

Д.В. Папин^{1, 2✉}, Е.П. Крупочкин², И.А. Савко^{1, 2}

¹Институт археологии и этнографии СО РАН
Новосибирск, Россия

²Алтайский государственный университет
Барнаул, Россия

E-mail: papindv@mail.ru

Опыт применения БПЛА самолетного типа для ландшафтной археологии на примере археологического микрорайона Юстыд

В статье представлены результаты междисциплинарных исследований археологического микрорайона Юстыд, являющиеся продолжением цикла работ, посвященных изучению этого уникального по своему разнообразию археологического наследия, комплекса. Центральным понятием и предметом исследования является археологический ландшафт, под которым понимается анализ природно-географических условий в системе «человек–среда обитания–ландшафт». Учитывая большую площадь исследования, с одной стороны, и огромное разнообразие памятников с другой, представляется важным и перспективным адаптирование применительно к решаемым задачам технологии БПЛА-съемки с помощью летающего крыла / самолета. Для исследованного участка характерным является большое разнообразие археологических памятников, как с точки зрения конфигурации, так и с позиции датирования. Наряду с преобладающими памятниками скифской эпохи, в пойме долины встречаются памятники, предположительно, эпохи бронзы и раннескифского периода. Фактически можно констатировать наибольшую концентрацию херексуров именно на этом участке. Высокая детальность и проработка текстуры ортомозаики представляет ценный материал для их дальнейшего изучения. В результате выполненных наземных измерений и воздушной аэросъемки за два дня снято более 500 га площади. С помощью дальнейшей фотограмметрической обработки отснятых материалов, с использованием данных наземных GNSS-измерений построены цифровые продукты с высоким разрешением: ортофотоплан, цифровая матрица, трехмерная модель. Обращено внимание на «эффект отмывки», полученный в ходе вечерней съемки при косом освещении. Такой подход можно практиковать в дальнейшем, напр., при изучении планиграфии памятников и их отдельных элементов, а также при отрисовке объектов на топографических планах. Накопленные материалы по Юстыду содержат большой потенциал для изучения и анализа объектов с помощью вычисления индексированных изображений и послужат основой для публикации объединенной интерактивной карты Юстыда.

Ключевые слова: ортофотоплан, фотограмметрия, беспилотный летательный аппарат, археологическая разведка, херексур, Юстыд, Горный Алтай.

D.V. Papin^{1, 2✉}, E.P. Krupochkin¹, I.A. Savko^{1, 2}

¹Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS
Novosibirsk, Russia

²Altai State University
Barnaul, Russia

E-mail: papindv@mail.ru

Use of Aircraft-Type UAVs for Landscape Archaeology (Yustyd Archaeological Microdistrict)

This article presents interdisciplinary research in the Yustyd archaeological microdistrict, which continued the study of this archaeological heritage area, unique in its diversity. The central subject of research was archaeological landscape. Its research involves analyzing natural geographical conditions in the “man-habitat-landscape” system. Considering great area and variety of sites both in their configuration and dating, it was decided to use drones. Along with predominant number of sites of the Scythian period, sites of presumably Bronze Age and Early Scythian period are located in the floodplain of the valley. The greatest concentration of khirigsuurs is also in that area. High detail and elaboration of texture in orthomosaics provided valuable data

for further study of these objects. Ground measurements and aerial photography made it possible to examine over 500 hectares of area in two days. High-resolution digital products (orthomosaic, digital matrix, and three-dimensional model) resulted from further photogrammetric processing of the footage using data from the ground-based GNSS measurements. The "tinting effect" obtained during evening shooting under oblique lighting can be used in the future, for example, while studying planigraphy of sites and their individual elements, and for drawing objects on topographic plans. The evidence on Yustyd has great capacity for the study and analysis of objects using calculation of indexed images, and may serve as a basis for elaborating a comprehensive interactive map of Yustyd.

Keywords: *orthophotomap, photogrammetry, unmanned aerial vehicle, archaeological exploration, khirgisuur, Yustyd, Altai Mountains.*

Введение

В наших исследованиях мы исходили из следующих соображений. Для проведения реконструкций и анализа влияния природно-географических условий на жизнедеятельность человека в скифский период, необходим максимально полный перечень объектов – база данных (БД). Желательно, чтобы для таких объектов вопрос с датировкой был окончательно решен, либо такая датировка должна быть определяема с той или иной степенью достоверности. Так как физических и других возможностей для массовых раскопок по всей долине не было (их также не было и у других исследователей), допустимо использование междисциплинарных методов, позволяющих такие объекты датировать. Важным инструментом анализа является картографический метод, при этом задача картографирования актуальна для всех типов объектов археологии – как для датированных, так и для новых, недавно обнаруженных и нанесенных на план, но при этом тщательно не исследованных. От наличия точной археологической карты зависят возможности ретроспективного моделирования и пространственного анализа, что особенно важно, напр. для понимания перемещения населения и реконструкции очагов его максимальной концентрации в разные периоды.

Между тем, одна из ключевых проблем состоит в возможности получения и интерпретации максимально точных пространственно-географических данных, характеризующих археологический ландшафт. Под этим понимаются: точные координаты и максимально достоверное описание планиграфии археологических объектов и комплексов, анализ геолого-геоморфологических условий, анализ морфометрии рельефа (как фактора обитания) и гидрографии, преобладающих типов ландшафта и др.

Таким образом, цель нашего исследования – анализ природно-географических условий в системе «человек – среда обитания – ландшафт» правобережного участка археологического микрорайона (АМР) Юстыд.

Задачи исследования.

1. С использованием БПЛА самолетного типа сделать съемку правобережного участка АМР Юстыд и последующую фотограмметрическую обработку с созданием продуктов – ортофотоплана, цифровой модели / матрицы высот и 3D-модели.

2. Выполнить морфологический и планиграфический анализ объектов, выявленных в результате съемки, установить специфику расположения и конфигурации объектов на исследуемом участке.

3. Соотнести полученные результаты с имеющимися данными, опубликованными ранее на район исследования (долина Юстыд), оценить возможности экстраполяции использованных методов и технологий для продолжения дальнейших исследований.

Характеристика района работ

Юстыд является притоком р. Чуя. Его бассейн расположен на склонах хребтов Сайлюгем – в южной части, Чихачева – северо-восточная часть и Курайского хребта – в северной части. В высотном диапазоне территория простирается от 2 072,5 м (урез р. Юстыд) до 2 200 м на левом берегу и до 2 300 м – на правом. Территория в физико-географическом отношении относится к Юго-Восточной Алтайской провинции Алтае-Саянской горной страны (Атлас Алтайского края, 1978). В нижней части бассейна преобладают пологоувалистые днища котловин, сложенные галечниковыми, суглинисто-щебнистыми и суглинистыми ледниковыми, делювиальными и аллювиальными отложениями, с лапчатково-попынно-мелкодерновиннозлаковыми степями на темно-каштановых и каштановых горных почвах.

В средней по высоте части бассейна преобладают холмисто-увалистые пенеplenизированные высокогорья с покровом суглинисто-валунной морены и супесчано-суглинистых озерно-ледниковых отложений. При этом чуть пониже они с осоково-злаково-кобрезиевой тундрой на горно-тундровых почвах в сочетании с мелкодерновиннозлаковыми степями на горных каштановых почвах (на склонах южной экспозиции). А чуть выше с луговой и кустарниковой заболоченной тундрой на горно-тундровых дерновых и торфянисто-глеевых почвах. Верхняя часть бассейна Юстыда занята крутосклонными глубокорасчлененными скалистыми высокогорьями с каменистыми россыпями с фрагментами моренных отложений с моховой и кустарниковой тундрой на горно-тундровых слаборазвитых почвах. Днища торговых долин и их пойменные части сложены суглинисто-галечниково-валунными отложениями, на которых встречаются травянистые и моховые болота в сочетании с луговой тундрой, ер-

никами и альпийскими лугами на горно-тундровых и горно-луговых почвах.

В климатическом отношении это один из самых суровых районов Алтая. Климат здесь отличается, как и много лет назад, низкими средними годовыми температурами, продолжительной и очень холодной зимой, коротким относительно сухим и прохладным летом. Это самое холодное место в Республике Алтай. Для района характерны резкие перепады температуры в течение суток. Зима очень малоснежна и длится более 7 месяцев. По своим геоморфологическим и природно-климатическим условиям район является высокогорным и приравнен к Крайнему Северу [Кубарев, 1991; Sljusarenko, Krupochkin, Vykov, 2007].

В административном плане исследуемый археологический микрорайон расположен в юго-восточной части республики Алтай, граничит с Республикой Тыва (граница с субъектами РФ), Улаганским, Усть-Коксинским и Онгудайским р-ми (внутренние границы), а также с Монголией, Китаем и Казахстаном (рис. 1).

На этапе активных исследований Юстыда, начиная с 80-х годов прошлого столетия, в Юго-Восточном Алтае были открыты погребальные и ритуальные комплексы эпохи бронзы, скифского и тюркского времени, зафиксированы памятники железоделательного производства, гончарные мастерские, этнографические стоянки. Наряду с этим проблема точного описания местоположения (координатной привязки) и картографирования памятников долины Юстыда, по существу, осталась нерешенной. Территория Юго-Восточного Алтая недостаточно подробно изучена, т.к. исследования проводятся выборочно – в пределах небольших площадок. В результате множество объектов (херекурсы, ритуальные оградки, каменные

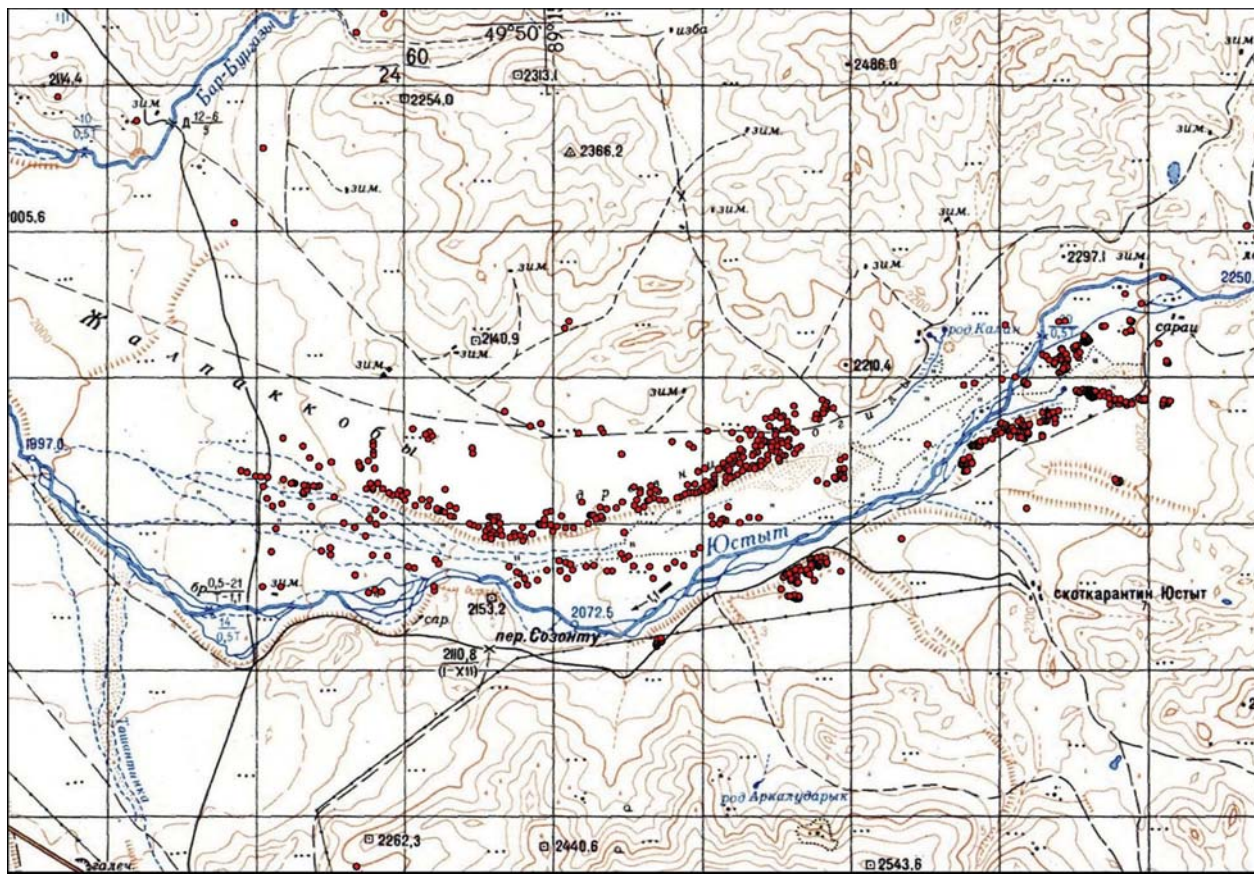
насыпи и т.д.) до настоящего времени не имеют четкой географической и координатной привязок.

В некоторой степени косвенным подтверждением этого являются археологические карты, по сути, являющиеся результатом каталогизации собранного материала об археологических объектах. Так к примеру, на археологических картах Юго-Восточного Алтая 1980 и 2003 гг. мы наблюдаем достаточно наглядную картину, подтверждающую что с момента полевых исследований В.Д. Кубарева (70–80-е гг. XX в.) – фактически через четверть века, ситуация с картографическим обеспечением, а следовательно и с возможностью дальнейшего анализа памятников скифской эпохи, значительным образом не изменилась. Исключением являются памятники плато Укок, обнаруженные и изученные В.Д. Кубаревым, Н.В. Полосьмак, В.И. Молодиным, И.Ю. Слюсаренко и др. археологами.

На рубеже XX и XXI вв. и в современный период археологическими изысканиями долины р. Юстыд, кроме профессора В.Д. Кубарева, занимались многие ученые. Среди них отметим исследования Эстер Якобсон и ее коллег из университета Аризоны (США). Группа энтузиастов на протяжении нескольких лет, начиная с 1992 г., занималась изучением обширных территорий Южной Сибири, в т.ч. Чуйской степью и долиной Юстыда. В своих исследованиях они показали новые возможности использования ГИС в археологических изысканиях больших территорий. Для разработки базы данных авторы одни из первых применили спутниковые технологии и радионавигационные системы. По их мнению, междисциплинарные подходы позволяют экономить время на решение задач картографирования и каталогизации археологических объектов. В том числе это относится к решению такой попутной задачи, как наглядная демонстрация результатов исследований и их публи-



Рис. 1. Географическое положение района исследований – археологического микрорайона Юстыд (облако точек в натуральном/естественном цвете).



• объекты археологического наследия

Рис. 2. Карта-схема археологического микрорайона Юстыд на топографической карте.

кация в сети Интернет с возможностью предоставления доступа к метаданным археологической ГИС [Jacobson et al., 1994].

Существенный вклад в исследования Юстыда внесли работы коллег Гентского университета – Вутера Гейле, Жана Буржуа и др. Данный район вызвал большой интерес бельгийских ученых. С 2004 по 2006 г. параллельно с нашими исследованиями группа археологов из Бельгии под руководством профессора Жана Буржуа занималась сплошным картографированием и составлением базы данных археологических объектов долины Юстыда (правый берег) и других территорий. Результаты их работы по ГИС-картографированию и ландшафтному анализу отражены в ряде публикаций [Буржуа и др., 2010; Bourgeois et al., 2017; Goossens et al., 2006; Plets et al., 2012].

Методы и технологии получения, обработки и анализа данных об археологических памятниках Юстыда

Наши исследования носят междисциплинарный характер и сочетают в себе методы археологической разведки с использованием аэрофотосъемки и фотограмметрической обработки снятых материалов, на-

земные GNSS-измерения и классические полевые методы с раскопками и взятием образцов [Крупочкин, Папин, 2021].

Выбор в качестве полигона рассматриваемой территории во многом обусловлен с одной стороны, высокой концентрацией археологических объектов, а с другой природными особенностями, когда низкая растительность позволяет производить аэрофотосъемку (рис. 1). По сути, спектр решаемых нами задач лежит в плоскости ландшафтной археологии. Известно, что ландшафтная археология требует активного сотрудничества между широким кругом дисциплин. Задача понимания ландшафтов как целостных образований требует специальных знаний как гуманитарных, так и естественных наук [Дьяконов, 2023].

По Д.С. Коробову, «ландшафтная археология – особый мультидисциплинарный подход к изучению взаимодействия человека с окружающей средой, адептами которого с середины 1980-х гг. используются различные процедуры, в основном проблемно-установочного характера, заимствованные или адаптированные из естественных наук». Для представителей данного направления характерны: комплексный подход к изучению поселений, широкое использование различных методов естественных наук (почвоведение, палинология, археозоология, аэрофотосъемка и пр.).

При этом основной акцент делается на изучение системы хозяйствования и использования населением окружающих ландшафтов, что дает право считать представителей этой школы пионерами в области ландшафтной археологии [Коробов, 2017]. Таким образом, ландшафтная археология отражает междисциплинарный подход в изучении памятников археологии и исторического ландшафта в контексте природно-географических условий, это главные ее задачи.

Обратимся к нашему опыту применения метода аэрофотосъемки с использованием БПЛА самолетного типа и процессу обработки отснятых материалов. Съемка выполнялась в средней части долины р. Юстыд 3 и 4 августа текущего года. В качестве основного инструмента использовался БПЛА самолетного типа: SenseFly eBee X с камерой «MicaSense RedEdge-MX». Его главные особенности: надежность; простота в освоении и эксплуатации; большой выбор фотокамер, возможность замены полезной нагрузки и др.

Комплектация данного БВС представлена в таблице. Время полета SenseFly eBee X составляет от 40 до 60 мин. в зависимости от погодных условий. Время полета может быть увеличено до 90 мин. при использовании технологии «Endurance Extension». Однако в нашем случае использовались стандартные батареи и стандартная технология.

Особенностью используемой камеры является возможность одновременной съемки в пяти дискретных спектральных диапазонах для получения геометрически и радиометрически точной и полной информации о земной поверхности, включая такие важные индикаторы, как растительность и увлажненность. Камера позволяет производить съемку в пяти диапазонах спектра (зеленый, красный, красный крайний, ближний инфракрасный и синий), необходимых для идентификации археологических объектов, предварительной оценки их состояния и определения границ.

В качестве текущих технических задач, решаемых в полевых условиях, можно выделить следующие: апробация технологии геопривязки и фотограмметрической обработки ортофотопланов с использованием

на основе системы опорных точек/маркеров. Данный вид работ обеспечивался двумя видами измерений: наземной инструментальной GNSS-съемкой и БПЛА-съемкой с использованием БВС самолетного типа.

Результатом данного вида работ являлось – обработка технологии создания топографических планов и других параллельно создаваемых цифровых продуктов (ортофотоплан; цифровая модель высот (рельефа); облако точек для отрисовки горизонталей).

Использование БПЛА-съемки позволяет существенно сэкономить ресурсы и временные затраты. Так, напр., участок площадью 175 га был снят в течение одного рабочего дня. Между тем, организация и проведение летно-съемочного процесса не исключает, по крайней мере, выполнение геодезической съемки опорных знаков. Без их использования невозможно выполнить полный цикл геометрической коррекции и построить модель. Опорные знаки представляют собой изготовленные пластиковые квадраты белого цвета размером 1 × 1 м). На снимаемом участке равномерно было расставлено пять таких знаков.

Ключевые этапы выполняемых работ

Шаг 1. Изучение и рекогносцировка исследуемой территории, построение маршрута полета, координирование поворотных точек полетного задания.

Шаг 2. Расстановка на местности опорных опознавательных знаков.

Шаг 3. Летно-съемочный процесс.

Шаг 4. GNSS-измерения опорных точек и характерных точек рельефа.

Шаг 5. Фотограмметрическая обработка и создание проекта в ГИС.

Особое внимание акцентируем на характере выполняемых работ по созданию съемочного обоснования. Измерение пространственных координат точек съемочного обоснования выполнялось GNSS-приемником Trimble 5700 в системе координат WGS-84. Представленные точки служат основой не только для коррекции привязки в пакетах геообработки, но и основой для проекционных преобразований их фотограмметрической системы (центральной проекции) в геодезическую.

Комплектация стандартного комплекта БВС самолетного типа «Sense Fly eBee-X»

Тип (наименование)	DJI Inspire 1 V2.0
Бортовой геодезический высокоточный	GPS/ГЛОНАСС приемник L1/L2 RTK/PPK (не активирован)
ПО для планирования и управления полетом	Программа «eMotion 3.0»
USB радиомодем	2,4 ГГц
Пульт управления	2,4 ГГц
Аккумулятор	В комплектации – 2 шт.
Зарядное устройство для аккумуляторов	1 зарядное устройство
Запасные части	Пропеллеры и крепления для них
Кейс для транспортировки БПЛА	Наличие
Технические консультации по использованию БПЛА и ПО	Осуществлялось обучение в ООО «Центр беспилотных технологий», Новосибирск

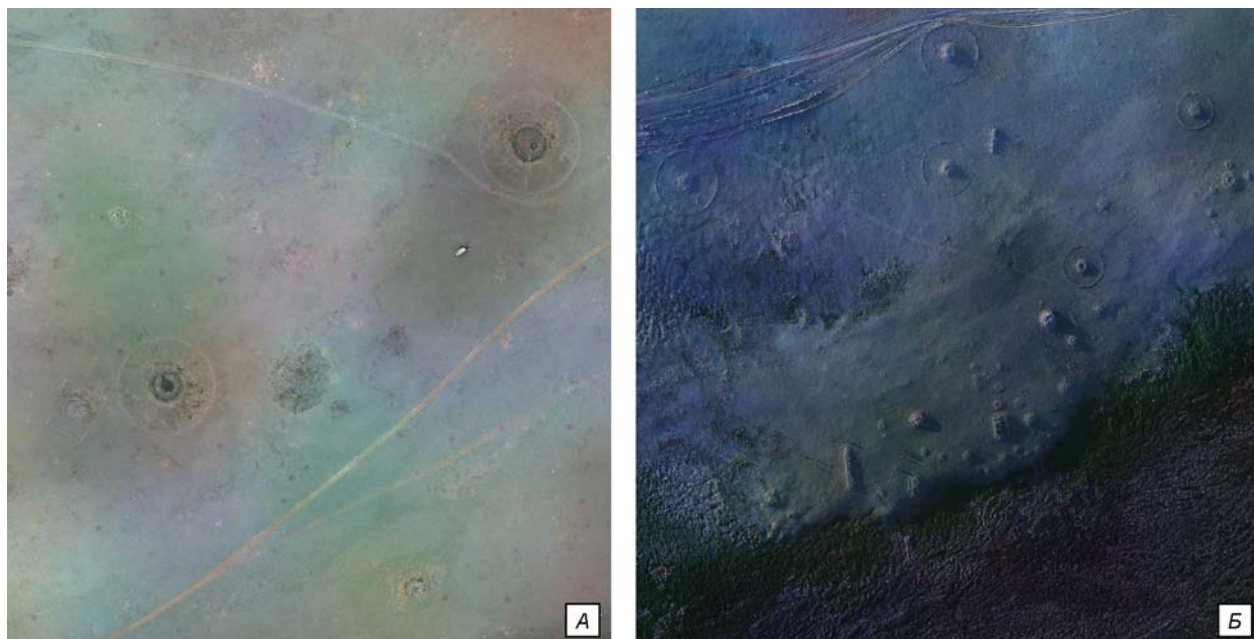


Рис. 3. Фрагмент ортофотоплана дневной (А) и вечерней (Б) съемки с самолета, обработанной в программе Metashape.

Фотограмметрическая обработка снимков (шаг 5) представляет собой компьютерную автоматизированную цифровую обработку фотоматериалов с последующим созданием цифровой модели рельефа и ортофотоплана. Для фотограмметрической обработки материалов мы использовали отечественную программу *Agisoft Metashape*. Выбор данного программного обеспечения обусловлен высокой степенью автоматизации в сравнении с другим ПО.

Полный и развернутый алгоритм фотограмметрической обработки данных с БПЛА описан в руководстве пользователя *Agisoft Metashape*.^{*} Наиболее оптимальный цикл операций фотограмметрической обработки можно представить пятью основными этапами: 1) создание фотограмметрического проекта с использованием режима отображения навигационных центров; 2) создание геопривязанного проекта на основе опорных знаков в системе координат и высот WGS-84; 3) построение системы связующих точек; 4) построение плотного облака точек высокого качества; 5) построение цифровой модели рельефа (ЦМР) и ортофотоплана.

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 заданной системе координат и высот, т.к. без уравнивания по ним, отклонения по высоте могут быть довольно существенными. Заключительным этапом стало создание ГИС-проекта, включающего полный набор простран-

ственных данных: облако точек с рельефом, опорные точки с координатами и высотами, ортофотоплан и цифровая модель высот.

Обсуждение результатов и выводы

В ходе проделанной работы на территории археологического микрорайона Юстыд был разработан комплект материалов, являющихся основой построения топографического плана с границами памятника, а также с отображением морфометрии и планиграфии археологических комплексов и их отдельных элементов.

Отметим некоторые особенности обработки. Прежде всего, стоит акцентировать внимание на необходимости построения качественной ЦМР, поскольку она является обязательным условием для создания ортофотоплана. Это крайне необходимо, поскольку значения высот учитываются при ортокоррекции полученного изображения (мозаики).

Кроме того, в ходе случайного эксперимента довольно интересным стало сравнение дневной (рис. 3, А) и вечерней (рис. 3, Б) съемок с самолета. Как видно из сравнения двух фрагментов ортофотоплана, на плане вечерней съемки большую роль сыграло косое солнечное освещение, создающее эффект «отмытки» и объемность даже на двумерном изображении. Такие четкие снимки позволяют обнаружить даже мельчайшие элементы конструкций (отдельные элементы насыпей, оградок, задернованные камни и др.). Напротив, дневная съемка дает как бы засвеченные снимки, для обнаружения мелких деталей и элементов памятника требуется сопоставление с цифровой моделью высот и наземной инструментальной съемкой (при наличии

^{*}https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_ru.pdf

таковой). Учитывая большую площадь съемки и большое количество выявленных объектов, предложенная методика оправдывает реализуемые задачи и экономит затраченные ресурсы.

В качестве основных цифровых продуктов, изготовленных в результате фотограмметрической обработки снимков, стали ортофотоплан, цифровая модель высот и система точек с отметками высот – облако точек. Следует отметить, что, во-первых, разработанные продукты являются самостоятельными полноценными цифровыми продуктами, готовыми к использованию для любых ГИС и средств обработки пространственных данных, а во-вторых, – это основа для отрисовки высококачественных пространственно-координированных абрисов и планов. На их основе возможно составление общего топографического плана и определение границ территории.

В методическом и технологическом аспектах апробированный нами подход можно предложить для целей оперативного изготовления археологических карт с высокой точностью, детальностью и наглядностью. С учетом растущих потребностей исследований, предполагающих изучение и моделирование археологического ландшафта, актуальной задачей является дальнейшее улучшение существующих методов и технологий поиска и сплошного картографирования объектов археологического наследия для обширных территорий с минимальными издержками с помощью БПЛА самолетного типа и инструментов наземных измерений. Полученный нами опыт показал целесообразность продолжения подобных исследований.

Благодарности

Интерпретация материалов археологических полевых работ выполнены по проекту НИР ИАЭТ СО РАН № FWZG-2022-0006 «Комплексные исследования древних культур Сибири и сопредельных территорий: хронология, технологии, адаптация и культурные связи». Полевые работы и камеральная обработка результатов реализована в рамках программы развития ФГБОУ ВО Алтайского государственного университета «Приоритет 2030» (проект «Историко-культурное наследие Чуйского тракта как фактор интенсификации и популяризации внутреннего туризма на Алтае»).

Список литературы

Буржуа Ж., Гейл В., Ван де Керхов Р., Дворников Э., Эбель А., Плетц Г. Отчет о бельгийско-российской экспедиции в горах Российского Алтая 2010: Полевые исследования и инвентаризация археологических объектов в долине Юстыд. Устойчивое развитие для археологического туризма вечная мерзлота на Алтае. – Горно-Алтайск: Изд-во Горно-Алт. гос. ун-та, 2010. – 40 с. – URL: <http://e-lib.gas.ru/konf/belg-rus.pdf> (дата обращения: 01.11.2023).

Дьяконов К.Н. Ландшафтоведение // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал

(дата публикации: 27.03.2023) – URL: <https://bigenc.ru/c/landshaftovedenie-db13b5/?v=6722704> (дата обращения: 01.11.2023).

Кирюшин Ю.Ф., Степанова Н.Ф., Тишкин А.А. Скифская эпоха Горного Алтая. Ч. II: Погребально-поминальные комплексы пазырыкской культуры. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2003. – 234 с.

Коробов Д.С. Система расселения алан Центрального Предкавказья в I тыс. н.э. (ландшафтная археология Кисловодской котловины). – М.; СПб.: Нестор-История, 2017. – Т. 1. – 384 с.

Крупочкин Е.П., Папин Д.В. Херексуры Юстыда: мультиспектральная съемка, опыт использования БПЛА для комплексного изучения // Теория и практика археологических исследований. – 2021. – Т. 33. – № 4. – С. 209–220. – doi: 10.14258/tpai(2021)33(4).-12

Крупочкин Е.П., Папин Д.В. Аэрокосмическая съемка в археологии: опыт применения и новые возможности // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. – 2022. – Т. XXVIII. – С. 575–582. – doi: 10.17746/2658-6193.2022.28.0575-0582

Кубарев В.Д. Археологические памятники Кош-Агачского района (Горный Алтай) // Археологический поиск (Северная Азия). – Новосибирск: Наука, 1980. – С. 69–91.

Кубарев В.Д. Курганы Юстыда. – Новосибирск: Наука, 1991. – 186 с.

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. – doi: 10.1016/j.ara.2017.02.003

Goossens R., De Wulf A., Bourgeois J., Gheyle W., Willems T. Satellite imagery and archaeology: the example of CORONA in the Altai Mountains // J. of Archaeol. Sci. – 2006. – N 33. – P. 745–755.

Jacobson E., Meacham J., Cutting D., Tepfer G. Patterns on the Steppe: Applying GIS to the Archaeology of the Altai Mountains // Geo Info Systems. – 1994 – Vol. 4. – N 3. – P. 32–45.

Plets G., Gheyle W., Verhoeven G., De Reu J., Bourgeois J., Verhegge J., Stichelbaut B. ThreeDimensional Recording of Archaeological Remains in the Altai Mountains // Antiquity. – 2012. – Vol. 86. – N 333. – P. 884–897.

Sljusarenko I.Y., Krupochkin E.P., Vykov N.I. Contemporary approaches to the problem of the Cartography of Archaeological Monuments (case study of the Yustyd archaeological micro region, Southeastern Altai) // The Frozen Tombs of the Altai Mountains: Strategies and Perspectives. – Gorno-Altai: Gorno-Altai State Univ. Press, 2007. – P. 110–118.

References

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. In *Archaeological Research in Asia*, 2017. Vol. 10. P. 17–31.

Burzhua Zh., Geil V., Van de Kerkhov R., Dvornikov E., Ebel’ A., Pletts G. Otchet o bel’giisko-rossiiskoi ekspeditsii v gorakh Rossiiskogo Altaya 2010: Polevye issledovaniya i inventarizatsiya arkhologicheskikh ob’ektov v doline Yustyd. Ustoichivoe razvitiye dlya arkhologicheskogo turizma vechnaya merzlota na Altae. Gorno-Altaysk: Gorno-Altaysk State Univ. Press, 2010. 40 p. URL: <http://e-lib.gasu.ru/konf/belg-rus.pdf> (Accessed: 01.11.2023). (In Russ.).

D’yakonov K.N. Landshaftovedenie. In *Bol’shaya rossiiskaya entsiklopediya: nauchno-obrazovatel’nyi portal*. (data publikatsii: 27.03.2023). URL: <https://bigenc.ru/c/landshaftovedenie-db13b5/?v=6722704> (Accessed: 01.11.2023).

Goossens R., De Wulf A., Bourgeois J., Gheyle W., Willems T. Satellite imagery and archaeology: the example of CORONA in the Altai Mountains. In *J. of Archaeol. Scie.*, 2006. Vol. 33. P. 745–755.

Jacobson E., Meacham J., Cutting D., Tepfer G. Patterns on the Steppe: Applying GIS to the Archaeology of the Altai Mountains. In *Geo Info Systems*, 1994. Vol. 4. N 3. P. 32–45.

Kiryushin Y.F., Stepanova N.F., Tishkin A.A. Skifskaya epokha Gornogo Altaya. Ch. II: Pogrebal’no-pominal’nye komplekсы pazyrykskoi kul’tury. Barnaul: Altai State Univ. Press, 2003. 234 p. (In Russ.).

Korobov D.S. Sistema rasseleniya alan Tsentral’nogo Predkavkaz’ya v I tys. n. e. (landshaftnaya arkhologiya Kislovodskoi kotloviny). Moscow; Saint Petersburg: Nestor-Istoriya, 2017. Vol. 1. 384 p. (In Russ.).

Krupochkin E.P., Papin D.V. Aerial and Satellite Survey in Archaeology: Application and New Opportunities. In *Problems of Archaeology, Ethnography, Anthropology of Siberia and Neighboring Territories*, 2022. Vol. 28. P. 575–582. (In Russ.). doi: 10.17746/2658-6193.2022.28.0575-0582

Krupochkin E.P., Papin D.V. Khirgisuurs of Yustyd: Multispectral Imagery, Experience of Using UAVs for Complex Study. In *Theory and Practice of Archaeological Research*, 2021. N 4 (33). P. 209–220. (In Russ.). doi: 10.14258/tpai(2021)33(4)-12

Kubarev V.D. Arkheologicheskie pamyatniki Kosh-Agachskogo raiona (Gornyi Altai). In *Arkheologicheskii poisk (Severnaya Aziya)*. Novosibirsk: Nauka, 1980. P. 69–91. (In Russ.).

Kubarev V.D. Kurgany Yustyda. Novosibirsk: Nauka, 1991. 230 p. (In Russ.).

Plets G., Gheyle W., Verhoeven G., De Reu J., Bourgeois J., Verhegge J., Stichelbaut B. ThreeDimensional Recording of Archaeological Remains in the Altai Mountains. In *Antiquity*, 2012. Vol. 86. N 333. P. 884–897.

Sljusarenko I.Y., Krupochkin E.P., Bykov N.I. Contemporary approaches to the problem of the Cartography of Archaeological Monuments (case study of the Yustyd archaeological micro region, Southeastern Altai). In *The Frozen Tombs of the Altai Mountains: Strategies and Perspectives*, Gorno-Altaysk: Gorno-Altaysk State Univ. Press, 2007. P. 110–118.

Папин Д.В. <https://orcid.org/0000-0002-2010-9092>

Крупочкин Е.П. <https://orcid.org/0000-0002-9652-4655>

Савко И.А. <https://orcid.org/0000-0002-7463-7333>