

## СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ФИКСАЦИИ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

С.Д. Прокопец, Д.М. Белов

Появление в инструментарии археологов современного высокотехнологичного оборудования и специализированного программного обеспечения, расширяющего возможности визуализации объектов исследования, ведёт к появлению новых приёмов и методик сбора информации для всестороннего изучения памятника археологии, её обработки и сохранения полученных данных для дальнейшей работы. В статье уделяется внимание истории использования фотографии в археологии, появлению и применению метода фотограмметрии в России. Представлено несколько вариантов использования современной техники, в том числе современного фотоаппарата, беспилотных летательных аппаратов

(БПЛА), тахеометра и др. для фиксации археологических объектов. Приведены результаты собственного опыта создания ортофотопланов, дается оценка программного обеспечения для их обработки, предлагаются практические рекомендации по его применению. Рассматриваются положительные и отрицательные стороны применения беспилотных летательных аппаратов в археологии. Уделяется внимание применению метода фотограмметрии археологических памятников при помощи таких аппаратов. Предлагаются практические советы для начинающих пользователей.

*Ключевые слова:* фотография в археологии, фотограмметрия, беспилотные летательные аппараты.

### История фотографии в археологии

Изучение культурного слоя на археологических памятниках неизбежно приводит к его уничтожению. В связи с этим археологическая наука постоянно совершенствует качество методик документации хода полевых работ. Появляющиеся технические новинки, которые каким-нибудь образом можно использовать в работе археолога, сразу попадают в зону его пристального внимания. Примером может послужить фотодело. Возникнув в начале XIX в., оно практически сразу стало применяться археологами. В 1850-х гг. появляются первые работы русских фотографов в области археологии, этнографии и географии (Длужневская, 2008: 6). Осознавая важность фотографии, Императорская Археологическая Комиссия выдавала некоторым фотографам Открытые листы для беспрепятственной съёмки памятников (Длужневская, 2014: 11).

После Первой мировой войны в археологическую науку пришла аэрофотосъёмка. Известны и более ранние работы фотографов, на которых запечатлены древности с высоты полёта воздушного шара. История археологической аэрофотосъёмки начинается с фотографий Джакомо Бони,

который на протяжении нескольких лет фотографировал остатки римского форума с высоты 300-500 м. Первые фото датируются 1899 г. (Коробов, 2016: 292).

В СССР археологическая аэрофотосъемка начала широко применяться после Великой Отечественной войны, хотя такие работы проводились и в 1930-х гг. В 1934 г. А.В. Павловым публикуются первые методические указания по археологической аэрофотосъёмке (Коробов, 2016: 292).

В 40-х гг. XX в. полевую археологию пришла фотограмметрия (photogrammetry) – научно-техническая дисциплина, занимающаяся определением размеров, формы и пространственного положения объектов по результатам измерения их фотографических изображений (Баранов и др., 1999; Сингатулин, 2013).

Сама фотограмметрия как дисциплина появляется в 30-50-е гг. (Чибунчев и др., 2016), но первые удачные попытки использования топофотографии, в том числе и в археологии предпринимались исследователями ещё в самом начале XX в. (Сингатулин, 2013).

С 90-х гг. XX в. начинается эпоха цифровой фотограмметрии, которая тут же нашла применение в археологии (Сингатулин, 2013). При научных организациях начинают создаваться специализированные группы, как например Группа археолого-географических систем (АГИС) при отделе охранных раскопок Института археологии РАН. В задачи этой группы входит практическое применение современных технологий (Коробов, 2004; Сингатулин, 2013), в том числе и возможностей фотограмметрии.

В настоящее время цифровая техника, а также беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали относительно доступными и многие археологические отряды уже имеют их в своём арсенале.

Авторы данной статьи хотели бы поделиться собственным опытом использования такой техники на археологических памятниках Приморского края.

#### Создание ортофотоплана раскопа при помощи калибровки по точкам с известными координатами

Одним из способов повышения точности и сокращения времени на зарисовку послойных планов при работе на раскопе стало применение методов фотограмметрии. Данные, полученные при съёмке тахеометром, и фотоснимки в высоком разрешении позволяют создавать достаточно точный ортофотоплан поверхности раскопа для последующей отрисовки послойных планов в графическом редакторе.

Геодезической основой для создания ортофотоплана в данном случае послужит тахеометрическая съёмка в процессе работы на памятнике. Количество точек, обозначающих определённые объекты съёмки, не ограничено и зависит от количества деталей, которые впоследствии будут отображены на плане при отрисовке. Съёмка должна содержать точки пересечения сетки раскопа, точки положения и нивелировок других объектов по необходимости и точки-маркеры, которые будут впоследствии использоваться для привязки фотографии к топографической съёмке при создании ортофотоплана. Эти точки должны быть хорошо различимы на фотоснимке. В своей практике мы использовали плоские пластиковые фишки разных цветов, хорошо контрастирующие с поверхностью раскопа. Маркеры в раскопе располагаются произвольно в местах с разной вы-

сотой (табл. I: b). Их количество зависит от площади раскопа и сложности рельефа поверхности.

Особое внимание при создании фотоснимка поверхности раскопа следует уделять устранению искажений. Поскольку фотографирование

Таблица I

Примеры полевой фиксации



- а – съёмка раскопа при помощи телескопического монопода;
- б – съёмка тахеометром фишек-маркеров для создания ортофотоплана;
- с – съёмка раскопа при помощи БПЛА

раскопа производится со сравнительно небольшого расстояния, на правильность отображения объектов в раскопе будут влиять искажения как перспективные, так и фотообъектива. Следует учитывать, что искажения усиливаются в направлении от центра кадра к краям. Для создания качественного ортофотоплана желательно делать снимки объекта с максимально возможным расстоянием, не влияющего на детализацию. Требуется снимать поверхность раскопа по частям с хорошим перекрытием. Камера должна располагаться перпендикулярно поверхности на одинаковой высоте. Количество меток для совмещения фото- и тахеометрической съёмок должно быть достаточным для каждой отдельной фотографии. Снимки следует сохранять в RAW-формате, если имеется такая возможность. Он позволяет улучшить фотоснимок, а также устранить искажения объектива камеры и настроить правильную цветопередачу, что тоже важно при съёмке поверхности раскопа. Рекомендуется использование серой карты – метки серого цвета – для упрощения дальнейшей обработки фотографии в программе Adobe Camera RAW. При использовании RAW-формата не нужна оперативная настройка на месте таких позиций фотоаппарата как резкость, насыщенность, контрастность, экспозиция и т.д. Всё это можно скорректировать позже на компьютере без потери качества, что абсолютно невозможно сделать с файлами JPEG. Формат RAW часто называют цифровым негативом, т.к. после обработки его легко конвертировать в JPEG или TIFF любого качества, при этом сохраняя оригинал. Недостатком формата является его большой размер (примерно в 2-3 раза больше, чем аналогичный файл JPEG).

Также стоит помнить, что на информативность фотографии влияют и другие условия, такие как время суток, погода, контрастность теней, состояние поверхности объекта съёмки, наличие в раскопе посторонних предметов и т.д.

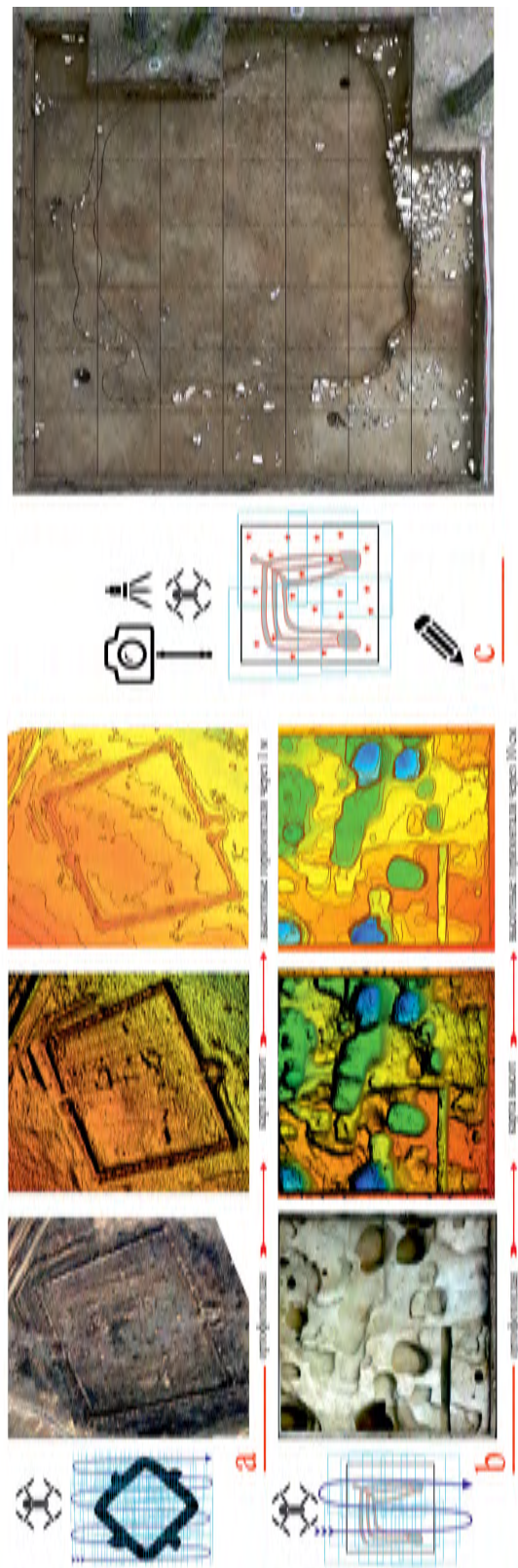
Фотосъёмку можно производить обычной камерой, закреплённой на приспособлении, позволяющем перемещать её над раскопом на определённой высоте. В своей практике мы использовали телескопический монопод высотой около 8 м (табл. I: а). Он удобен тем, что крепление камеры на нём имеет сервопривод для изменения угла расположения фотоаппарата.

Для обработки данных и создания ортофотоплана может использоваться программное обеспечение для фотограмметрии с возможностью добавления опорных точек, как, например, расширенная версия Agisoft Photoscan, а также программы для создания цифровых моделей местности с функцией наложения растровых изображений на трёхмерную поверхность, созданную на основе данных топосъёмки, к примеру, Global Mapper.

Следует отметить, что ортофотосъёмка и камеральная отрисовка планов не исключают полностью работы над планами в поле. По фотографии можно перерисовать только хорошо видимые объекты, но далеко не всегда хорошо различимы детали, например, такие как границы заплывов, пятна, цвета слоёв и т.д. Поэтому необходимо дополнять ортофотоплан черновыми зарисовками деталей поверхности с их описанием (состав, цвет и т.п.). Для дальнейшей отрисовки плана возможно использование дублированных снимков с прочерченными границами объектов после получения чистового варианта фотографий раскопа, как этого требует «Положение о проведении археологических раскопок, рекомендованное ОПИ РАН». Наш опыт показал, что при съёмке для создания ортофотоплана с

Таблица II

Примеры результатов камеральной обработки



а – фотограмметрия Майского городища (Ханкайский р-н, Приморский край);

б – фотограмметрия раскопа без тахеометрической привязки (Иволгинское городище, Республика Бурятия);

с – чертеж раскопа по ортофотоплану с тахеометрической привязкой (Водопадное-7, Партизанский р-н, Приморский край)

раскопа следует убрать все нити, обозначающие границы раскопа и его квадратов. При дальнейшем камеральном выпрямлении и склеивании снимков, эти нити сильно искажаются, а порой и «ломаются». Особенно это касается объектов и пластов раскопа, которые находятся на значительной глубине от дневной поверхности. В целом при создании ортоплана необходимость в этих нитях исчезает, так как раскоп привязан к координатам археологического памятника. Эти нити наносятся на план в векторной программе. Погрешность при такой обработке близится к нулю (табл. II: с).

#### Фотограмметрия раскопа при помощи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)

Алгоритм действий при съёмке БПЛА практически ничем не отличается от съёмок фотоаппаратом с телескопическим моноподом. Преимуществом такой съёмки, однако, является то, что её можно производить с любой высоты ортогонально раскопу (табл. I: с). Современные БПЛА оснащены мощными процессорами, точными системами навигации (GPS, ГЛОНАСС), многопиксельными камерами с хорошими стабилизаторами подвеса. Всё это позволяет делать качественные фотографии раскопа с различных ракурсов, а также производить серии фотоснимков для дальнейшего создания ортофотоплана и карты высот с возможностью построения высотных горизонталей (табл. II: b). Среди минусов такой съёмки стоит отметить зависимость от погодных условий (препятствуют или затрудняют работу сильный ветер, дождь, морось, низкие температуры и т.д.), постоянная нужда в заряде батареи (одного заряда хватает на 15-25 мин.), сложность при использовании в лесу (ветки, кусты, кроны деревьев, листва, стволы и т.д.). Кроме того, при использовании БПЛА вблизи установок, которые генерируют или принимают радиосигналы, часто пропадает его связь с пультом. «Экзотической» проблемой, с которой мы сталкивались при использовании БПЛА, являлись атаки на него со стороны хищных пернатых.

#### Съёмка натуральных фото «с высоты птичьего полёта»

Одним из преимуществ БПЛА является его применение при натурном фотографировании. Получение красивых пейзажных фотоснимков археологического памятника при непривычном ракурсе не оставит равнодушным никого, будь то исследователь или просто ценитель прекрасного. Эстетический уровень фотографий напрямую зависит от мастерства оператора и качества камеры. Современный рынок БПЛА предлагает широкий ассортимент продукции. Есть дешёвые модели с непритязательными камерами, которые не могут быть пригодны для проведения качественных съёмок. Есть дорогие профессиональные аппараты, которые дополнительно оснащаются столь же дорогой профессиональной фототехникой. В нашем случае вполне подойдут БПЛА в среднем ценовом диапазоне. Такие аппараты оснащены камерами с разрешением не менее 12 мегапикселей. Этого вполне хватает для натурной съёмки археологических памятников. Единственным условием для такой камеры является возможность сохранения полученного снимка в RAW-формате, который позволит в дальнейшем качественно обработать фотоснимок.

### Фотограмметрия археологического памятника при помощи БПЛА

Современное программное обеспечение вполне позволяет создавать различные 3D модели, используя вполне бюджетную технику. Для этого нужен БПЛА, а также компьютер с хорошей видеокартой, оперативной памятью достаточного объёма и предустановленным специализированным софтом.

В нашем случае используется БПЛА DJI Mavic PRO, который имеет камеру с высоким разрешением (до 12,7 мп), установленную на трёхосевой стабилизатор. Координация на местности осуществляется системой двухдиапазонного позиционирования спутников (GPS и GLONASS) и группой из 24 мощных специализированных вычислительных ядер.

Данные характеристики позволяют довольно точно позиционировать БПЛА на местности не только в линейных, но и угловых координатах.

Фото производится с высоты не более 50-100 м. Такого расстояния вполне хватает для детальной фотофиксации объекта. Делается серия снимков исследуемой местности в плановом режиме, т.е. камерой, направленной строго вниз.

Для управления БПЛА по умолчанию предлагается применение программы DJI GO, но гораздо удобнее применять такие программы как Altizure или Pix4D capture. Эти программы бесплатны и находятся в свободном доступе в Play Market при использовании оперативной системы Android. Основным преимуществом их является то, что условия съёмки можно задать заранее. В этих программах возможна установка таких параметров, как высота полёта, его скорость, наклон камеры, частота и качество снимков, размер перекрытия между фотопланами. Дополнительным достоинством этих программ является то, что можно задать виртуальную сеть и границы квадрата, по которым БПЛА будет перемещаться. Если у БПЛА при съёмке начинает садиться батарея, он возвращается на место старта («домой») и после замены аккумулятора продолжает съёмку с той же линии, на которой она была прервана.

Вся съёмка сохраняется в формате «\*.DNG», который является RAW-форматом, лицензированным компанией Adobe. В метаданных фото-снимка записываются координаты аппарата на момент съёмки, а также положение камеры, что в дальнейшем позволяет наложить отснятый план на географическую систему координат.

Полученные фото обрабатываются в программе Adobe Camera RAW, где помимо описанных выше опций RAW-формата можно убрать искажения оптики. Современные версии программы уже имеют в своих установках параметры учёта искажений оптики для конкретных моделей DJI. Обработанные фотографии сохраняются в TIF-формате. Этот формат практически не сжимает фото и сохраняет в своих свойствах координатную привязку.

Следующим шагом является обработка массива точек в программе Agisoft Photoscan, где серия отснятых фотографий объединяется в одну проекцию. Полученная ортосъёмка может быть загружена в ГИС-приложения (ARCGIS, Global Mapper и др.), и в дальнейшем с неё по необходимости можно извлекать координаты любой интересующей точки. Отдельно возможно создание 3D модели местности и наложение на неё высотных горизонталей (табл. II: а). Погрешность полученного резуль-



тата не выходит за рамки требований глазомерных и инструментальных съёмок археологических памятников и вполне сравнима с погрешностью портативных GPS-навигаторов.

Для дополнительной калибровки ортофотосъёмки в программе Agisoft Photoscan имеется функция калибровки по видимым объектам с известными координатами. При такой съёмке можно использовать специальные маркеры, которые будут видно с высоты БПЛА. Эти маркеры должны иметь координаты по трём осям. вполне подойдёт условная система координат с условным нулём. Обязательной предпосылкой является точность этой координатной сетки, т.к. любая ошибка может «порвать» её или исказит съёмку. Присвоить координаты можно при помощи тахеометра. Каждый снимок должен захватить минимум три маркера, но чем больше их попадет на фото, тем конечный результат будет точнее. Точки на снимках должны повторяться.

Описанные методы полевой фиксации апробированы непосредственно авторами статьи, во многом упростили и ускорили полевую часть работы на археологических объектах, поскольку оставшаяся часть теперь выполняется в кабинетных условиях.

### Литература

Баранов Ю.Б., Берлянт А. М., Капранов Е.Г., Кошкарёв А.В., Серапинас Б.Б., Филиппов Ю.А. 1999. Геоинформатика: толковый словарь основных терминов. Москва: ГИС-Ассоциация.

Длужневская Г.В. 2008. Историко-археологическое наследие Азиатской России в фотодокументах второй половины XIX — первой половины XX в. (по фондам Научного архива Института истории материальной культуры Российской Академии наук). Автореферат дисс. ...доктора ист.наук. СПб.

Длужневская Г.В. 2014. Археологические исследования в Европейской части России и на Кавказе в 1859–1919 гг. (по документам Научного архива Института истории материальной культуры РАН). СПб: ЛЕМА.

Коробов Д.С. 2016. Применение ГИС и данных дистанционного зондирова-

ния в археологии. Междисциплинарная интеграция в археологии (по материалам лекций для аспирантов и молодых сотрудников). М.: ИА РАН.

Сингатулин Р.А. 2013. Фотограмметрические технологии в археологии (краткий исторический очерк). Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. № 3. Ч. 1, 148-152.

Шуберт Х. 2016. 3Д-фотограмметрия с применением БПЛА в процессе археологического исследования. Вестник Омского университета. Серия «Исторические науки». № 4 (12), 124–127.

Чибуничев А.Г., Гук А.П. 2016. Фотограмметрия вчера, сегодня, завтра. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъёмка. №2, 1-7

## CONTEMPORARY IMAGE CAPTURING TECHNIQUES AS APPLIED IN ARCHAEOLOGICAL FIELD RESEARCH

S.D. Prokopets, D.M. Belov

For some time now, the research equipment for an archaeologist has been getting enriched with sophisticated hi-tech gadgetry and targeted software, what expands possibilities of visualizing archaeological data, provides novelty techniques and new approaches to collecting and storing the data for further reference. This article recounts some history behind photography in archaeological studies and the advent of photogrammetry in Russia. Next, the authors discuss several aspects of using sophisticated modern equipment, specifically



contemporary digital imaging devices, drones, and tacheometer for the purpose of capturing archaeological data. The authors share their own experience in creating orthophoto planes, knowledge about software usage prerequisites and practical tweaks. They also discuss pros and cons of using the drones in archaeology, specifically for photogrammetry of archaeological sites. Newbies and prospective users are supposed to be among the most interested.

*Key words:* Kondon, culture, conglomerate, unidentified assemblage, radio-carbon dating.

#### References

- Baranov Yu.B., Berlyant A.M., Kapralov E.G., Koshkarev A.V., Serapinas B.B., Filippov Yu.A. 1999. *Geoinformatika: tolkovyj slovar' osnovnyh terminov* [Geoinformation science: basic terminology vocabulary]. Moskva: GIS-Associaciya.
- Dluzhnevskaya G.V. 2008. *Istoriko-arheologicheskoe nasledie Aziatskoj Rossii v fotodokumentah vtoroj poloviny XIX — pervoj poloviny XX v. (po fondam Nauchnogo arhiva Instituta istorii material'noj kul'tury Rossijskoj Akademii nauk)*. Avtoreferat diss. ...doktora ist.nauk. [Historical and archaeological heritage of Asiatic Russia documented in photographs from second half of 19<sup>th</sup> to first half of 20<sup>th</sup> centuries (stored in the Scientific archives of Institute of material culture, Russian Academy of Sciences). In Abstract of Doctoral dissertation]. SPb.
- Dluzhnevskaya G.V. 2014. *Arheologicheskie issledovaniya v Evropejskoj chasti Rossii i na Kavkaze v 1859–1919 gg. (po dokumentam Nauchnogo arhiva Instituta istorii material'noj kul'tury RAN)*. [Archaeological research in European segment of Russia and Caucasus in 1859-1919 (based on documents from the Scientific archives at Institute of material culture history, RAS)]. SPb: LEMA.
- Korobov D.S. 2016. *Primenenie GIS i dannyh distancionnogo zondirovaniya v arheologii. Mezhdisciplinarnaya integraciya v arheologii (po materialam lekcij dlya aspirantov i molodyh sotrudnikov)*. [Applying the GIS and remote sensing data to archaeological research. In Interdisciplinary integration in archaeology (based on a lecture aimed at doctorate seekers and younger employees)]. M.: IA RAN.
- Singatulin R.A. 2013. *Fotogrammetricheskie tekhnologii v arheologii (kratkij istoricheskoj ocherk). Istoricheskie, filosofskie, politicheskie i yuridicheskie nauki, kul'turologiya i iskusstvovedenie. Voprosy teorii i praktiki. № 3*. [Photogrammetry techniques in archaeology (brief historical essay.) In Historical, philosophical, political and legal sciences, culturology and art history. Theory and practice. No. 3]. CH. 1, 148-152.
- Shubert H. 2016. *3D-fotogrammetriya s primeneniem BPLA v processe arheologicheskogo issledovaniya. Vestnik Omskogo universiteta. Seriya «Istoricheskie nauki». №4 (12), 124–127*. [Drone-assisted 3D photogrammetry in archaeological research. In The Omsk University Journal. Series "Historical sciences". No. 4(12), pp. 124-7].
- Chibunichev A.G., Guk A.P. 2016. *Fotogrammetriya vchera, segodnya, zavtra. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aehrofotos'yomka. №2, 1-7*. [Photogrammetry yesterday, today, and tomorrow. News from higher education institutions. Geodesy and aerial photography. No. 2, pp. 1-7].