

DOI: 10.14258/tpai(2021)33(2).-02

УДК 902:004 (571.151)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА-СЪЕМКИ: ОПЫТ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА ПРИМЕРЕ ГОРНОГО АЛТАЯ

А. С. Федорук¹, Д. В. Папин^{1, 2}, Е. П. Крупочкин¹,
С. И. Суханов¹

¹Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Российская Федерация;

²Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск, Российская Федерация

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9825-1822>, e-mail: fedorukas@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2010-9092>, e-mail: papindv@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9652-4655>, e-mail: evgeny.krupochkin@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3173-4616>, e-mail: suhanov-s@yandex.ru

Резюме: В рамках расширяющихся технических и технологических возможностей естественно-научных методов особый интерес представляют новые способы получения полевых измерений, которые могут успешно применяться в комплексе с традиционным археологическим обследованием. В качестве такого способа выступает технология беспилотной съемки. В ходе работ по картографированию археологических памятников и установлению их границ выработана и апробирована технология комплексной съемки. Для всех объектов созданы промежуточные и конечные цифровые продукты. К первым относятся ортофотопланы, цифровые модели рельефа и массивы (облака); ко вторым — цифровые планы (в масштабах 1:500–1:5000) с координатами поворотных точек и границами памятников. При проведении комплекса полевых и камеральных работ отработана технология БПЛА-съемки с помощью дрона коптерного типа, определено оптимальное положение опорных знаков и их количество для снимаемых площадок. Установлены наиболее благоприятные условия съемки, при которых погодные условия могут значительно отличаться от прописанных в инструкции. Так, например, возможно выполнение GNSS- и БПЛА-съемки при небольших осадках и скорости ветра до 10 м/с. Получаемые при этом погрешности компенсируются отчасти бортовым акселерометром, а отчасти — алгоритмами геометрической коррекции снимков и мозаики в целом.

Ключевые слова: объекты археологического наследия, определение границ, картографирование, методы геоинформатики, беспилотные системы, аэрофотосъемка

Благодарности: Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-05-00864 «Разработка теории и методов археологического ГИС-картографирования и анализа геоархеологических данных (на примере модельных территорий Алтая)».

Для цитирования: Федорук А. С., Папин Д. В., Крупочкин Е. П., Суханов С. И. Определение границ археологических памятников с использованием БПЛА-съемки: опыт решения задач на примере Горного Алтая // Теория и практика археологических исследований. 2021. Т. 33, № 2. С. 31–43. DOI: 10.14258/tpai(2021)33(2).-02

DETERMINING THE BOUNDARIES OF ARCHAEOLOGICAL SITES USING UAV SURVEYS: SOLVING PROBLEMS ON THE EXAMPLE OF GORNY ALTAI

Alexander S. Fedoruk¹, Dmitry V. Papin^{1, 2}, Evgeny P. Krupochkin¹,
Sergey I. Sukhanov¹

¹Altai State University, Barnaul, Russian Federation;

²Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9825-1822>, e-mail: fedorukas@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2010-9092>, e-mail: papindv@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9652-4655>, e-mail: evgeny.krupochkin@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3173-4616>, e-mail: sukhanov-s@yandex.ru

Abstract: Within the framework of the expanding technical and technological capabilities of scientific methods, of special interest are new ways of obtaining field measurements, which can be successfully applied in combination with traditional archaeological survey. The technology of unmanned shooting acts is one of such methods. In the course of work on the mapping of archaeological sites and the establishment of their boundaries, a comprehensive survey technology was developed and tested. Intermediate and final digital products have been created for all the objects. The first ones include orthomosaic, digital elevation models and arrays (clouds); the second ones include digital plans (on a scale of 1: 500–1: 5000) with coordinates of turning points and boundaries of sites. When carrying out a complex of field and office work, the technology of UAV shooting with the help of a drone of a copter type was worked out, the optimal position of the reference signs and their number for the shot sites were determined. We established the most favorable shooting conditions, under which weather conditions could differ significantly from those prescribed in the instructions. So, for example, it is possible to perform GNSS surveys and UAV surveys when precipitation are light and wind speeds up to 10 m / s. The resulting errors are compensated partly by the on-board accelerometer, and partly by the algorithms for geometric correction of images and mosaics in general.

Key words: boundary definition, archaeological mapping, geoinformatics methods, unmanned systems, aerial photography

Acknowledgements: The research was carried out with the financial support of the RFBR project No. 18–05–00864 “Development of the Theory and Methods of Archaeological GIS Mapping and Analysis of Geoarchaeological Data (on the example of model cites of Altai)”.

For citation: Fedoruk A. S., Papin D. V., Krupochkin E. P., Sukhanov S. I. Determining the Boundaries of Archaeological Sites Using UAV Surveys: Solving Problems on the Example of Gorny Altay // *Theory and Practice of Archaeological Research*. 2021;33(2):31–43. (In Russ.) DOI: 10.14258/tpai(2021)33(2).-02

Введение

Согласно действующему законодательству, определение границ территорий объектов археологического наследия (далее ОАН) относится к деятельности специалистов-археологов и является одним из проводимых на памятниках видов работ.

Основные вопросы методики определения границ территорий памятников археологии раскрыты в «Методике определения границы территории объекта археологического наследия» [2012].

Вместе с тем анализ имеющейся инструктивно-методической документации показывает разнообразие методов и приемов, используемых для определения гра-

ниц территории ОАН, их зависимость от типа памятника и его индивидуальных особенностей.

В течение летнего и осеннего периодов 2020 г. авторами проводились работы по установлению границ более чем 50 памятников, расположенных на территории Горного Алтая (в границах Республики Алтай). В результате выполнения этих работ был накоплен определенный опыт и выработан алгоритм проведения указанного вида исследований.

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

Задачи исследований:

1. Апробация методики комбинированной съемки археологических памятников на основе GNSS- и БПЛА.

2. Составление топографических планов археологических объектов и соотнесение с имеющимися данными.

3. Представление и анализ опыта, полученного в ходе полевых исследований и камеральных работ.

Материалы и методы исследования

Весь комплекс проведенных работ можно разделить на три основных этапа (**подготовительный, полевой и камеральный**).

На подготовительном этапе была проведена работа по идентификации памятников, поскольку выяснилось, что объекты археологического наследия с наименованиями, официально закрепленными в региональных законодательных актах о постановке на охрану, а впоследствии перекочевавшими в единый государственный реестр памятников истории и культуры народов РФ, зачастую в научной литературе и отчетах различных исследователей фигурируют под иными именами. Причем нередко ситуации, когда один памятник по отчетам различных исследователей проходит под разными названиями.

После идентификации объектов возникла необходимость их детального представления с целью более четкого ориентирования на местности в полевых условиях. Для этого была выполнена работа по анализу научных отчетов и публикаций с целью сбора по возможности максимально полных сведений о подлежащих изучению объектах археологического наследия. При этом особое внимание уделялось информации о местонахождении, составе памятников и их характеристике, включая ранее выполненные исследователями планы объектов. Параллельно велась работа по анализу имеющихся топографических карт для территорий, на которых предполагалось расположение исследуемых памятников.

Результатом подготовительного этапа стало формирование пакета документации на каждый памятник, способствующей более четкому выполнению задач полевого этапа: описание памятника, включающее его местоположение; описание отдельных объектов, ранее выполненные исследователями планы и фотофиксация памятников; распечатка участков топокарт и космоснимков с указанием географических координат каких-либо ориентиров на местности, а также непосредственная съемка памятников.

На полевом этапе было проведено полноценное археологическое обследование памятников с использованием методов археологической разведки в соответствии с требованиями Положения о порядке проведения археологических полевых работ [2018]. С целью определения предварительных границ ОАН на каждом памятнике в полевых условиях была выполнена проекция данных, полученных на предварительном этапе, на современную ситуацию, что дало возможность идентифицировать отдельные объекты памятников, отраженные в архивных документах (отдельные курганы, изваяния, стелы, раскопы прежних лет и т. д.). Это позволило четко представить предполагаемые границы памятников в прошлом и сопоставить их с современной ситуацией.

Особое внимание при обследовании уделялось детальной фотофиксации как общего вида памятников с разных сторон и ракурсов, так и отдельных объектов (курганов, стел, каменных плит, западин, старых раскопов и т. д.), производству дневниковых записей, отражающих местоположение памятника и его общее состояние: наличие визуально фиксирующихся древних объектов и раскопов прошлых лет, современные разрушения, привязки (ЛЭП, дороги, триангуляционные знаки, постройки и т. п.), наличие факторов, угрожающих его сохранности (дороги, ЛЭП, осыпи, постройки, пашня и т. д.), состояние отдельных объектов памятника (форма, размеры, высота или глубина), индивидуальные особенности (наличие западин, стел и их размеры, характер растительности, произрастающей на объекте, и т. п.).

Установление самостоятельных границ объектов проводилось путем выделения отдельных территорий. На памятниках, где визуально четко прослеживались границы древних объектов (курганые насыпи, стелы, плиты, изваяния) или остатки прошлых археологических исследований (нерекультивированные раскопы), в случаях, когда визуально фиксирующиеся древние объекты располагались на четко локализуемой рельефом территории, необходимости в закладке стратиграфических разрезов не возникло. Однако на памятниках с не фиксируемыми визуально объектами и не устанавливаемыми по особенностям рельефа границами производилась закладка стратиграфических разрезов (шурфов, зачистка существующих обнажений) с целью определения наличия или отсутствия культурного слоя на отдельных перспективных участках (рис. 1).

После установления границ памятников методами археологии производилась расстановка на местности опознавательных знаков. Опорные знаки имели размер 1×1 м. Поверхность знака была разбита на квадраты размером 0,5×0,5 м, окрашенные в черный и белый цвета. Квадраты расположены по диагонали — по два белых и черных. По краям (углам) каждого знака и в центре расположены отверстия, что необходимо для жесткой фиксации в условиях пересеченной местности. Опознавательные знаки расставлялись равномерно на территории каждого памятника. Выполнялись работы по координированию опознавательных знаков с использованием GPS-приемника Trimble в системе координат МСК-04. Необходимое количество пикетов для построения рельефа на территории памятников было также получено с использованием GPS-измерений.

Далее следовала БПЛА-съемка участков территории (так называемых площадок), где были расположены памятники. Съемка производилась дроном коптерного типа DJI Inspire-1. Данный аппарат относится к мультироторному типу и предназначен для выполнения аэрофото- и видеосъемки на высоте до 4500 м.



Рис. 1. «Поселение „Сухаревская Горка“, эпоха палеолита, II тыс. до н. э.». Фото общего вида шурфа № 2. Вид с востока–северо-востока
Fig. 1. "Settlement "Sukharevskaya Gorka", Paleolithic Era, II millennium BC". Photo of a general view of Pit No. 2. The view from the east–north-east

Дрон был оснащен камерой Inspire-1, расположенной под корпусом на моторизованном шарнире, который может вращаться на 360°. Камера оснащена 12-мегапиксельным CMOS-сенсором от Sony. 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. Перечисленные характеристики камеры позволяют получать фотографии высокого качества.

Начальная стадия работы с комплексом включала визуальную проверку оборудования, настройку программы управления полетом и калибровку. Программное обеспечение установлено на планшет с поддержкой ОС Android. Для тестирования оборудования мы использовали программу от компании DJI-Go. Полетные задания составлялись с помощью приложения Pix4D Capture в связке с программой настройки дрона на Ctrl + DJI. Интерфейс программы DJI-Go позволяет полностью контролировать состояние устройства, батареи, камеры и оценить его готовность к полету. После проведения калибровки следовала настройка камеры в зависимости от освещения, далее — проверка готовности к старту.

БПЛА-съемка проводилась в автоматическом режиме. Для составления полетного задания мы использовали программу Pix4D для Android, которая позволяет задавать необходимые параметры, учет которых важен для дальнейшей фотограмметрической обработки и дешифрирования материалов съемки [Крупочкин, Папин, 2018]. Указанная выше программа позволяет корректно составлять полетное задание с учетом сни-

маемой площади и времени полета. Наличие опорных знаков на снимках обеспечивает необходимые условия геометрической коррекции снимков и сшивки отдельных частей в единую мозаику (ортофотоплан) в заданной системе координат (рис. 2).

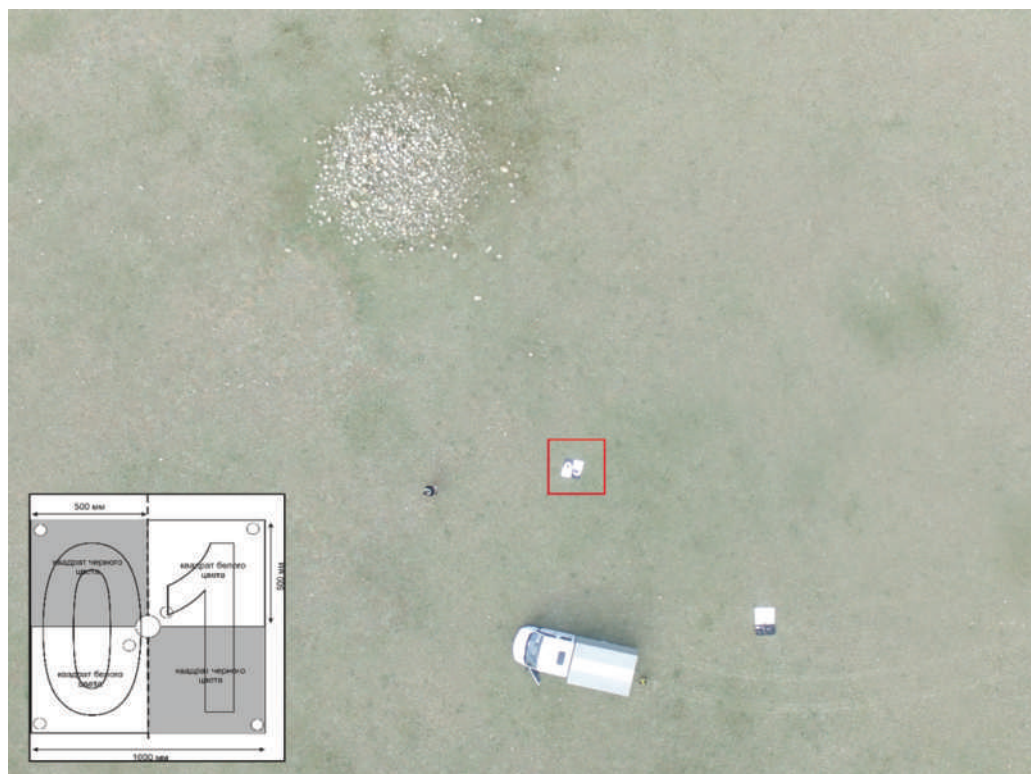


Рис. 2. Пример опорного знака и его расположение на кадре
Fig. 2. An example of a reference mark and its location on the frame

На камеральном этапе на основе массива данных, собранных на подготовительном и полевом этапах, в рамках научного отчета для каждого из обследованных ОАН было выполнено описание физико-географических условий его нахождения, истории научного изучения, полное текстовое описание, включающее местоположение по современным привязкам и основные характеристики каждого из объектов, зафиксированных на территории памятника, а также составление альбома иллюстраций на каждый обследованный ОАН, включающего фотографии общего вида памятника с различных ракурсов, фотографии каждого из визуально фиксирующихся на его территории объектов (курганов, стел, оградок, каменных плит, нерекультивированных раскопов прежних лет и т. д.).

Помимо научного отчета на каждый ОАН подготавливались ситуационные (в масштабе 1:25000) и топографические (в масштабах 1:500 или 1:1000) планы.

Техническая часть работ, связанная с топографо-геодезическими работами, и сопутствующая фотограмметрическая часть проводимых камеральных работ представ-

лены на схеме (рис. 3). Для фотограмметрической обработки материалов была выбрана программа AgisoftMetashape.

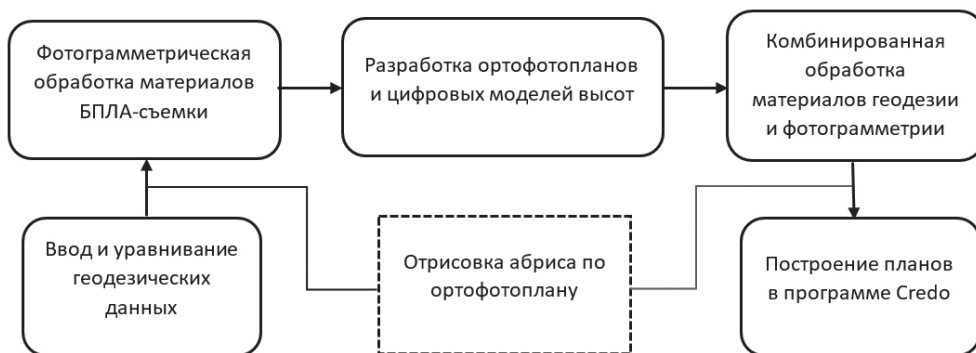


Рис. 3. Технологическая схема картографического производства на основе данных, полученных на более ранних этапах работы

Fig. 3. Technological scheme of cartographic production based on the data obtained at earlier stages of work

Цикл операций фотограмметрической обработки можно описать следующим образом:

1. Создается новый проект в программе AgisoftMetashape путем добавления новых данных либо с помощью создания копии на основе предварительного проекта в системе координат WGS84. После загрузки фотографий проверяется система координат, номер зоны, выполняется внутреннее ориентирование. Для проверки схематики и отбора снимков запускается функция показа навигационных центров;

2. Добавляются координаты опорных знаков в виде текстового файла, предварительно созданного по результатам уравнивания геодезических GNSS-измерений. Необходимо, чтобы система координат в настройках программы совпадала с системой координат опорных знаков (в нашей работе использована система координат МСК-04, система высот «Балтийская» 1977 г.). Далее запускается процесс построения разреженного облака точек — связующих точек, позволяющих соединять независимые модели в общую модель, ориентированную относительно системы координат опорных знаков.

3. На основе рассчитанных положений камер программа вычисляет значения высот для каждой камеры и строит плотное облако, которое используется для построения карты высот. Карта высот является необходимым условием для построения ортофотоплана, поскольку значения высот учитываются при ортокоррекции полученного изображения. Таким образом, исходное изображение трансформируется с учетом аналитической зависимости между исходными координатами мозаики и новыми — заданными координатами точек, положение которых корректируется по цифровой модели рельефа.

Использование GPS-съемки дает возможность автоматизировать процесс получения ортофотоплана и цифровых моделей рельефа. Основным результатом комбинированной обработки стали ортофотопланы с массивами точек, так называемые облака то-

чек, содержащие информацию о рельефе в заданной системе координат (МСК-04). Полученные материалы, во-первых, являются самостоятельными полноценными продуктами, готовыми к использованию в геоинформационных системах, а также для подготовки отчетов, во-вторых — это основа для отрисовки высококачественных пространственно-координированных абрисов (рис. 4, 5).



Рис. 4. Абрис, отрисованный на основе ортофотоплана в прямоугольной системе координат (ОАН «Группа курганов»)

Fig. 4. The outline drawn on the basis of an orthomosaic in a rectangular coordinate system (archaeological heritage site "A Group of Burial Mounds")

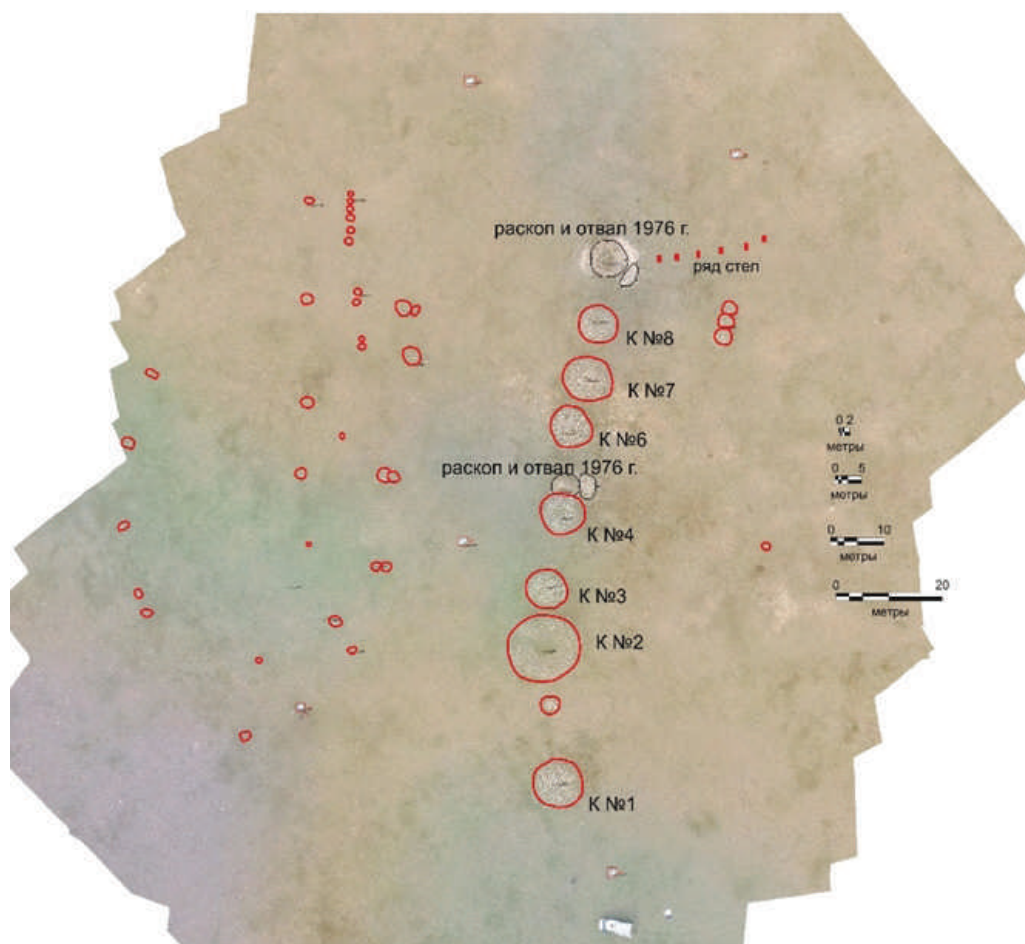


Рис. 5. Абрис, отрисованный на основе ортофотоплана в прямоугольной системе координат (ОАН «Курганная группа „Юстыд-13“, кон. I тыс. до н. э.»).
 Fig. 5. The outline drawn on the basis of an orthomosaic in a rectangular coordinate system (archaeological heritage site "Burial Mounds "Yustyd-13", end of the 1st millennium BC")

Заключительным этапом работ стал процесс составления топографических планов памятников (рис. 6, 7).

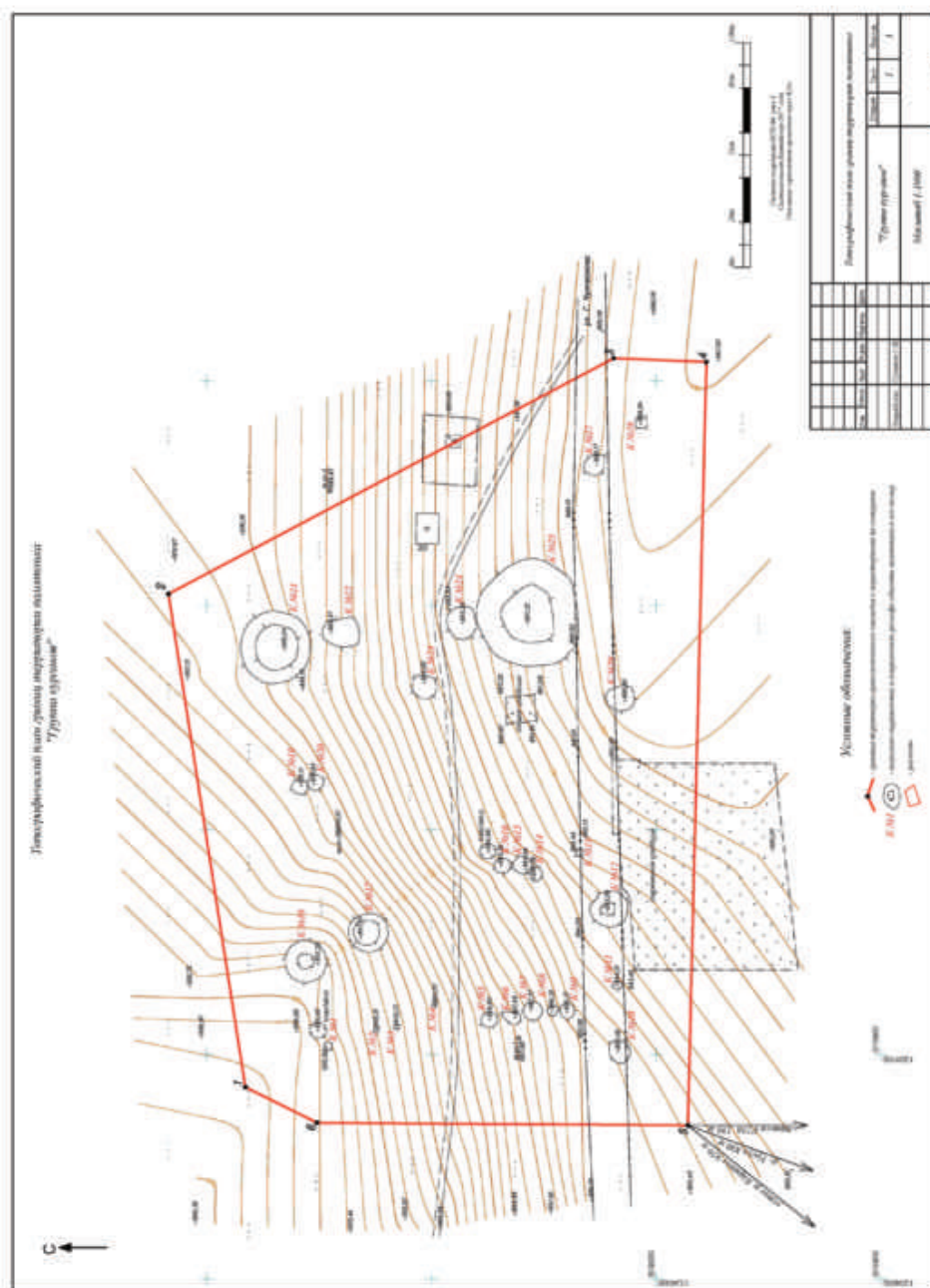


Рис. 6. Топографический план памятника «Группа курганов»
Fig. 6. Topographic plan of the archaeological site "A Group of Burial Mounds"

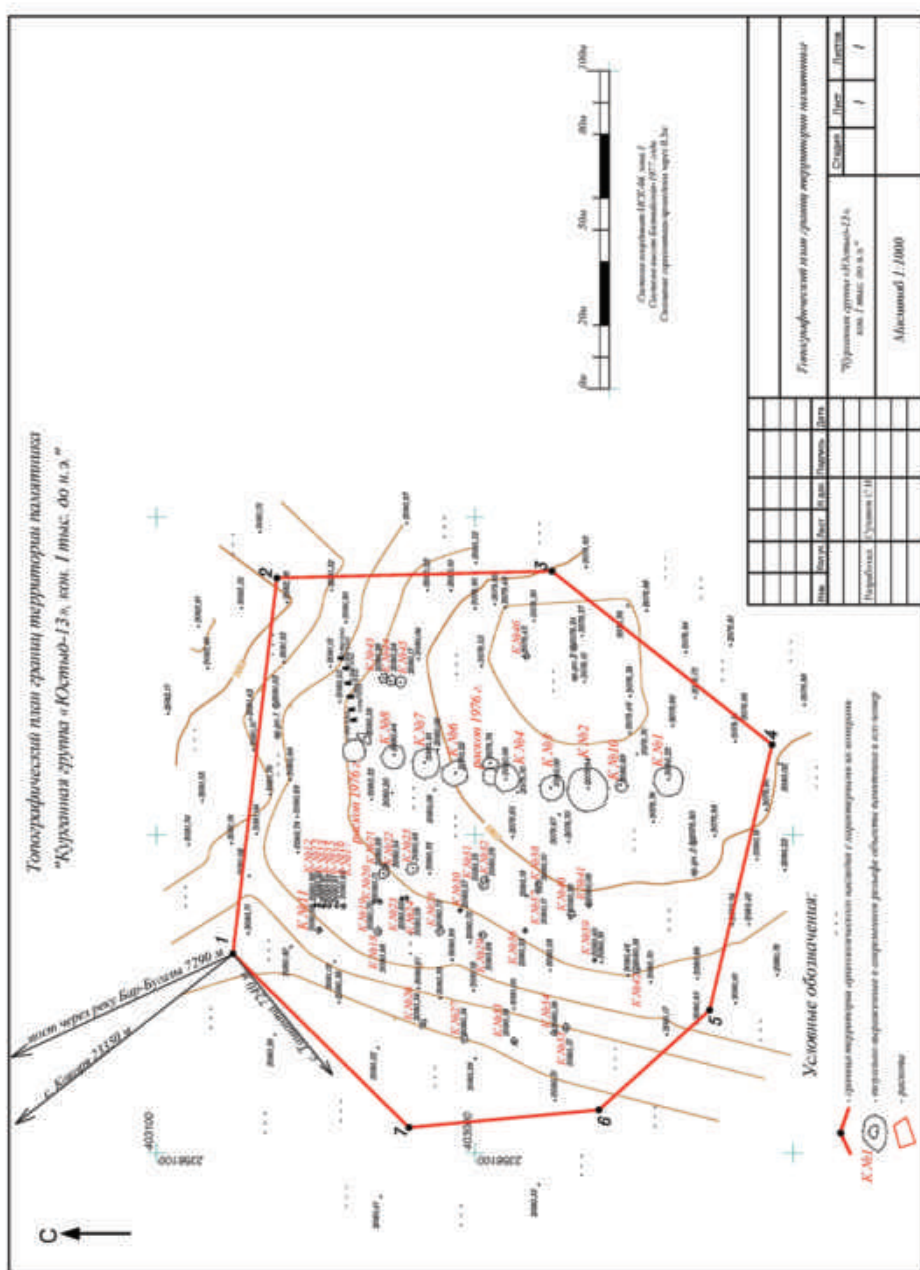


Рис. 7. Топографический план памятника «Курганная группа «Юстыд-13», кон. I тыс. до н.э.»
 Fig. 7. Topographic plan of the archaeological site "Burial Mounds "Yustud-13", end of the 1st millennium BC"

Заключение

В ходе проведенных исследований и экспериментов была предложена и апробирована методика комбинированной съемки археологических памятников, предусматривающая помимо традиционных методов (археологической разведки и GNSS-съемки) использование аэрофотосъемки. Использование GNSS на полевом этапе заключается в фиксации опорных точек-маркеров, а также характерных точек рельефа. При планировании полетного задания для дрона следует обращать внимание на рельеф и наличие строений и инженерно-технических сооружений. Съемка в надир является предпочтительной для построения наиболее точных в плановом положении ортофотопланов.

Вся последовательность камеральной обработки представлена операциями — от ввода и уравнивания геодезических данных и до оформления готовых топографических планов, которые создавались в программе CredoТопоплан.

На основании вышеизложенного считаем целесообразным рекомендовать предложенную методику для целей крупномасштабного картографирования объектов археологического наследия в рамках проводимой инвентаризации памятников. Кроме того, необходимость постановки всех учтенных археологических объектов на кадастровый учет предполагает производство таких съемок с высокой точностью (прежде всего, в плане). Относительно точности следует упомянуть о том, что средняя квадратическая ошибка в плане не превышала 0,2 м, точность по высоте варьирует значительно больше — от 0,15 до 0,35 м. Это можно объяснить низкой точностью определения высот бортовым компьютером дрона, проецирующим значения на точки местности.

Таким образом, для совершенствования методики и получения в будущем более точных высотных характеристик требуется продолжение исследований, предполагающих проведение ряда дополнительных экспериментов с аналогичным комплектом оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Крупочкин Е., Папин Д. В. О перспективах использования беспилотной съемки в археологических исследованиях // Теория и практика археологических исследований, 2018. № 4 (24). С. 71–84.

Методика определения границ территорий объектов археологического наследия. Рекомендована Министерством культуры Российской Федерации к применению с 1 января 2012 года. Письмо Министерства культуры РФ от 27 января 2012 г. № 12–01–39/05–АБ.

Положение о порядке проведения археологических полевых работ и составления научной отчетной документации (утверждено постановлением бюро Отделения историко-филологических наук Российской академии наук от 20.06.2018 № 32).

REFERENCES

Krupochkin E., Papin D. V. O perspektivah ispol'zovaniya bespilotnoj s'emki v arheologicheskikh issledovaniyah [On the Prospects of Using an Unmanned Aerial Vehicle in Archaeological Research] *Teoriya i praktika arheologicheskikh issledovanij* [Theory and Practice of Archaeological Research], 2018. № 4 (24). Pp. 71–84. (*In Russ.*)

Metodika opredeleniya granic territorij ob'ektov arheologicheskogo naslediya. Rekomendovana Ministerstvom kul'tury Rossijskoj Federacii k primeneniyu s 1 yanvarya

2012 goda [Methodology for Determining the Boundaries of the Territory of Archaeological Heritage Sites. Recommended by the Ministry of Culture of the Russian Federation for Use Since January 1, 2012.]. Pis'mo Ministerstva kul'tury RF ot 27 yanvarya 2012 g. № 12–01–39/05-AB. (In Russ.)

Polozhenie o poryadke provedeniya arheologicheskikh polevykh rabot i sostavleniya nauchnoj otchetnoj dokumentacii (utverzhdено postanovleniem byuro Otdeleniya istoriko-filologicheskikh nauk Rossijskoj akademii nauk ot 20.06.2018 № 32) [Regulations on the Procedure for Carrying Out Archaeological Field Work and Drawing up Scientific Reporting Documentation (Approved by the Decree of the Bureau of the Department of Historical and Philological Sciences of the Russian Academy of Sciences No. 32 Dated 20.06.2018)]. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Федорук Александр Сергеевич, кандидат исторических наук, научный сотрудник Отдела сопровождения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ Алтайского государственного университета, г. Барнаул, Российская Федерация.

Alexander Sergeevich Fedoruk, Candidate of Historical Sciences, a Researcher of the Department of Research and Development, Altai State University, Barnaul, Russian Federation.

Папин Дмитрий Валентинович, кандидат исторических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории междисциплинарного изучения археологии Западной Сибири и Алтая Алтайского государственного университета, г. Барнаул, заведующий Барнаульской лабораторией археологии и этнографии Южной Сибири Института археологии и этнографии СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация.

Dmitry Valentinovich Papin, Candidate of Historical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory for Interdisciplinary Study of Archaeology of Western Siberia and Altai, Altai State University, Barnaul, Head of Barnaul Laboratory of Archaeology and Ethnography of Southern Siberia, Institute of Archaeology and Ethnography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation.

Крупочкин Евгений Петрович, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой экономической географии и картографии Института географии Алтайского государственного университета, г. Барнаул, Российская Федерация.

Evgeny Petrovich Krupochkin, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Economic Geography and Cartography, Institute of Geography, Altai State University, Barnaul, Russian Federation.

Суханов Сергей Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической кибернетики и прикладной математики Института математики и информационных технологий Алтайского государственного университета, г. Барнаул, Российская Федерация.

Sergey Ivanovich Sukhanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theoretical Cybernetics and Applied Mathematics, Institute of Mathematics and Information Technologies, Altai State University, Barnaul, Russian Federation.

Материал поступил в редколлегию 16.02.2021.

Статья принята в номер 06.05.2021.