

УДК [528.74:902/904]+629.7(571.151)
DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-2-56-64

СЪЕМКА АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ПРИМЕРЕ ГОРНОГО АЛТАЯ

Евгений Петрович Крупочкин

Алтайский государственный университет, 656049, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 61, кандидат географических наук, зав. кафедрой экономической географии и картографии, тел. (983)381-34-53, e-mail: krupochkin@mail.ru

Сергей Иванович Суханов

Алтайский государственный университет, 656049, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 61, кандидат технических наук, доцент, тел. (905)987-00-83, e-mail: sukhanov-s@yandex.ru

Дмитрий Алексеевич Воробьев

Алтайский государственный университет, 656049, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 61, аспирант, тел. (960)941-71-07, e-mail: vorobiev.921b@mail.ru

В статье описана методика определения границ археологических памятников с использованием GPS-съемки и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с последующей постановкой на кадастровый учет. Апробирована методика геопривязки и фотограмметрической обработки ортофотопланов с помощью системы опорных точек. Для проведения работ была выбрана цифровая фотограмметрическая программа Agisoft Metashape (компания Agisoft LLC, г. Санкт-Петербург), средствами которой был получен ортофотоплан с геопривязкой в системе координат МСК-04. Результатом работ стало построение топографических планов и определение границ археологических памятников в соответствии с «Методикой определения границ территорий объектов археологического наследия» рекомендованной к применению письмом Министерства культуры Российской Федерации от 27.01.2012 № 12-01-39/05-АБ.

Ключевые слова: ортофотоплан, топографический план, кадастровый учет, беспилотные летательные аппараты, пространственная точность, средняя квадратическая ошибка

Введение

Постановка объектов археологического наследия на государственный кадастровый учет является конечной задачей во всей системе государственной охраны объектов археологического наследия, это полностью отвечает принципам, регламентированным федеральным законодательством. Однако стоит отметить, что задача охраны довольно часто сопряжена с другими задачами, решаемыми параллельно. К ним относятся: поиск и идентификация археологических объектов; определение границ памятников в государственной системе координат; каталогизация памятников путем внесения в базу данных соответствующих геоинформационных систем регионального или муниципального уровней; организация и отладка доступа к археолого-геоинформационным данным; отнесение памятника к культурно-историческому периоду

с использованием специальных (в том числе естественно-научных методов) [1–7].

Собственно, учет памятников территориального образования невозможен без предварительной паспортизации объектов и последующей инвентаризации. Паспорт объекта археологического наследия является обязательным документом для охраны этого объекта. Согласно ст. 21 главы IV Федерального закона № 73–ФЗ в паспорт объекта культурного наследия должны быть включены такие данные, как сведения о виде объекта, номер и дата принятия решения о включении объекта в реестр, местонахождение границы объекта и охранных зон.

Методы и материалы

Между тем все более важное значение приобретают новые способы и приемы получения актуальных сведений о точном распо-

ложении археологических объектов, их размерах и границах, что связано с необходимостью проведения экспертиз и плановых научных исследований, сопровождением инженерных изысканий, а также необходимостью постановки на кадастровый учет ранее не учтенных археологических памятников. Наиболее перспективным способом получения информации об границах археологических объектов являются съемка беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) [8–10]. Главный результат БПЛА-съемки – ортофотоплан высокого разрешения с возможностью использования для разных задач. В нашем случае ортофотоплан использовался в качестве базового материала для картографической основы в масштабах от 1 : 500 до 1 : 5 000.

Целью наших исследований является разработка метода получения координат границ археологических памятников с использованием БПЛА-съемки.

В качестве основных задач можно выделить следующие: тестирование оборудования для оценки точности построения ортофотопланов; апробация методики геопривязки и фотограмметрической обработки ортофотопланов с помощью системы опорных точек; отработка технологии создания картографических материалов на основе ортофотопланов.

Использование БПЛА-съемки больших территорий обусловлено высокой производительностью, благодаря чему такая съемка может быть предпочтительнее инструментальной съемки [11–14].

Для аэрофотосъемки археологических памятников мы использовали беспилотный летательный аппарат DJI Inspire 1 (ver. 2.0), основные характеристики которого по данным сайта разработчика (<https://www.dji.com/ru/inspire-1/info>) приведены в табл. 1. Данный аппарат относится к мультироторному типу и предназначен для выполнения аэрофото- и видеосъемки на высоте до 4 500 м.

Таблица 1

Некоторые технические характеристики квадрокоптера DJI Inspire 1 (ver. 2.0)

Тип (наименование)	DJI Inspire 1 V2.0
Серийный (идентификационный) номер	W13DDI22060453
Количество двигателей и их вид	4 электрических двигателя DJI 3510H
Масса с камерой	3 400 г
Максимальная взлетная масса	3 500 г
Максимальная скорость	18 м/с
Максимальная высота съемки	4 500 м
Максимальная допустимая скорость ветра	Заявлено – 10 м/с, на практике – до 15 м/с
Максимальное время полета	Заявлено – 15 мин, на практике – до 25 мин (с использованием батареи TB48)
Камера	
Тип	Полупрофессиональная ZENMUSE X3
Матрица	Размер матрицы 1/2,3"
Поддержка видео	4 096 × 2 160 (25 кадров/с) или 1 920 × 1 080 (60 кадров/с)
Режим фото	Широкоугольный прямолинейный объектив, 12 Мп

Ключевые этапы работ

Этапы работ будем рассматривать на примере археологического памятника «Большой Яломан». По сути, это не отдельный памятник, а «Яломанский археологический микрорайон»,

представляющий собой концентрацию археологических объектов разных эпох, различающихся как по морфологии (выраженной в археологическом ландшафте), так и по культурной принадлежности. Данный микрорайон расположен на небольшом плато, сформиро-

ванном в межпойменной части реки Большой Яломан при впадении в р. Катунь. Среди обнаруженных здесь артефактов значились каменные орудия и петроглифы, выявлены характерные погребальные сооружения периода энеолита, которые соотносятся с афанасьевской общностью Южной Сибири. Многолетние археологические исследования, проведенные А. А. Тишкиным и другими учеными, свидетельствуют о необходимости и целесообразности создания в долине Большого Яломана особо охраняемой территории, что подчеркивает культурную и историческую значимость данного объекта [15].

Первым этапом было изучение снимаемой территории, построение маршрута полета, координирование поворотных точек полетного задания с помощью карманного навигатора Garmin GPSmap 62s. Далее следовала расстановка на местности опорных и контрольных опознавательных знаков. Знаки представляли собой изготовленные пластиковые квадраты белого цвета размером 1×1 м. На территории памятника были равномерно расставлены на местности четыре опорных и пять контрольных знаков. Ортофотоплан со схемой расположения знаков приведен на рис. 1.

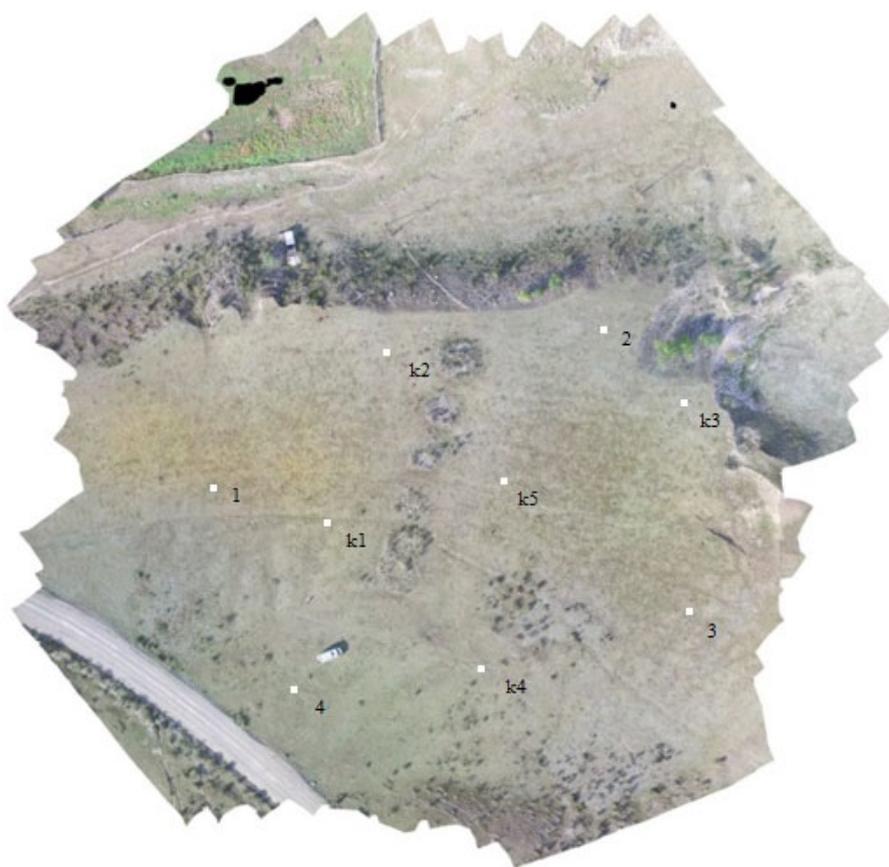


Рис 1. Ортофотоплан территории памятника «Большой Яломан» с опорными и контрольными знаками

На следующем этапе выполнялись работы по созданию съемочного обоснования. Измерение пространственных координат точек съемочного обоснования выполнялось GPS-приемником Trimble 5700 в системе координат МСК-04. Необходимое количество пикетов для построения рельефа было получено с использованием GPS-измерений.

Далее проводилась съемка с БПЛА. Съемка выполнялась с высоты 50 м над точкой старта. Точка старта выбиралась как самая высокая на исходной территории. Составление полетных заданий производилось с помощью приложения Pix4D Capture в связке с программой настройки дрона Ctrl + DJI. В результате съемки всего было получено 156 снимков (рис. 2).

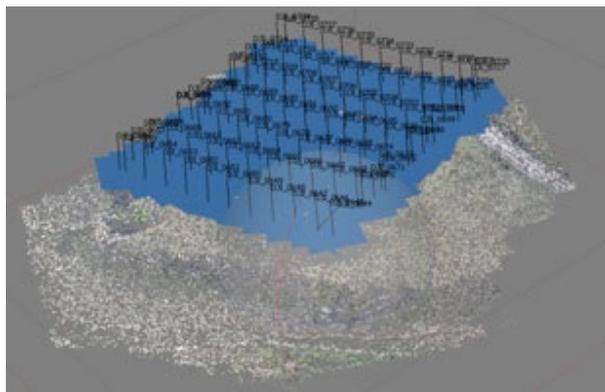


Рис 2. Схема предварительного уравнивания снимков объекта «Большой Яломан» с системой связующих точек в программе Agisoft Metashape

Фотограмметрическая обработка снимков представляла из себя компьютерную автоматизированную цифровую обработку фотоматериалов с последующим созданием мозаичного ортофотоплана [16–20]. Для фотограм-

метрической обработки материалов была выбрана программа Agisoft Metashape. Выбор данного программного обеспечения обусловлен большой степенью автоматизации в сравнении с другими системами.

Полный и развернутый алгоритм фотограмметрической обработки данных с БПЛА описан в руководстве пользователя Agisoft Metashape [21]. Наиболее оптимальный для наших условий цикл операций фотограмметрической обработки можно представить пятью основными этапами – от загрузки исходных данных до получения готового продукта:

1. Создание фотограмметрического проекта с использованием режима отображения навигационных центров (см. рис. 2).
2. Создание геопривязки к опорным знакам в системе координат МСК-04.
3. Построение системы связующих точек.
4. Построение плотного облака точек.
5. Построение цифровой модели рельефа (ЦМР) и ортофотоплана.

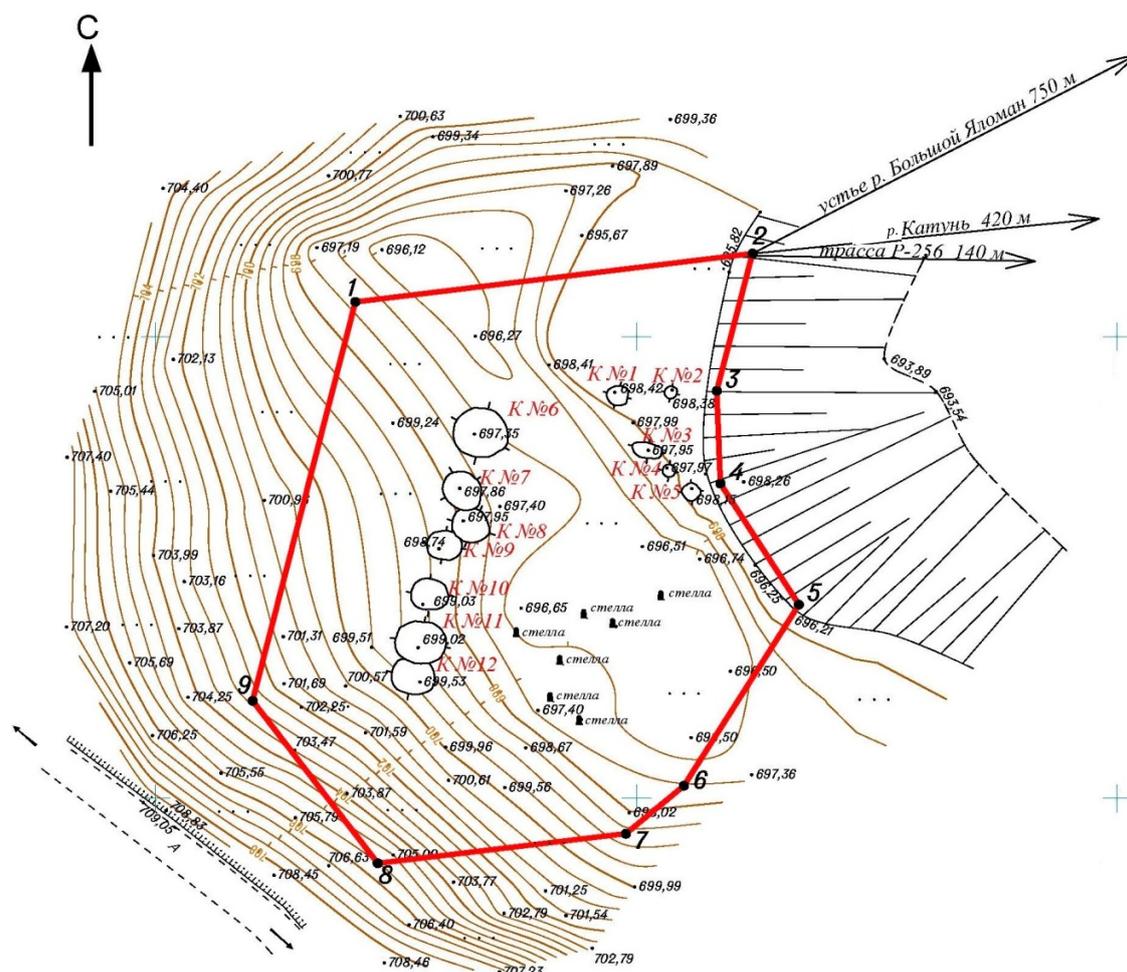


Рис. 3. Топографический план памятника «Большой Яломан»

Отметим некоторые особенности обработки. Прежде всего, стоит отметить важность построения качественной ЦМР, поскольку она является обязательным условием для создания ортофотоплана. Это необходимо, так как значения высот учитываются при ортокоррекции полученного изображения (мозаики). Для получения единого блока и его ориентирования в заданной системе координат необходимо соединение моделей блочной сети относительно системы геодезических координат. Для этого использовались результаты уравнивания геодезических измерений опорных опознавательных знаков в МСК-04 [22]. Заключительным этапом стало создание топографических планов местности археологических памятников (рис. 3).

Исходным материалом для изготовления цифровой карты стал ортофотоплан, который использовался в качестве подложки для векторизации положения археологических объектов в программе «Credo ТОПОПЛАН». Как уже отмечалось выше, пикеты для построения рельефа были получены с использованием GPS-измерений [23–30].

При построении ортофотоплана проводилась оценка погрешности его привязки к местности. На ортофотоплане выбираются надежно определяемые при полевых исследованиях точечные объекты, координаты которых можно установить с высокой точностью с использованием GPS-измерений.

В нашем случае в качестве точечных объектов выступали контрольные знаки, координаты которых также были определены с использованием GPS-измерений (см. рис. 1). Если $x_i^k, y_i^k, i = 1..5$ – координаты контрольных знаков, которые были определены по ортофотоплану, а $x_i^{GPS}, y_i^{GPS}, i = 1..5$ – их точ-

ные GPS-измерения, то оценки точности положения объектов можно вычислить, используя среднюю квадратическую ошибку ортофотоплана СКО (табл. 2):

$$СКО_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (x_i^{ck} - x_i^{GPS})^2}{5}};$$

$$СКО_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (y_i^{ck} - y_i^{GPS})^2}{5}}.$$

Для археологического памятника «Большой Яломан» был построен топографический план в масштабе 1 : 1 000. Координаты границы археологического памятника были определены по ортофотоплану. СКО определения координат не превышало 0,2 м.

Заключение

Разработан метод получения координат границ археологических памятников с использованием GPS- и БПЛА-съемки. Апробирована методика геопривязки и фотограмметрической обработки ортофотопланов с помощью системы опорных точек. Отработана технология создания картографических материалов на основе ортофотопланов. На все археологические памятники были сформированы каталоги координат их границ для дальнейшей постановки на кадастровый учет. Границы археологических памятников были определены в соответствии с «Методикой определения границ территорий объектов археологического наследия», рекомендованной к применению письмом Министерства культуры Российской Федерации от 27.01.2012 № 12-01- 39/05-АБ.

Таблица 2

Результат вычисления СКО

	x_i^k	y_i^k	x_i^{GPS}	y_i^{GPS}	$(x_i^{ck} - x_i^{GPS})^2$	$(y_i^{ck} - y_i^{GPS})^2$
1	486 039,97	1 377 438,19	486 040,05	1 377 438,04	0,006	0,022
2	486 079,40	1 377 451,28	486 079,26	1 377 451,11	0,020	0,029
3	486 068,27	1 377 522,27	486 068,46	1 377 522,33	0,036	0,004
4	486 002,05	1 377 472,58	486 002,15	1 377 472,33	0,010	0,063
5	486 051,13	1 377 477,95	486 050,96	1 377 478,09	0,029	0,020
СКО					0,142	0,166

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Труханов А. Э., Афонин Ф. К., Ильин А. С. Исследование возможности применения космических снимков для определения местоположения границ земельных участков // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 3 (27). – С. 96–101.
2. Хлебникова Т. А., Опритова О. А. Экспериментальные исследования современных программных продуктов для моделирования геопространства // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 119–131.
3. Долгополов Д. В. Возможности использования беспилотных авиационных систем для контроля соответствия результатов строительства площадных объектов трубопроводного транспорта проектным решениям // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 85–95.
4. Широкова Т. А., Антипов А. В. Методика создания ортофотопланов с применением данных воздушного лазерного сканирования // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 2 (13). – С. 24–30.
5. Крупочкин Е. П., Суханов С. И., Воробьев Д. А. Дистанционное зондирование как инструмент археологической разведки и картографирования археологических памятников (на примере модельных площадок Алтая) // Геодезия и картография. – 2019. – № 9. – С. 40–54.
6. Крупочкин Е. П., Воробьев Д. А. Современные возможности и перспективы применения дистанционных методов при изучении археологических памятников / Под ред. проф. Г. Я. Барышникова // География и природопользование Сибири : сб. статей. – Барнаул : Изд-во Алтайского ун-та, 2015. – Вып. 20. – С. 100–116.
7. Bourgeois J., De Langhe K., Ebel A. V., Dvornikov E. P., Konstantinov N., Gheyle W. Geometric stone settings in the Yustyd Valley and its surroundings (Altai Mountains, Russia): Bronze Age ‘virtual dwellings’ and associated structures // Archaeological Research in Asia. – 2017. – № 10. – P. 17–31.
8. Зарипов А. С. Особенности создания трехмерной цифровой модели Центрального планировочного района города Перми по данным аэрофотосъемки // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 160–168.
9. Ламков И. М., Чермошенцев А. Ю., Арбузов С. А., Гук А. П. Исследование возможностей применения квадрокоптера для съемки береговой линии обводненного карьера с целью государственного кадастрового учета // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 200–209.
10. Опритова О. А. Исследование возможностей применения беспилотных авиационных систем для моделирования объектов недвижимости // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 248–258.
11. Широкова Т. А., Чермошенцев А. Ю., Бармитова А. Т. Исследование точности визирования на точки космических снимков высокого и среднего разрешения // Вестник СГГА. – № 2 (13). – С. 31–36.
12. Оскорбин Н. М., Суханов С. И. Создание цифровой модели местности на основе космических снимков высокого разрешения // Известия Алтайского государственного университета. – 2013. – № 1/2 (77). – С. 87–91.
13. Уставич Г. А., Середович В. А., Пошивайло Я. Г., Середович А. В., Иванов А. В. Комбинированный способ создания инженерно-топографических планов масштаба 1 : 500 промышленных территорий и отдельных промплощадок // Геодезия и картография. – 2009. – № 1. – С. 31–37.
14. Cătălin Nicolae Popa, Daniel Knitter. From Environment to Landscape. Reconstructing Environment Perception Using Numerical Data // Archaeol Method Theory. – 2016. – Vol. 23. – P. 1285–1306. doi 10.1007/s10816-015-9264-9.
15. Тишкин А. А. Археологические микрорайоны на Алтае как основа для создания особо охраняемых территорий (на примере выявленных и изученных памятников в долине р. Большой Яломан) // Значение природного и культурного наследия в современном обществе : сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня основания Бюджетного учреждения Республики Алтай «Национальный музей Республики Алтай имени А. В. Анохина» / Отв. ред. Р. М. Еркинова. – Горно-Алтайск, 2018. – С. 29–33.
16. Лесных Н. Б., Мизин В. Е. Разности повторных измерений как объекты статистического анализа // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 1 (21). – С. 27–30.
17. Вовк И. Г. Определение геометрических инвариантов поверхности в прикладной геоинформатике // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 4 (20). – С. 48–59.
18. Крупочкин Е. П., Ульянова А. В., Воробьев Д. А., Суханов С. И. ГИС как инструмент моделирования и интерпретации геоархеологических данных на примере интегрального показателя теплообеспеченности // Наука и туризм: стратегии взаимодействия. – 2019. – № 11. – С. 37–48.

19. Крупочкин Е. П., Дунец А. Н. Новые тенденции и перспективы развития археологического картографирования // География и природные ресурсы. – 2018. – № 4. – С. 15–25.
20. Gheyle W. Highlands and Steppes. An Analysis of the Changing Archaeological Landscape of the Altay Mountains from the Eneolithic to the Ethnographic period / Department of Archaeology. – Ghent : Ghent University, 2009.
21. Руководство пользователя Agisoft Metashape Professional Edition, версия 1.5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf.
22. Plets G., Gheyle W., Verhoeven G., De Reu J., Bourgeois J., Verhegge J., & Stichelbaut B. Three-dimensional recording of archaeological remains in the Altai Mountains // *Antiquity*. – 2012. – Vol. 86, № 333. – P. 884–897. doi: 10.1017/S0003598X00047980.
23. Суханов С. И. Интервальный анализ в задачах моделирования пространственного положения геообъектов. – Барнаул : Изд-во Алт. гос. ун-та, 2016. – 110 с.
24. Оскорбин Н. М., Суханов С. И., Школин В. В. Интервальные оценки точности растровой карты масштаба 1 : 500 на территории ГИС-полигона г. Барнаула // МАК: Математики – Алтайскому краю : сборник трудов Всероссийской конференции по математике. – 2017. – С. 119–125.
25. Крупочкин Е. П., Папин Д. В., Редников А. А., Федорук А. С. Археологический туризм в Алтайском крае: предпосылки и перспективы развития // Современные тенденции пространственного развития и приоритеты общественной географии : сб. материалов Международной научной конференции в рамках IX ежегодной научной ассамблеи Ассоциации российских географов-обществоведов. – Барнаул, 2018. Т. 2. – С. 94–103.
26. Крупочкин Е. П. Картографический метод в археологических исследованиях: тенденции и перспективы // Информационный бюллетень ассоциации «История и компьютер». – 2018. – № 47. – С. 141–143.
27. Хлебникова Т. А., Оприцова О. А. Экспериментальные исследования точности построения плотной цифровой модели по материалам беспилотной авиационной системы // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23. № 2. – С. 119–129.
28. Аникеева И. А. Обоснование допустимых размеров пикселя на местности и параметров сжатия аэро- и космических изображений, получаемых для целей картографирования // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24. № 2. – С. 109–130.
29. Коробов Д. С. Основы геоинформатики в археологии : учеб. пособие – М. : Изд-во Московского гос. ун-та, 2011. – 224 с.
30. Безменов В. М. Фотограмметрия. Построение и уравнивание аналитической фототриангуляции : учебно-метод. пособие для студентов физического факультета КГУ, обучающихся по специальности «Астрономогеодезия». – Казань : КГУ, 2009. – 86 с.

Получено 13.01.2021

© Е. П. Крупочкин, С. И. Суханов, Д. А. Воробьев, 2021

SURVEY OF ARCHAEOLOGICAL SITES OF GORNY ALTAY USING UAV

Evgeny P. Krupochkin

Altai State University, 61, Prospect Lenina St., Barnaul, 656049, Russia, Ph. D., Head of the Department of Economic Geography and Cartography, phone: (983)381-34-53, e-mail: krupochkin@mail.ru

Sergei I. Sukhanov

Altai State University, 61, Prospect Lenina St., Barnaul, 656049, Russia, Ph. D., Associate Professor, phone: (905) 987 0083, e-mail: sukhanov-s@yandex.ru

Dmitry A. Vorobyov

Altai State University, 61, Prospect Lenina St., Barnaul, 656049, Russia, Ph. D. Student, phone: (960)941-71-07, e-mail: vorobiev.921b@mail.ru

The article describes a methodology for determining the boundaries of archaeological sites using GPS survey and unmanned aerial vehicles (UAVs) with subsequent registration in the cadastral record. The method of georeferencing and photogrammetric processing of orthophotomaps using a system of control points has

been tested. The digital photogrammetric program Agisoft Metashape (company Agisoft LLC, St. Petersburg) was chosen for the research. By means the program an orthomosaic was obtained with georeferencing with the Local Coordinate System (LCS-04). The result of the work was the construction of topographic plans and the determination of the boundaries of archaeological sites in accordance with the "Methodology for determining the boundaries of the territories of archaeological heritage sites, recommended for use by the letter of the Ministry of Culture of the Russian Federation No. 12-01- 39/05-AB dated 27.01.2012".

Keywords: orthophotomap, topographic plan, cadastral registration, unmanned aerial vehicles, spatial accuracy, root mean square error

REFERENCE

1. Trukhanov, A. E., Afonin, F. K., & Ilyin, A. S. (2014). Investigation of the possibility of using space images to determine the location of the boundaries of land plots. *Vestnik SGGGA [Vestnik SSGA]*, 3(27), 96–101 [in Russian].
2. Khlebnikova, T. A., & Opritova, O. A. (2017). Experimental studies of modern software products for geospace modeling. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(1), 119–131 [in Russian].
3. Dolgoplov, D. V. (2020). Possibilities of using unmanned aircraft systems to control the compliance of the results of construction of pipeline transportation facilities with design projects. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(4), 85–95 [in Russian].
4. Shirokova, T. A., & Antipov, A. V. (2010). Methods for creating orthophotomaps using airborne laser scanning data. *Vestnik SGGGA [Vestnik SSGA]*, 2(13), 24–30 [in Russian].
5. Krupochkin, E. P., Sukhanov, S. I., & Vorobiev, D. A. (2019). Remote sensing as a tool for archaeological exploration and mapping of archaeological monuments (by the example of Altai model sites). *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 9, 40–54 [in Russian].
6. Krupochkin, E. P., & Vorobiev, D. A. (2015). Modern possibilities and prospects of using remote sensing methods in the study of archaeological monuments. G. Ya. Baryshnikov (Ed.). In *Sbornik statey Geografiya i prirodopol'zovanie Sibiri: Vyp. 20 [Proceedings of Geography and Nature Management of Siberia: Issue 20]* (pp. 100–116). Barnaul: Altai University Publ. [in Russian].
7. Bourgeois J., De Langhe K, Ebel A. V., Dvornikov E. P., Konstantinov N., & Gheyle W. (2017). Geometric stone settings in the Yustyd Valley and its surroundings (Altai Mountains, Russia): Bronze Age 'virtual dwellings' and associated structures. *Archaeological Research in Asia*, 10, 17–31.
8. Zaripov, A. S. (2020). Features of the creation of a three-dimensional digital model of the Central planning area of Perm according to aerial photography. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(3), 160–168 [in Russian].
9. Lamkov, I. M., Chermoshentsev, A. Yu., Arbuzov, S. A., & Guk, A. P. (2016). Investigation of the possibilities of using a quadcopter for surveying the coastline of a watered open pit for the purpose of state cadastral registration. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(36), 200–209 [in Russian].
10. Opritova, O. A. (2018). Investigation of the possibilities of using unmanned aircraft systems for modeling real estate objects. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(3), 248–258 [in Russian].
11. Shirokova, T. A., Chermoshentsev, A. Yu., & Barmitova, A. T. (2010). Investigation of the accuracy of sighting at the points of high and medium resolution space images. *Vestnik SGGGA [Vestnik SSGA]*, 2(13). 31–36 [in Russian].
12. Oskorbin, N. M., & Sukhanov, S. I. (2013). Creation of a digital terrain model based on high-resolution satellite imagery. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Altai State University]*, 1/2(77), 87–91 [in Russian].
13. Ustavich, G. A., Sereдовich, V. A., Poshivailo, Ya. G., Sereдовich, A. V., & Ivanov, A. V. (2009). Combined method of creating engineering-topographic plans of industrial territories and individual industrial sites at a scale of 1:500. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 1, 31–37 [in Russian].
14. Cătălin Nicolae Popa, & Daniel Knitter. (2016). From Environment to Landscape. Reconstructing Environment Perception Using Numerical Data. *Archaeol Method Theory*, 23, 1285–1306. doi: 10.1007/s10816-015-9264-9.
15. Tishkin, A. A. (2018). Archaeological micro-regions in Altai as a basis for creation of specially protected territories (on the example of identified and studied monuments in the valley of the Bolshoy Yaloman river). In *Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya osnovaniya Byudzhethnogo uchrezhdeniya Respubliki Altay*

"Natsional'nyy muzey Respubliki Altay imeni A. V. Anokhina": Znachenie prirodnogo i kul'turnogo naslediya v sovremennom obshchestve [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, dedicated to the 100th Anniversary of the Founding of the Budgetary Institution of the Altai Republic "National Museum of the Altai Republic named after A.V. Anokhin": The Value of Natural and Cultural Heritage in Modern Society] (pp. 29–33). R.M. Erkinov (Ed.). Gorno-Altaysk [in Russian].

16. Lesnykh, N. B., & Mizin, V. E. (2013). Differences of repeated measurements as objects of statistical analysis. *Vestnik SGGa [Vestnik SSGA]*, 1(21), 27–30 [in Russian].

17. Vovk, I. G. (2012). Determination of geometric surface invariants in Applied Geoinformatics. *Vestnik SGGa [Vestnik SSGA]*, 4(20), 48–59 [in Russian].

18. Krupochkin, E. P., Ulyanova, A. V., Vorobiev, D. A., & Sukhanov, S. I. (2019). GIS as a tool for modeling and interpretation of geoarchaeological data on the example of the integral indicator of heat supply. *Nauka i turizm: strategii vzaimodeystviya [Science and Tourism: Interaction Strategies]*, 11, 37–48 [in Russian].

19. Krupochkin, E. P., & Dunets, A. N. (2018). New trends and prospects for the development of archaeological mapping. *Geografiya i prirodnye resursy [Geography and Natural Resources]*, 4, 15–25 [in Russian].

20. Gheyle, W. (2009). *Highlands and Steppes. An Analysis of the Changing Archaeological Landscape of the Altai Mountains from the Eneolithic to the Ethnographic period*. Department of Archaeology. Ghent, Ghent University.

21. Agisoft Metashape Professional Edition User Manual, version 1.5. (n. d.). Retrieved from https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf.

22. Plets, G., Gheyle, W., Verhoeven, G., De Reu, J., Bourgeois, J., Verhegge, J., & Stichelbaut, B. (2012). Three-dimensional recording of archaeological remains in the Altai Mountains. *Antiquity*, 86(333), 884–897. doi:10.1017/S0003598X00047980.

23. Sukhanov, S. I. (2016). *Interval'nyy analiz v zadachakh modelirovaniya prostranstvennogo polozheniya geob"ektov [Interval analysis in the problems of modeling the spatial position of geo objects]*. Barnaul: Altai State University Publ., 110 p. [in Russian].

24. Oskorbin, N. M., Sukhanov, S. I., & Shkolin, V. V. (2017). Interval estimates of the accuracy of the raster map m 1:500 on the territory of the GIS polygon in Barnaul. In *Sbornik trudov vserossiyskoy konferentsii po matematike: MAK: Matematiki – Altayskomu krayu [Proceedings of the All-Russian Conference on Mathematics: MAK: Mathematicians to Altai Territory]* (pp. 119–125) [in Russian].

25. Krupochkin, E. P., Papin, D. V., Rednikov, A. A., & Fedoruk, A. S. (2018). Archaeological tourism in the Altai Territory: preconditions and development prospects. In *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii v ramkakh IX ezhegodnoy nauchnoy assamblei Assotsiatsii rossiyskikh geografov-obshchestvovedov: Vyp. 2. Sovremennye tendentsii prostranstvennogo razvitiya i priority obshchestvennoy geografii [Proceedings of the International Scientific Conference within the IX Annual Scientific Assembly of the Association of Russian Geographers and Social Scientists: Issue 2. Modern Trends in Spatial Development and Priorities of Social Geography]* (pp. 94–103). Barnaul [in Russian].

26. Krupochkin, E. P. (2018). Cartographic method in archaeological research: trends and prospects. *Informatsionnyy byulleten' assotsiatsii "Istoriya i komp'yuter" [Newsletter of the Association "History and Computer"]*, 47, 141–143 [in Russian].

27. Khlebnikova, T. A., & Opritova, O. A. (2018). Experimental studies of the accuracy of constructing a dense digital model based on the materials of an unmanned aircraft system. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(2), 119–129 [in Russian].

28. Anikeeva, I. A. (2019). Justification of permissible pixel sizes on the ground and compression parameters of aerial and space images obtained for mapping purposes. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(2), 109–130 [in Russian].

29. Korobov, D. S. (2011). *Osnovy geoinformatiki v arkhologii [Fundamentals of Geoinformatics in Archeology]*. Moscow: Moscow State University Publ., 224 p. [in Russian].

30. Bezmenov, V. M. (2009). *Fotogrammetriya. Postroyeniye i uravnivaniye analiticheskoy fototriangulyatsii [Photogrammetry. Construction and adjustment of analytical phototriangulation]*. Kazan: KSU Publ., 86 p. [in Russian].

Received 13.01.2021

© E. P. Krupochkin, S. I. Sukhanov, D. A. Vorobyov, 2021