

Научная статья / Article

УДК 902.26 (571.151)

[https://doi.org/10.14258/tpai\(2021\)33\(4\).-12](https://doi.org/10.14258/tpai(2021)33(4).-12)

ХЕРЕКСУРЫ ЮСТЫДА: МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНАЯ СЪЕМКА, ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ

Евгений Петрович Крупочкин¹, Дмитрий Валентинович Папин²

¹Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия,
evgeny.krupochkin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9652-4655>

²Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск, Россия,
rapindv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2010-9092>

Резюме. В статье рассматриваются методические вопросы картографирования объектов археологического наследия дистанционным образом с помощью беспилотных аппаратов. В качестве полигона был выбран участок долины р. Юстыд на территории Кош-Агачского района Республики Алтай. Участок съемки 2021 г. охватывал территорию правого берега с максимальной концентрацией объектов больших размеров, прежде всего херексуров, отличающихся разнообразием формы и внутреннего строения. Для мультиспектральной съемки археологических памятников использовали беспилотный летательный аппарат DJI Inspire 1 (ver. 2.0), конструктивной особенностью которого являлась дополнительная мини-платформа, расположенная в задней части корпуса. Платформа была смонтирована для установки камеры Parrot Sequoia и дополнительной батареи — источника автономного питания камеры. Процесс фотограмметрической обработки снимков представлял собой компьютерную автоматизированную цифровую обработку фотоматериалов с последующим созданием мозаичного ортофотоплана. Для фотограмметрической обработки материалов была выбрана программа Agisoft Metashape. Полученные результаты были подвергнуты индексной (тематической) обработке мультиспектральных снимков на основе комбинации зеленого, красного и ближнего инфракрасного каналов. В ходе сравнительного анализа построенных изображений обнаружены следующие закономерности. Индекс MCARI позволяет обнаруживать курганные могильники и элементы конструкции, выраженные в геометрии (плане). Детектирование различных «аномалий», характеризующих наличие мелких элементов в задернованных слоях, возможно при дополнительной обработке фильмами. Таким образом, установлено, что мультиспектральная съемка является новым высокотехнологичным инструментом при выполнении археологической разведки, поиске новых объектов и уточнении конфигурации ранее исследованных объектов, при картографировании отдельно стоящих памятников и археологических комплексов в целом.

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

Благодарности: исследование выполнено в рамках госзадания ИАЭТ СО РАН: тема №0329-2019-0003 «Историко-культурные процессы в Сибири и на сопредельных территориях».

Для цитирования: 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. [https://doi.org/10.14258/tpai\(2021\)33\(4\).-12](https://doi.org/10.14258/tpai(2021)33(4).-12).

KHIRGISUURS OF YUSTYD: MULTISPECTRAL IMAGERY, EXPERIENCE OF USING UAVS FOR COMPLEX STUDY

Evgeny P. Krupochkin¹, Dmitry V. Papin²

¹Altai State University, Barnaul, Russia,

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

²Institute of Archeology and Ethnography, SB RAS, Novosibirsk, Russia,

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

Abstract. The article discusses the methodological issues of remote mapping objects of archaeological heritage using unmanned aerial vehicles. A section of the Yustyd river valley on the territory of the Kosh-Agach district of the Altai Republic was chosen as a polygon. The survey area in 2021 covered the territory of the right bank with the maximum concentration of large objects, first of all, khirgisuurs, which are distinguished by a variety of shapes and internal structures. For multispectral shooting of archaeological sites, an unmanned aerial vehicle DJI Inspire 1 (ver. 2.0) was used, a design feature of which was an additional mini-platform located in the rear of the hull. The platform was mounted for the installation of a Parrot Sequoia camera and an additional battery — a source of autonomous power supply for the camera. The process of photogrammetric processing of images was a computer automated digital processing of photographic materials with the subsequent creation of a mosaic orthomosaic. Agisoft Metashape software was chosen for photogrammetric processing of materials. The results obtained were subjected to index (thematic) processing of multispectral images based on a combination of green, red and near infrared channels. In the course of a comparative analysis of the constructed images, the following regularities were found. The MCARI index makes it possible to detect burial mounds and structural elements expressed in geometry (plan). Detection of various “anomalies” characterizing the presence of small elements in the turf layers is possible with additional filter processing. Thus, it has been established that multispectral imaging is a new high-tech tool for performing work: archaeological exploration, searching for new objects and clarifying the configuration of previously studied objects, when mapping stand-alone sites and archaeological complexes in general.

Keywords: orthophotomap, photogrammetry, unmanned aerial vehicle, archaeological exploration, khirgisuur, Yustyd, mountainous Altai

Acknowledgements: the research was carried out with the support of the theme of the Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS: №0329-2019-0003 “Historical and Cultural Processes in Siberia and Neighboring Territories”.

For citation: Krupochkin E.P., Papin D.V. Khirgisuurs of Yustyd: : Multispectral Imagery, Experience of Using UAVs for Complex Study. *Teoriya i praktika arheologicheskikh issledovanij = Theory and Practice of Archaeological Research*. 2021;33(4):209-220. (In Russ.). [https://doi.org/10.14258/tpai\(2021\)33\(4\).-12](https://doi.org/10.14258/tpai(2021)33(4).-12).

Введение

В настоящее время в отечественной и мировой археологии формируется новое направление, связанное с использованием современных информационных технологий и получившее название digital archeology. В рамках этого подхода используются и методы дистанционного сканирования земной поверхности. Это в значительной степени расширяет возможности комплексного изучения археологических памятников в их взаимосвязи с природно-географическими условиями и отдельными факторами среды обитания человека. Получение пространственно-координированных дан-

ных является важным дополнением этой информации, которое позволяет нанести новые данные на электронную карту в пространственно-временном разрезе.

Исследования пространственных закономерностей расположения археологических памятников ведутся с середины прошлого века. Между тем новый этап наступил в начале 1990-х гг. и связан прежде всего с развитием ГИС-технологий, инструментальных и дистанционных средств измерений и сбора полевых данных. Одним из таких примеров является использование БПЛА-технологий в комплексе с фотограмметрической обработкой и тематическим дешифрированием.

Предметом наших исследований был выбран участок долины р. Юстыд в Кош-Агачском районе Республики Алтай, где локализуется группа херексурсов различных типов. Регион р. Юстыд характеризуется разнообразием археологического наследия, которое известно благодаря работам Владимира Дмитриевича Кубарева. Он предложил типологию разнообразных каменных сооружений и выполнил «рекогносцировочные работы по фиксации и картированию археологических памятников, расположенных по правому берегу реки» (Кубарев, 1980, с. 86–89). Археологические раскопки многочисленных разновременных объектов позволили заполнить белые пятна культурно-исторического развития региона (Кубарев, 1991; и др.). Вместе с тем вопросы точного описания местоположения (координатная привязка), картографирования памятников долины, разработка моделей в рамках исторических реконструкций, демонстрирующих природно-хозяйственное освоение территории, не решены в полном объеме. Не проведена комплексная оценка факторов и условий обитания древнего и средневекового человека в разные исторические эпохи. Поэтому применение технологии мультиспектральной БПЛА-съемки объектов археологического наследия Юстыда призвано отработать методику для ответа на вышеперечисленные вопросы.

Методы и методика исследований

На протяжении нескольких лет изучением и картографированием данной территории занимались разные исследователи: Н.И. Быков, Е.С. Богданов, Е.П. Крупочкин, И.Ю. Слюсаренко и др., проведенные ранее работы характеризуются акцентом на изучении возможностей дистанционных методов в археологии, разработкой и использованием математико-картографических моделей для оценки территориальной дифференциации условий обитания и др. (Крупочкин, 2009; Крупочкин, Слюсаренко, 2015; и др.). В плане закономерностей пространственного распределения памятников высокая концентрация объектов прослеживается не только на правом, более пологом берегу, но и в пойме, а также на более узких террасах левого берега р. Юстыд.

С 2004 г. исследованиями территории Юстыда активно занималась группа бельгийских исследователей из Гентского университета под руководством проф. Ж. Буржуа. Результаты их работы по картографированию и пространственно-временному анализу археологических объектов правого берега с использованием космических снимков спутниковой системы CORONA отражены в ряде публикаций (Goossens et al., 2006; Gheyle, 2009; Plets et al., 2012).

В 2020 г. в рамках государственного контракта по определению границ объектов археологического наследия Республики Алтай авторами была проведена геодезическая

GNSS-съемка памятников Юстыд-12 и Юстыд-13 с использованием БПЛА мультироторного типа DJI Inspire-1 (Федорук и др., 2021).

Первым этапом было изучение снимаемой территории, построение маршрута полета, координирование поворотных точек полетного задания. Далее следовала расстановка на местности опорных и контрольных опознавательных знаков. На снимаемых объектах были равномерно расставлены по пять опорных и несколько контрольных знаков. Далее собственно выполнялась БПЛА-съемка.

Процесс фотограмметрической обработки снимков представлял собой компьютерную автоматизированную цифровую обработку фотоматериалов с последующим созданием мозаичного ортофотоплана. Для фотограмметрической обработки материалов была выбрана программа Agisoft Metashape. Полный и развернутый алгоритм фотограмметрической обработки данных с БПЛА описан в руководстве пользователя Agisoft Metashape (Agisoft Metashape Professional...).

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;
- 2) создание геопривязки по опорным знакам в заданной системе координат;
- 3) создание системы связующих точек;
- 4) построение плотного облака точек;
- 5) создание цифровой модели местности.

Таким образом, нами был получен определенный опыт работ, связанный с применением технологии комбинированной съемки для долины Юстыда, что отражено в статье (Федорук и др., 2021).

Участок съемки 2021 г. охватывал территорию правого берега с максимальной концентрацией объектов внушительных размеров, прежде всего херексуров, отличающихся разнообразием формы и внутреннего строения (лучи разного направления, внешние оградки, выкладки по внешней стороне и т.д.; рис. 1–2).

Для мультиспектральной съемки использовался беспилотный летательный аппарат DJI Inspire 1. Особенностью конструкции являлась дополнительная мини-платформа, расположенная в задней части корпуса. Данный вид полезной нагрузки смонтирован и испытан специально под камеру Parrot Sequoia, а также для установки дополнительной батареи. Сама камера была закреплена на подвижные резиновые соединения, обеспечивающие защиту от вибрации и резких колебаний. Верхняя головная часть (с датчиком GPS и устройством записи) закреплена непосредственно над камерой. Такая конструкция зарекомендовала себя в 2019 г. во время испытаний при съемке объектов в районе с. Сентелек. Собственно БПЛА-съемка включала в себя три режима:

- 1) мультиспектральная съемка с перекрытием не менее 70%;
- 2) съемка в режиме стерео (угловая);
- 3) съемка в «свободном режиме» (ЗД-съемка).

Мультиспектральная камера Parrot Sequoia имеет следующие технические характеристики: фокусное расстояние 3.98 мм; разрешение матрицы 1280×960. Съемка од-

новременно ведется в четырех спектральных диапазонах: зеленый, красный, граница красного и ближнего инфракрасного, инфракрасный. Дальнейшая фотограмметрическая и тематическая обработка (дешифрирование) материалов съемки производились в программах Agisoft Metashape и Pix4Dfields.

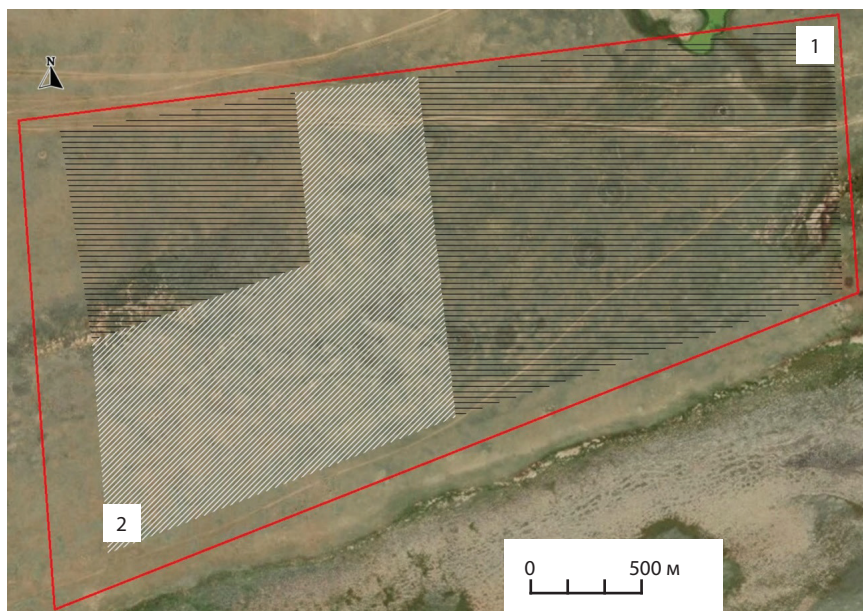


Рис. 1. Схема расположения участков БПЛА-съемки в долине р. Юстыд

Fig. 1. The layout of the UAV survey sites in the valley of the Yustyd river

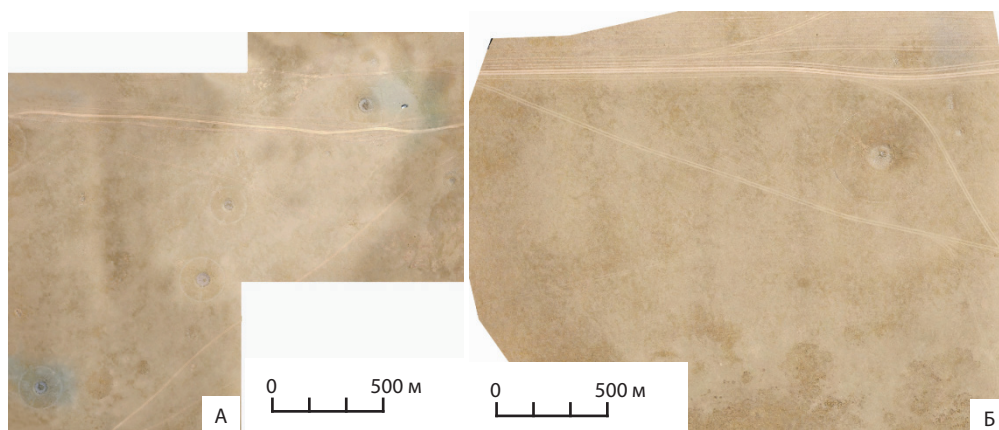


Рис. 2. Ортофотопланы для площадок съемки 1 и 2 (фрагмент территории с отсутствующей геопривязкой показан светлой штриховкой): А – площадка 1; Б – площадка 2

Fig. 2. Orthophotomaps for survey sites 1 and 2 (a fragment of the territory with missing georeference is shown with light shading): А – site 1; Б – site 2

Съемка производилась в течение двух суток: в первый день — во второй половине дня во время снижения порывов ветра, во второй день — с 10.00 в течение дня. При усилении ветра приходилось экстренно возвращать дрон на посадку, это характерная природно-географическая особенность данной местности (резкие колебания температур и сильный ветер), которую необходимо учитывать при планировании полетов. Кроме того, холодный ветер в значительной степени сокращает время полета в результате охлаждения батареи.

Высота съемки на выровненных участках составляла от 20 до 40 м, на склонах — увеличивалась до 50–60 м. При соотношении общей площади участка обследования (0,86 кв. км — 86 га) и затраченного времени для данных условий это неплохой результат. Однако при планировании дальнейших исследований с использованием подобного вида съемок следует как можно больше брать запасных и предварительно заряженных батарей. Для планирования нормальной работы — минимум 5–7, в противном случае необходимо затрачивать дополнительное время на зарядку в полевых условиях.

Анализ и обсуждение результатов

Рассмотрим полученные результаты индексной (тематической) обработки мультиспектральных снимков на основе комбинации зеленого, красного и ближнего инфракрасного каналов.

Классическую комбинацию каналов представляют нормализованный относительный индекс биомассы (NDVI) и «зеленый» нормализованный индекс (GNDVI) — индекс активности фотосинтеза, используемый для оценки потребления растениями воды и удобрений. Представленные индексы вычисляются по формулам:

$$GNDVI = (NIR - Green) / (NIR + Green),$$

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red),$$

где NIR — значения сигнала в ближней инфракрасной зоне спектра, Green — значения сигнала в зеленой зоне спектра, Red — значения сигнала в красной зоне спектра. Предложенные индексы позволяют выявлять антропогенные и природные образования, выраженные морфологически в почвогрунтах и в растительном покрове. На тематических индексных картах мы видим довольно четко распознаваемые как внешние, так и внутренние контуры херексуров (рис. 3). Между тем наиболее информативной оказалась индексная карта GNDVI (рис. 3а), поскольку на ней видны не только крупные объекты, но структура мелких объектов — выкладки, внутренние лучи херексуров, мелкие курганы и отдельно стоящие балбалы.

Достаточно интересными являются индекс хлорофилла (MCARI) и индекс пигмента, нечувствительного к структуре (SIPI). Вычисляются они по следующим формулам:

$$MCARI = \frac{1,2 * [2,5 * (NIR - RED) - 1,3 * (NIR - GREEN)]}{(normalized\ to\ the\ maximum\ value\ of\ RED,\ GREEN,\ and\ NIR\ bands)}$$

где NIR — значения сигнала в ближней инфракрасной зоне спектра, Red — значения сигнала в красной зоне спектра; Green — значения сигнала в зеленой зоне спектра.

$$SIPI = \frac{(NIR - GREEN)}{(NIR - RED)}$$

где NIR — значения сигнала в ближней инфракрасной зоне спектра, RED — значения сигнала в красной области спектра, GREEN — значения сигнала в зеленой области спектра.

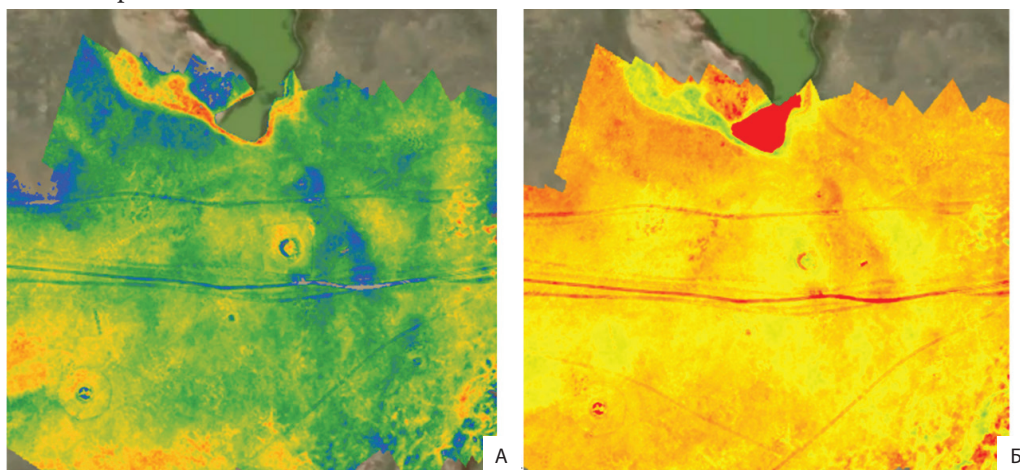


Рис. 3. Тематические индексные карты: А — индекс GNDVI; Б — индекс NDVI
Fig. 3. Thematic index maps: A — GNDVI index; Б — NDVI index

На тематических индексных картах, полученных в результате компьютерной обработки, мы видим целую систему в виде цепочек каменных выкладок, располагаемых по оси Север–Юг, а также ряд мелких объектов, относящихся к данным комплексам и четко выраженных в микрорельефе (рис. 4). В наибольшей степени это относится к индексной карте SIPI (рис. 4б). На изображении MCARI при определенной настройке или разбивке шкалы возможно извлечение дополнительной скрытой информации, однако это потребует дополнительного времени и дополнительного комплекса работ.

Отдельно стоит отметить нормализованный разностный RedEdge индекс — NDRE, который характеризует фотосинтетическую активность растительности с повышенной концентрацией азота на основе отраженного сигнала ближней инфракрасной (0,75–1,0 мкм) и крайней красной (0,69–0,73 мкм) зон спектра, вычисляемый по формуле:

$$NDRE = \frac{(NIR - RedEdge)}{(NIR + RedEdge)}$$

где NIR — значения сигнала в ближней инфракрасной зоне спектра, RedEdge — значения сигнала в крайней красной зоне.

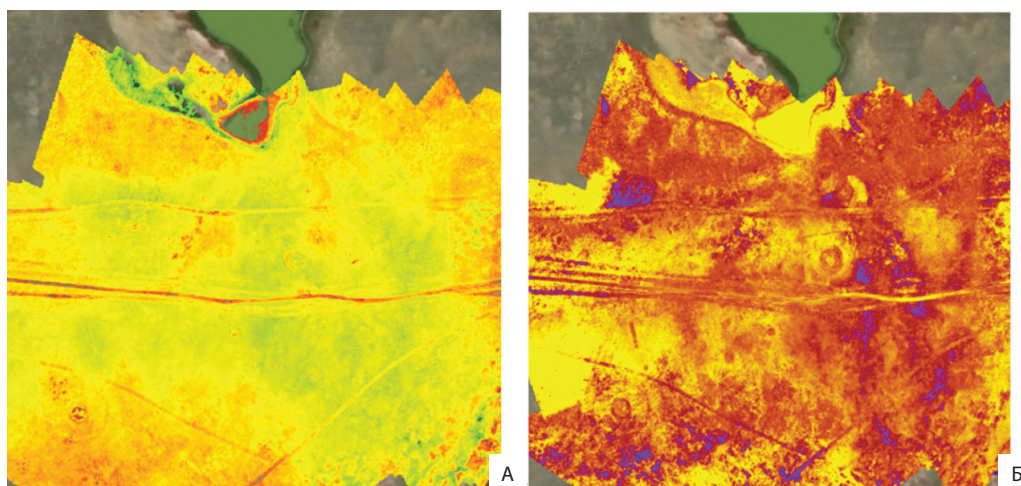


Рис. 4. Тематические индексные карты: А – индекс MCARI; Б – индекс SIP
Fig. 4. Thematic index maps: A – MCARI index; Б – SIP index

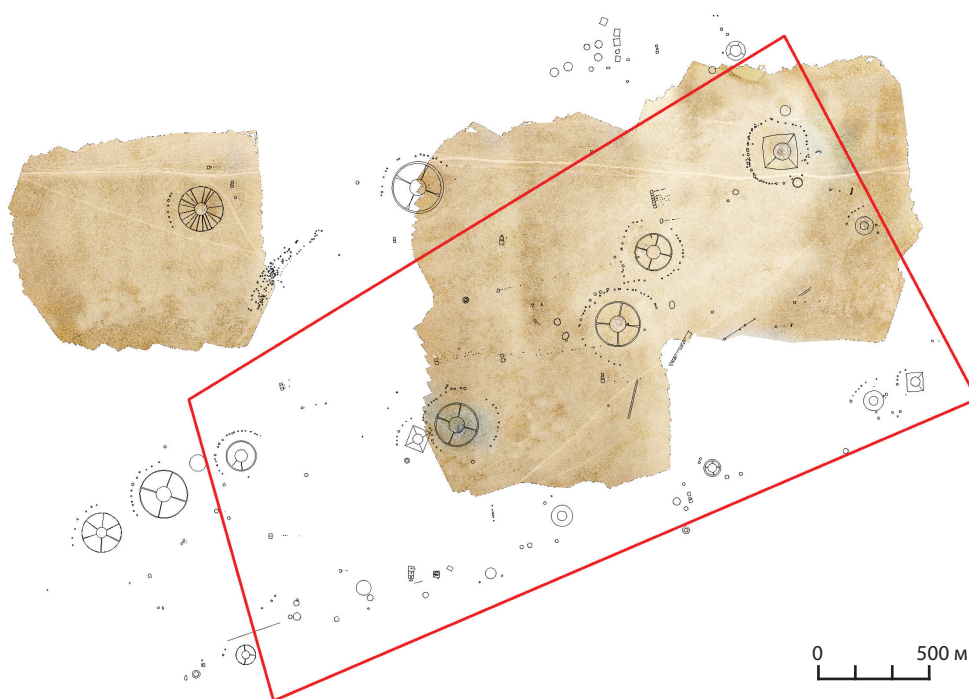


Рис. 5. Схема расположения объектов на ортофотоплане (Источники: материалы съемки авторов в сентябре 2021 г. и GNNS-съемка группы бельгийских ученых, 2006 г.)
Fig. 5. The layout of objects on the orthophotomap (Sources: materials of the survey by the authors in September 2021, and GNNS-survey of a group of Belgian scientists, 2006)

Несмотря на низкую информативность снимков, построенных на основе съемки в период с 10.00 до 15.00, съемка в вечерние часы (с 19.00 и позднее) оказалась наиболее удачной. На снимке четко детектируются херексуры и несколько контуров предполагаемых объектов археологии. Между тем качество детектирования относительно возможностей распознавания мелких деталей (отдельно расположенные выкладки, элементы оградок, балбалы и др.) на NDRE-изображении оставляет желать лучшего.

Отдельного внимания заслуживает съемка наших бельгийских коллег долины Юстыда (Gheyle, 2009). Совмещение съемки с объектами на ортофотоплане авто-ров и GNNS-съемки бельгийцев показало существенные расхождения, в частности, на карте 2006 г. неверно отражена конфигурация объектов, внутренние элементы и внешние конструкции (отражены элементы, отсутствующие на местности; рис. 5). Таким образом, воздушная съемка 2021 г. показала большую точность и достоверность в картировании археологических объектов, что было подтверждено натурным осмотром херексуров.

Заключение

За многие годы прошлого и текущего столетия предпринимались многочисленные попытки исследования долины р. Юстыд. К ним относятся исследования под руководством В.Д. Кубарева, И.Ю. Слюсаренко (2004–2009 гг.), Д.В. Папина (2020, 2021 гг.). Весомый вклад в изучение и картографирование Юстыда внесли бельгийские коллеги, выполнявшие наземную съемку и описание объектов с помощью GNSS и космической съемки (Gheyle, 2009). Между тем, несмотря на эти попытки, многие вопросы, включая полную инвентаризацию и точное координирование объектов археологического наследия Юстыда, остаются открытыми. Ввиду многообразия и высокой содержательности имеющегося материала, по нашему мнению, здесь требуется применение междисциплинарных методов и подходов, в том числе использование комбинированной съемки с помощью БПЛА и GNSS. Сочетание таких методов и инструментов дает большое количество информации, обработка которой позволяет получать новые интересные факты о состоянии изучаемых объектов и их местоположении.

В основу нашей технологии была положена съемка с двух камер: мультиспектральной камеры Parrot Sequoia и камеры ZENMUSE X3 (видимый диапазон). В результате компьютерной фотограмметрической и тематической обработки была получена серия тематических и картографических продуктов: ортофотоплан и цифровая модель рельефа, а также серия индексных тематических — mcari, ndvi, gndvi, ndre, sipi и др.

В ходе сравнительного анализа построенных изображений обнаружены следующие закономерности. Индекс MCARI позволяет обнаруживать курганные могильники и элементы конструкции, выраженные в геометрии (плане). Детектирование различных «аномалий», характеризующих наличие мелких элементов в задренованных слоях, возможно при дополнительной обработке фильтрами.

Индексы NDVI и GNDVI наиболее показательны в плане наглядности представления результатов распознавания, не требующих дополнительных механизмов обработки и картографического (или графического) представления. Довольно точно позволяют распознать антропогенные и природные образования, выраженные морфологически в почвогрунтах и в растительном покрове. На результатах тематического дешиф-

рирования хорошо читаются внешние и внутренние контуры и структура объектов в плане. Видны и отдельно стоящие объекты — например балбалы.

Проведенное нами исследование показало, что метод дистанционной съемки обладает большим познавательным потенциалом, в частности, были продемонстрированы явные неточности и ошибки, сделанные бельгийскими коллегами, которые можно было выявить только с помощью использования БПЛА.

Для задач обнаружения мелких деталей, в том числе задернованных элементов конструкций (оградки, балбалы, кольца и др.), можно рекомендовать индекс SIPI, представляющий собой комбинацию каналов из соотношения зеленого, красного и ближнего инфракрасного. Применение спектральных фильтров, убирающих «шумы», позволяет получить наиболее эффективные результаты (рис. 4б; рис. 6).

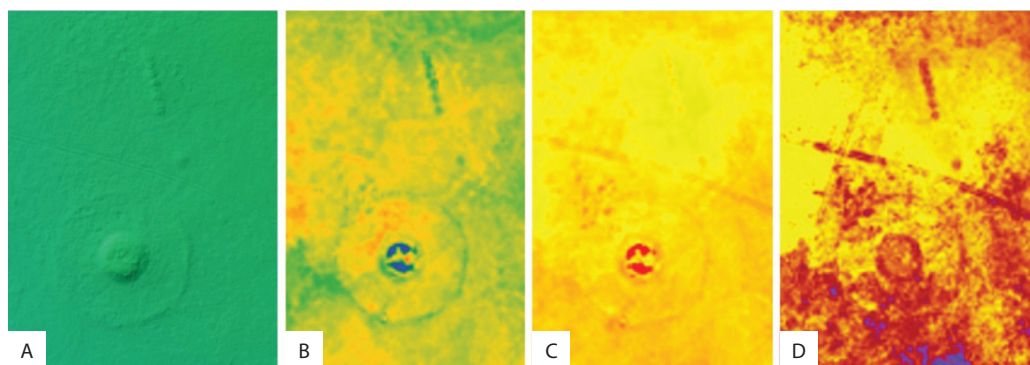


Рис. 6. Визуализация результатов распознавания херексура с выкладками:

А — на цифровой модели рельефа; В — на индексной карте GNDVI;

С — на индексной карте MCARI; D — на индексной карте SIPI

Fig. 6. Visualization of the results of the kherexur recognition with calculations:

A — on a digital elevation model; B — on the GNDVI index card;

C — on the MCARI index card; D — on the SIPI index card

С учетом доступности и более широкого распространения БПЛА-техники следует отметить, что классическая фотограмметрия предполагает съемку в видимом диапазоне, в котором работают большинство обычных фотокамер. Между тем у нас была возможность провести более тщательный анализ ввиду того, что мы непосредственно наблюдали и фиксировали на местности. Сравнение результатов обработки мультиспектральной съемки (именно обработки, поскольку простая визуализация «мультиспектра» практически мало что дает) с ортофотопланом и цифровой моделью местности ясно показывают более интересные возможности первой, так как позволяют заглянуть внутрь и посредством алгоритмов компьютерного зрения увидеть действительно скрытую информацию об объектах. Это особенно хорошо видно на последнем рисунке.

Суммируя вышеизложенное, следует заключить, что мультиспектральная съемка является новым высокотехнологичным инструментом при выполнении археологической разведки, поиске новых объектов и уточнении конфигурации ранее исследованных объектов, при картографировании отдельно стоящих памятников и археологиче-

ских комплексов в целом. Однако желаемых результатов можно добиться только в результате синтеза различных методов исследований, подразумевающих применение традиционных обследований местности в комбинации с современной приборной базой.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Крупочкин Е.П. Некоторые методические вопросы цифрового картографирования археологических памятников // Археология, этнография и антропология Евразии. 2009. №3(39). С. 95–102.

Крупочкин Е.П., Слюсаренко И.Ю. Геоархеологический анализ памятников скифского времени долины реки Юстыд (Юго-Восточный Алтай): отработка методики и первые результаты // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск : Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2015. Т. XXI. С. 284–288.

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.

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.

Agisoft Metashape Professional Edition, версия 1.5: Руководство пользователя [Электронный ресурс]. URL: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf (дата обращения 06.11.2021).

Goossens R., De Wulf A., Bourgeois J., Gheyle W., Willems T. Satellite imagery and archaeology: the example of CORONA in the Altai Mountains // Journal of Archaeological Science. 2006. №33. P. 745–755.

Gheyle W. Highlands and Steppes. An Analysis of the Changing Archaeological Landscape of the Altai Mountains from the Eneolithic to the Ethnographic Period. Ghent : Ghent University, 2009. 380 p.

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. V. 86, №333. P. 884–897.

REFERENCES

Krupochkin E.P. Methodological Issues in the Digital Mapping of Archaeological Sites. *Arheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii = Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*. 2009;3(39):95–102. (In Russ.)

Krupochkin E.P., Sliusarenko I.Yu. Geoarchaeological Analysis of the Sites Dated to Scythian Time from the Yustyt River Valley (South-Eastern Altai): Testing of Methodology and First Results. *Problemy arheologii, etnografii, antropologii Sibiri i sopredel'nyh territorij = Problems of Archaeology, Ethnography, Anthropology of Siberia and Adjacent Territories*. Novosibirsk : Izd-vo In-ta arheologii i etnografii SO RAN, 2015. Vol. XXI. Pp. 284–288. (In Russ.)

Kubarev V.D. Archaeological sites of the Kosh-Agach region (Gorny Altai). *Arheologicheskiy poisk (Severnaya Aziya) = Archaeological search (North Asia)*. Novosibirsk : Nauka, 1980. Pp. 69–91. (In Russ.)

Kubarev V.D. Mounds of Yustyd. Novosibirsk : Nauka, 1991. 186 p. (In Russ.)

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 Altai Mountains. *Teoriya i praktika arheologicheskikh issledovaniy = Theory and Practice of Archaeological Research*. 2021;33(2):31–43. (In Russ.) DOI: 10.14258/tpai(2021)33(2).-02.

Agisoft Metashape Professional, Version 1.5. Edition User Manual. Available at: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf (accessed 6 November 2021). (In Russ.)

Goossens R., De Wulf A., Bourgeois J., Gheyle W., Willems T. Satellite Imagery and Archaeology: the Example of CORONA in the Altai Mountains. *Journal of Archaeological Science*. 2006;33:745–755.

Gheyle W. Highlands and Steppes. An Analysis of the Changing Archaeological Landscape of the Altai Mountains from the Eneolithic to the Ethnographic Period. Ghent : Ghent University, 2009. 380 p.

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;86(333):884–897.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Eugeny P. Krupochkin, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Economic Geography and Cartography, Institute of Geography, Altai State University, Barnaul, Russia.

Папин Дмитрий Валентинович, кандидат исторических наук, заведующий Барнаулской лабораторией археологии и этнографии Южной Сибири Института археологии и этнографии СО РАН, г. Новосибирск, Россия.

Dmitry V. Papin, Candidate of Historical Sciences, 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, Russia.

Статья поступила в редакцию 09.10.2021; одобрена после рецензирования 11.11.2021; принята к публикации 15.11.2021.

The article was submitted 09.10.2021; approved after reviewing 11.11.2021; accepted for publication 15.11.2021.