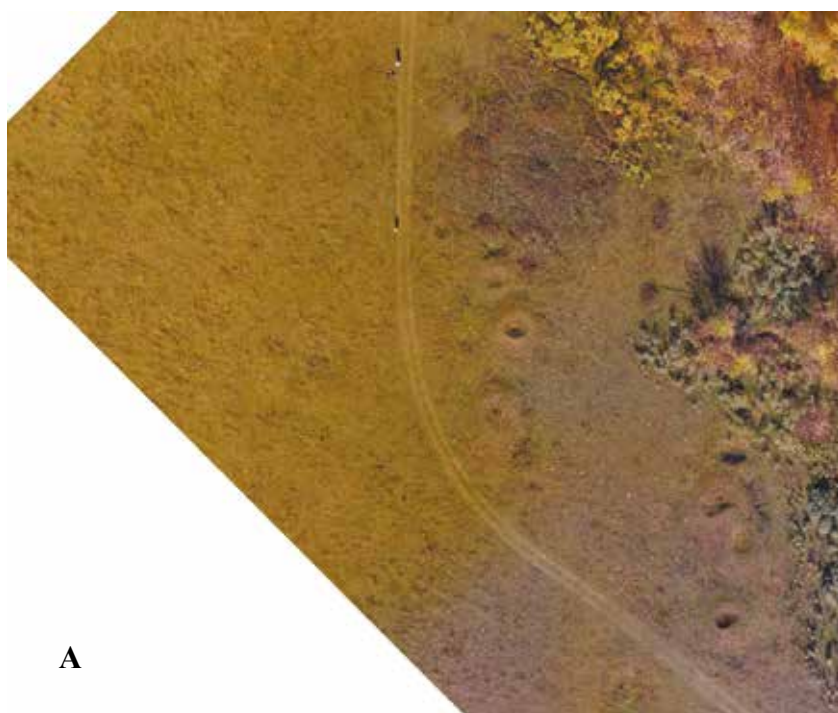
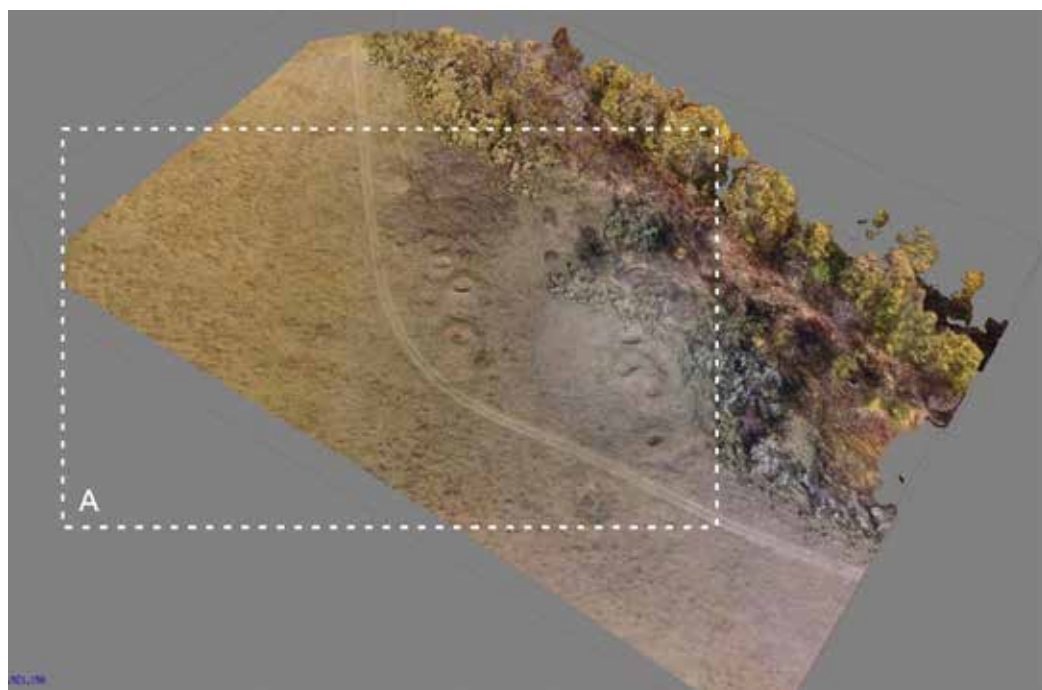


Рис. 3. Трехмерная модель могильника Сrostки-I. Курганная группа с фрагментом ортофотоплана (построена авторами по материалам съемки, август 2018 г.)

1. Технология фотограмметрической обработки в купе с геоинформационным и картографическим методами позволяет получать электронные продукты (3D-модели, ортофотопланы, цифровые модели рельефа и др.) с высоким качеством и возможностями для дешифровки исследуемых объектов. Главное преимущество в сравнении с космической съемкой заключается в оперативности получения и обработки данных и сравнительно низкой стоимостью затрат.

2. На основе базовых продуктов обработки существует возможность построения и картографической визуализации производных моделей – таких как построение системы горизонталей с заданным шагом, классификация полученных мозаик с возможностями редактирования классов (к примеру, удаление растительности и восстановление «чистого рельефа») и другие операции. Это открывает новые возможности для поиска и изучения морфологических характеристик памятников дистанционными методами на этапе предварительных обследований.

3. Полученные в результате апробации материалы показывают огромный потенциал для дешифрирования объектов разных категорий. В частности высокое разрешение плановых и трехмерных моделей позволяет использовать практически все возможные демаскирующие свойства археологических объектов и применять их как в алгоритмах с обучением (например, в случае построения нейронных сетей с заданными образцами), так и в простых классификациях.

4. Использование компактных летательных аппаратов коптерного и самолетного типа позволяет реализовывать программу исследований обширных территорий, особенно в труднодоступных и малоисследованных районах. Кроме того, для таких случаев целесообразно использование дополнительной полезной нагрузки в виде телевизоров и мультиспектральных камер, что в разы повысит возможности поиска и зондирования объектов через древесную и кустарниковую растительность.

### ***Выводы***

Дистанционное зондирование, проведенное в сочетании с инструментальной съемкой археологических памятников, а также геофизическими и другими методами разведки, является ценным источником информации об историко-культурных аспектах жизнедеятельности древнего человека. Следует заметить, что в современной археологии неотъемлемым атрибутом исследований стали цифровые карты, полученные в результате камеральной обработки наземной тахеометрической или теодолитной съемок или в результате дешифрирования материалов аэрофото- и космической съемки. Полученные в результате продукты, такие как топографические планы, ортофотопланы и ряд тематических продуктов, становятся удобным средством анализа археологического ландшафта и могут рассматриваться как исходные данные в ретроспективном моделировании. К ним относятся природно-климатические модели; модели древнего ландшафта с реконструированными коридорами связи (движения); модели расселения, характеризующие каркас системы расселения с горизонтальными связями; цифровые, в том числе трехмерные ГИС-модели памятников и территории, на которых они расположены и др.

Вместе с тем использование дистанционных методов, в частности космической съемки, снизилось по финансовым и экономическим причинам, поскольку стоимость съемки зависит от стоимости доллара. Данный фактор, а также ряд других (медленное внедрение в изыскательную деятельность, отсутствие доступных технологических и методических решений, адаптированных для археологии, и т.д.) в некоторой степени

тормозят процесс внедрения технологии цифрового картографирования и дистанционного зондирования в массовую практику.

В частности среди проблем можно отметить, что отсутствуют методики проведения сплошных, но при этом комплексных археологических исследований, включающих элементы GPS/Глонасс-картографирования, решение специализированных задач с помощью беспилотной или космической съемки. Недостаточно часто и недостаточно широко применяется аппарат математико-картографического моделирования как самих археологических памятников, так и природно-географических условий периода их создания. Данная ситуация обусловлена с одной стороны недостаточным количеством разработанных и адаптированных для отечественных исследователей технологий, с другой – недостаточно развитой системой оперативного получения материалов съемки с высоким разрешением (не менее 1 м) для использования в археологических изысканиях.

Учитывая вышеизложенное, считаем целесообразным предложить в качестве альтернативы космическим и традиционным аэрометодам использование беспилотных технологий, в частности коптеров профессионального (с точки зрения возможностей и качества фото- и видеосъемки) класса\*. Методы дистанционного зондирования в сочетании с ГИС-технологиями являются существенным обогащением традиционных археологических исследований, они углубляют анализ и интерпретацию находок наряду с факторами размещения самих памятников, делают выводы более объективными и доказательными.

Между тем среди тех примеров использования БПЛА, которые имеют место в отечественной и зарубежной археологии, наблюдается тенденция перехода от простой съемки, по сути, фотографирования раскопов, к стереосъемке и мультиспектральной съемке с использованием полезной нагрузки (профессиональных камер).

Таким образом, докупив дополнительные модули/оборудование, мы в значительной степени расширяем сферу применения БПЛА (в сравнении с классической или аэрофотосъемкой) и получаем при этом «свободную» технологию и источники обновления пространственных данных. Последний фактор особенно важен для неучтенных и аварийных памятников, которые требуют разработки специальных мер для их сохранения.

Представленные в статье технология и алгоритм работы с БПЛА отражены в типовой обобщенной схеме (см. табл.), которая содержит несколько уровней использования беспилотной техники (квадрокоптера): 1 – уровень рекогносцировки (предварительного анализа), 2 – археологической разведки (более тщательного анализа, совмещающего материалы разведки и съемки), 3 – исследовательский уровень (интерпретация полученных данных, в т.ч. на основе материалов съемки с дрона).

Отдельным вопросом является проработка возможностей использования мультиспектральной камеры Parrot Sequoia. Ее уникальность заключается в сочетании цены, возможностей и качества получаемых при съемке данных. Камера оснащена четырьмя монохромными сенсорами (включая инфракрасный), а также отдельно – RGB сенсор (rolling shutter). Встроенный Wi-Fi интерфейс подключается удаленным способом с помощью любого современного устройства. Ближайший аналог, часто предлагаемый как альтернатива, – многофункциональная камера Sony A 5000 NIR. Производителем заявлено, что это ИК-фотоаппарат для мультиспектральной съемки содержит матрицу 20.4 Мп APS-C, характеризуется кроп-фактором 1.5, содержит шторно-щелевой затвор

---

\* Здесь мы имеем в виду качество художественной съемки, не оценивая при этом модель искажений (ошибок), так как камера изначально не относится к классу фотограмметрических.

с регистрируемым диапазоном 400–1000 нм, есть синхронизация с GPS оборудованием. Однако принципиальным отличием этой камеры является съемка только посредством одного объектива, предполагающая очередность смены светофильтров, что, по сути, не отвечает требованиям мультиспектральной съемки\*.

В настоящий момент производятся тестирование и отладочные работы, предусматривающие мультиспектральную съемку камерой Parrot Sequoia. В частности решаются две принципиальные задачи: 1) съемка должна выполняться в режиме синхронизации с внутренней (собственной) камерой БПЛА DJI Inspire-1, что обеспечивает совмещение данных видимого диапазона высокого разрешения с мультиспектральными данными и позволяет сохранять привязку кадров; 2) встраивание в систему управления коптером (по сути, в бортовой компьютер) модуля обратной связи и его программирование для передачи изображения на планшет/компьютер. Это обеспечит составление и реализацию полетного задания, исключающего наличие пустых зон и высокую степень перекрытия снимков, аналогично аэрофотосъемке.

### **Библиографический список**

Аэрокосмические методы географических исследований : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Ю.Ф. Книжников, В.И. Кравцова, О.В. Тутубалина. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Издательский центр «Академия», 2011. 416 с.

Волгушева Н.Э., Казаков Э.Э., Мазуркевич А.Н. Обзор возможностей применения фотограмметрического метода в современных археологических изысканиях // Третья Международная конференция «Археология и геоинформатика» (24–26 мая 2017 г.) : тез. докл. М. : ИА РАН, 2017. С. 12.

Журбин И.В., Милич В.Н., Петров Р.П., Воробьева Н.Г. Комплексное применение низковысотной аэрофотосъемки и геофизических методов в археологических исследованиях // Инженерная физика. 2016. №12. С. 74–80.

Назмутдинова А.И., Милич В.Н. Исследование признаков, построенных на основе вейвлетов, при определении характеристик лесной растительности по результатам космической съемки // Вестн. Ижевского гос. техн. ун-та. 2015. Т. 16, №1. С. 94–95.

Назмутдинова А.И., Милич В.Н., Журбин И.В. Метод и признаки выявления культурного слоя археологических памятников по данным многозональной съемки // Геоинформатика. 2017. №1. С. 52–58.

Папин Д.В., Редников А.А., Федорук А.С., Фролов Я.В. Городище Пикет – памятник переходного времени от бронзового века к железному Барнаульско-Бийского междуречья // Теория и практика археологических исследований. 2017. №1 (17). С. 13–35.

Приходько Н.В., Сизов О.С., Илященко В.А., Зимица О.Ю. Опыт использования БПЛА (гексакоптер) для построения высокдетальных моделей рельефа в целях археологических исследований // Третья Международная конференция «Археология и геоинформатика» (24–26 мая 2017 г.) : тез. докл. М. : ИА РАН, 2017. С. 12.

Тишкин А.А., Горбунов В.В., Серегин Н.Н. Радиоуглеродное датирование материалов из курганов раннесредневекового памятника Сростки-I // Сохранение и изучение культурного наследия Алтайского края. 2018. №24. С. 165–173.

### **References**

Aehrokosmicheskie metody geograficheskikh issledovaniy : uchebnik dlya stud. uchrezhdenij vyssh. prof. obrazovaniya [Aerospace Methods of Geographical Research: a Textbook for Students of Institutions of Higher. Prof. Education] / Yu.F. Knizhnikov, V.I. Kravcova, O.V. Tutubalina. 2-e izd., pererab. i dop. M. : Izdatel'skij centr «Akademiya», 2011. 416 p.

Volgusheva N.Eh., Kazakov Eh.Eh., Mazurkevich A.N. Obzor vozmozhnostej primeneniya fotoqrammetricheskogo metoda v sovremennyh arheologicheskikh izyskaniyah [Overview of the Possibilities

---

\* [https://bespilotnik.org/info/articles/2017/obzor\\_kamery\\_parrot\\_sequoia\\_i\\_eye\\_vozmozhnostey/](https://bespilotnik.org/info/articles/2017/obzor_kamery_parrot_sequoia_i_eye_vozmozhnostey/);  
<https://bespilotnik.org/catalog/bpla/geoscan/pl-geoscan/405/>.

of Using the Photogrammetric Method in Modern Archaeological Research]. *Tret'ya Mezhdunarodnaya konferenciya «Arheologiya i geoinformatika» (24–26 maya 2017 g.)* : tez. Dokl. [Third International Conference “Archaeology and Geoinformatics” (May, 24–26, 2017 g.) Theses]. M. : IA RAN, 2017. Pp. 12.

Zhurbin I.V., Milich V.N., Petrov R.P., Vorob'eva N.G. *Kompleksnoe primenenie nizkovysojnoj aehrofotos'emki i geofizicheskikh metodov v arheologicheskikh issledovaniyah* [Integrated Application of Low-Altitude Aerial Photography and Geophysical Methods in Archaeological Research]. *Inzhenernaya fizika* [Engineering Physics]. 2016. №12. Pp. 74–80.

Nazmutdinova A.I., Milich V.N. *Issledovanie priznakov, postroennyh na osnove vejvletov, pri opredelenii harakteristik lesnoj rastitel'nosti po rezul'tatam kosmicheskoy s'emki* [The Study of Features Built on the Basis of Wavelets in Determining the Characteristics of Forest Vegetation Based on the Results of Satellite Imagery]. *Vestn. Izhevskogo gos. tekhn. un-ta* [Vestnik of Izhevsk State Technical University]. 2015. Vol. 16, №1. Pp. 94–95.

Nazmutdinova A.I., Milich V.N., Zhurbin I.V. *Metod i priznaki vyyavleniya kul'turnogo sloya arheologicheskikh pamyatnikov po dannym mnogozonal'noj s'emki* [Method and Signs of Revealing the Cultural Layer of Archaeological Site According to Multi-Zone Imaging]. *Geoinformatika* [Geoinformatics]. 2017. №1. Pp. 52–58.

Papin D.V., Rednikov A.A., Fedoruk A.S., Frolov Ya.V. *Gorodishche Piket – pamyatnik perekhodnogo vremeni ot bronzovogo veka k zheleznomu Barnaul'sko-Bijskogo mezhdurech'ya* [The Piket Settlement – a Site of Transitional Time from the Bronze Age to the Iron in the Barnaul-Biysk Interfluve]. *Teoriya i praktika arheologicheskikh issledovaniy* [Theory and Practice of Archaeological Research]. 2017. №1 (17). Pp. 13–35.

Prihod'ko N.V., Sizov O.S., Ilyashchenko V.A., Zimina O.Yu. *Opyt ispol'zovaniya BPLA (geksakopter) dlya postroeniya vysokodetal'nyh modelej rel'efa v celyah arheologicheskikh issledovaniy* [Experience of Using UAVs (hexacopter) for Building Highly Detailed Relief Models for Archaeological Research]. *Tret'ya Mezhdunarodnaya konferenciya «Arheologiya i geoinformatika» (24–26 maya 2017 g.)*: tez. dokl. [Third International Conference “Archaeology and Geoinformatics” (May 24–26, 2017): Theses]. M. : IA RAN, 2017. P. 12.

Tishkin A.A., Gorbunov V.V., Seregin N.N. *Radiouglerodnoe datirovanie materialov iz kurganov ranresnednevekovogo pamyatnika Srostki-I* [Radiocarbon Dating of Materials from the Mounds of the Early Medieval Site Srostki-I]. *Sohranenie i izuchenie kul'turnogo naslediya Altajskogo kraya* [Preservation and Study of the Cultural Heritage of the Altai Territory]. 2018. №24. Pp. 165–173.

**E.P. Krupochkin<sup>1</sup>, D.V. Papin<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Altai State University, Barnaul, Russia;*

*<sup>2</sup>Institute of Archaeology and Ethnography of the Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

## **ABOUT THE PERSPECTIVES OF USING UNMANNED SHOOTING IN ARCHAEOLOGICAL RESEARCH**

Despite the surge of interest in archaeology and the problems of preserving the cultural and historical heritage of our country, we should note the low level of elaboration of the conceptual basis of archaeological cartography, lack of understanding of the subject, place and role of the cartographic method in archaeological and interdisciplinary research. Taking into account the significant problems in the field of cataloging and archaeological mapping at the country level as a whole, and at the level of individual regions, the methods and technologies proposed in the article will speed up the solution of such urgent tasks for the country as the formation of a single database (registry) of archaeological sites, the development of detailed archaeological maps for official use and electronic maps for all interested persons, issue of thematic atlases, accumulation of technologies based on Web-GIS technologies and providing available data for the reconstruction of ancient and medieval communities etc.

The technology of using unmanned aerial photography systems, adapted for the tasks of searching, mapping, and 3D modeling, was tested on the archaeological complex in the Srostki village, in the Piket settlement and the Srostki-I burial ground. The results obtained indicate the great potential of the proposed methods.

*Key words:* interdisciplinary methods in archaeology, archaeological sites, archaeological mapping, web-programming and database technology, geo-informatics and cartography methods in archaeology, unmanned systems and aerial photography.