

ПРОБЛЕМЫ АРХЕОЛОГИИ И ЭТНОГРАФИИ

УДК 902.21

DOI: 10.17223/19988613/67/16

М.В. Вавулин, О.В. Зайцева, А.А. Пушкарев

КУЛЬТУРНЫЕ ЛАНДШАФТЫ С «ВЫСОТЫ ПТИЧЬЕГО ПОЛЕТА»: ВОЗМОЖНОСТИ АЭРОФОТОСЪЕМКИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПАМЯТНИКОВ АРХЕОЛОГИИ В ЛЕСНОЙ ЗОНЕ

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект № 0721-2020-0042.

Показаны возможности применения аэрофотосъемки для выявления памятников археологии в лесной зоне. На примере анализа данных съемки Шайтанского археологического комплекса на юге Томской области продемонстрирована эффективность метода в условиях лиственного леса поздней осенью после опада листвы. Данные аэрофотосъемки обрабатывались с помощью технологии цифровой фотограмметрии и анализировались с использованием различных способов отображения. Основные ограничения метода связаны с хвойными лесами.

Ключевые слова: аэрофотосъемка в археологии; цифровая фотограмметрия; лесная зона; Шайтанский археологический комплекс; БВС.

Введение

Применение аэрофотосъемки в археологии насчитывает уже более чем вековую историю. Первоначально использовались снимки с воздуха, сделанные военными, а не данные, полученные специально для нужд археологических проектов [1].

Общедоступной технологией выявления и документирования памятников археологии аэрофотосъемка стала только в XXI в., с распространением портативных и относительно дешевых беспилотных летательных аппаратов с цифровыми камерами на борту [2]. Развитие вычислительных компьютерных мощностей сделало доступной технологию автоматической цифровой фотограмметрии. Возможность получения цифровой модели высот из серии фотографий позволила активно использовать инструменты анализа рельефа для поиска, документирования и изучения объектов археологии [3–5]. Общеизвестно, однако, что, несмотря на свою доступность, технология фотограмметрии с воздуха сильно ограничена природными условиями и признана малоэффективной при поиске и фиксации памятников археологии на лесных территориях.

В местах с «буйной» растительностью применяется другая технология – лазерное сканирование (LIDAR – Light Detection and Ranging). В средствах массовой информации недавно широко освещалось сделанное с помощью лазерного сканирования сенсационное открытие в непроходимых джунглях Гватемалы: там был обнаружен крупнейший из известных центров майя, где было зафиксировано свыше 60 тыс. древних сооружений [6]. Съемке с воздуха с помощью лидара не препятствует никакая растительность, ее можно проводить при любом освещении и даже в ночное время.

Единственное, что сейчас сдерживает массовое применение лидаров в археологии, – их высокая стоимость. Цена комплекса для лазерного сканирования с воздуха начинается от 5 млн рублей, что делает аэрофотосъемку с использованием лидара недоступной для подавляющего большинства российских исследователей.

Вопреки устоявшемуся мнению о бесперспективности применения фотограмметрии с воздуха для обнаружения объектов археологии в залесенной местности, мы решили протестировать эту технологию в западносибирской тайге. Таким образом, цель нашего проекта заключалась в оценке возможности поиска памятников археологии в лесной зоне.

Территория исследования

Для проведения тестовой аэрофотосъемки был выбран хорошо изученный Шайтанский археологический комплекс на юге Томской области. На данную территорию имелись подробные топографические планы и трехмерные модели рельефа, полученные в разные годы с помощью тахеометрической съемки с земли. На территории Шатанского комплекса расположены разнотипные археологические памятники, датирующиеся развитым и поздним средневековьем. Материалы их исследований частично опубликованы [7–13].

В зону съемки с воздуха и последующего анализа вошли восемь памятников – городища Шайтан I, Шайтан II, Шайтан III, Шайтан IV, поселение Шайтан I, местонахождение Шайтан I и могильники Шайтан II и Шайтан III (рис. 1). Все они датируются в рамках развитого и позднего средневековья. Общая площадь съемки составила 120 тыс. м².

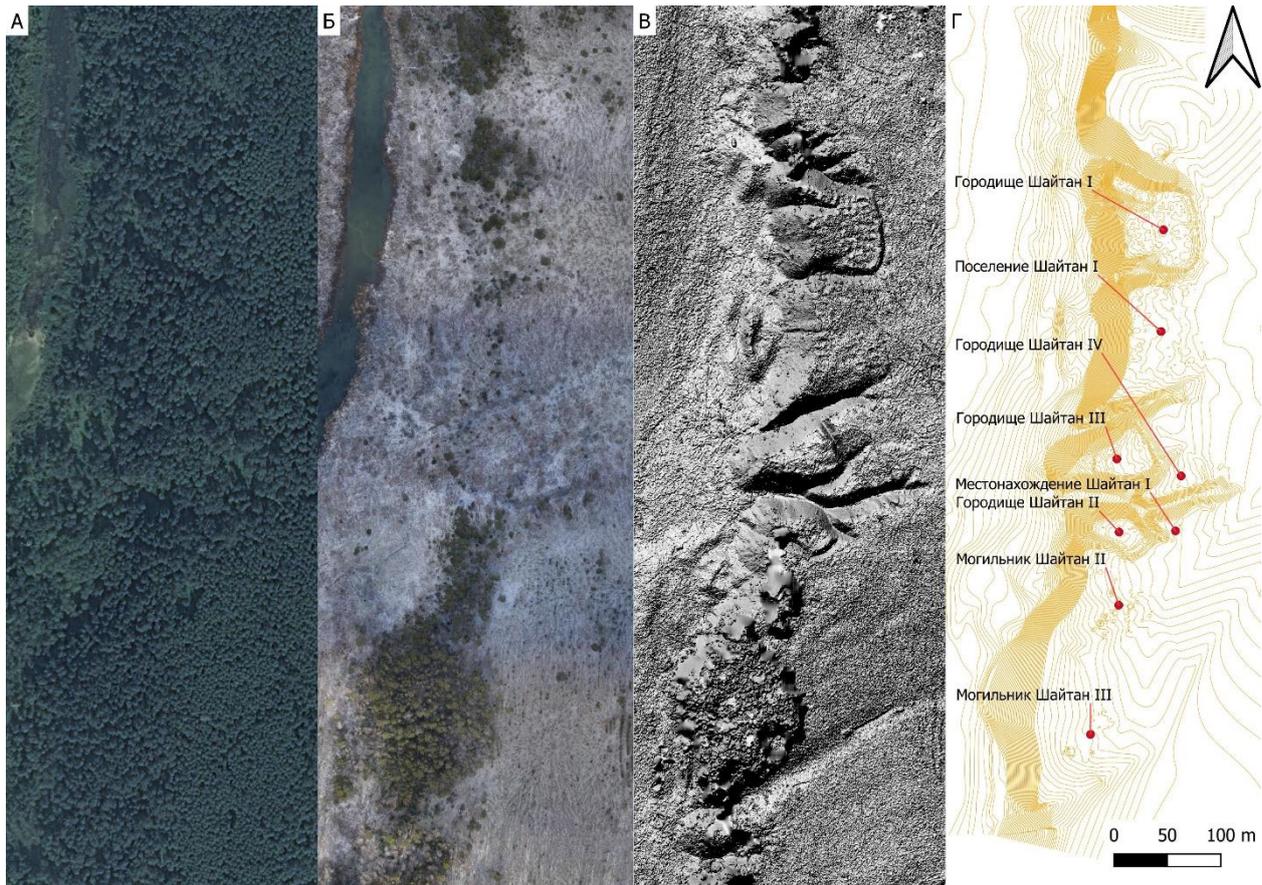


Рис. 1. Шайтанский археологический комплекс: А – спутниковая съемка (Яндекс.Карты); Б – ортофотоплан; В – теневая отмывка рельефа; Г – микрорельеф, снятый с земли, и расположение отдельных памятников в археологическом комплексе

Оборудование и методы

Проведение съемки предполагалось в осенний период, когда лиственный покров деревьев полностью опал, но снег еще не выпал. Для юга Томской области это период конца октября. Однако в ночь накануне проведения исследований неожиданно выпал снег. В итоге съемка проводилась при наличии тонкого слоя снега на поверхности.

Съемка велась с беспилотного воздушного судна (БВС) самолетного типа Геоскан 201 [14] с высоты около 330 м. Использовалась цифровая фотокамера Sony RX1 с полнокадровой матрицей (35,8 мм × 23,9 мм), разрешением 6 000 × 4 000 пикселей и объективом с фокусным расстоянием 35 мм [15]. Вышеперечисленные параметры обеспечили расчетную детализацию снимков около 5,6 см на пиксель [16]. Фотографирование производилось с поперечным перекрытием изображений не менее 50% и продольным перекрытием не менее 70%. Географическая привязка в данном исследовании не требовала большой точности и проводилась на основе данных бортового навигационного ГНСС-приемника. Наземные контрольные точки для проверки точности географического позиционирования не использовались.

Обработка полученных данных проводилась с помощью программного обеспечения Agisoft Meatshape (v.1.6.2). Каждой фотографии были назначены географические координаты в соответствии с данными нави-

гационного ГНСС-приемника. Процесс выравнивания производился с настройками высокой точности и активной функцией преселекции изображений по привязке. Построение плотного облака точек проводилось с настройками максимального качества и «агрессивной» фильтрацией карт глубины. Точки рельефа классифицировались при стандартных настройках. На основе точек рельефа строилась карта высот. Также был построен ортофотоплан с проекцией изображений на карту высот. Данные экспортировались в файлы растровых изображений с географической привязкой в формате geotiff с пространственным разрешением 5,6 см на пиксель.

Мы опасались, что равномерный снежный покров может дать большие ошибки при фотограмметрической обработке [17], но из-за обилия мелких деталей (деревьев) этого не произошло. Следует уточнить, что съемка проводилась в пасмурный день, и на полученных фотографиях не наблюдалось пересвета участков, покрытых снегом, что является одной из проблем воздушной съемки при наличии снега [18. С. 159–163].

Анализ данных

Для анализа данных применялось программное обеспечение Quantum GIS (QGIS). Слой карты высот использовался в двух режимах отображения – в режиме теневой отмывки рельефа для обзорного анализа всей территории (см. рис. 1, В) и в режиме одноцветного градиента для подробного анализа локальных

участков (рис. 2, Б). Данные наземной съемки в виде изолиний с интервалом 0,1 м были импортированы и выровнены в географическую систему координат. Сначала были произведены поиск и обрисовка археологических объектов, различимых на карте высот, после чего полученные результаты сравнивались с данными наземной тахеометрической съемки.

На теневой отмывке рельефа четко выделяются крупные оборонительные конструкции (рвы и валы) всех четырех городищ (см. рис. 1, В). Небольшие объекты теряются на общем фоне и плохо различимы на теневой отмывке рельефа. Для поиска объектов типа жилищных западин использовался режим отображения одноцветного градиента, высоты отображения которого подстраивались для анализа каждого памятника отдельно. Анализ площади всех памятников проводился с растягиванием градиента на 2 м по высоте, при постепенном смещении диапазона с шагом в 1 м. На слое ортофотоплана невозможно было различить ни одного объекта археологии. Таким образом, сам по себе ортофотоплан нельзя использовать для выявления археологических объектов, для дешифровки данных съемки необходимо применять и комбинировать разные способы отображения – теневую отмывку рельефа, отображения одноцветного градиента и т.д.

Городище Шайтан I. На городище Шайтан I (рис. 2) с воздуха четко прослеживаются ров, три сегмента вала и проходы. Высота вала достигает 1,8 м, глубина рва – до 1,4 м. Из небольших объектов на территории

городища удалось различить 50 из 62 западин. Западины диаметром 5–7 м достигают глубины до 0,8 м. Двенадцать объектов не удалось различить из-за наличия нескольких хвойных деревьев на территории памятника.

Поселение Шайтан I. На поселении Шайтан I (рис. 3) нет крупных земляных оборонительных сооружений, поэтому оно не так хорошо идентифицируется на теневой отмывке рельефа. На территории памятника присутствует несколько небольших хвойных деревьев, что негативно сказалось на качестве фиксации рельефа в этих местах. На поселении соотнесены 51 из 57 западин. Три западины, расположенные у северного склона, попали под хвойные деревья и не видны на данных воздушной съемки. Еще три западины имеют небольшую глубину – около 10–15 см – и также незаметны на данных с БВС. Большинство западин диаметром 4–7 м достигают глубины до 0,8 м.

Городище Шайтан III. Ров городища Шайтан III (рис. 4) хорошо виден на теневой отмывке рельефа и позволяет провести четкую идентификацию памятника. Ров в центральной части имеет глубину около 2,8 м, вал небольшой, высотой до 0,3 м. На территории городища расположены 28 западин. Из них 26 обнаружены на данных воздушной съемки. Еще 2 западины расположены на западной оконечности мыса, заросшей несколькими хвойными деревьями, где не удалось вычислить рельеф поверхности. Сама площадка имеет уклон около 7°, западины размером от 3 до 7 м в основном врезаны в склон и имеют глубину до 0,5 м.

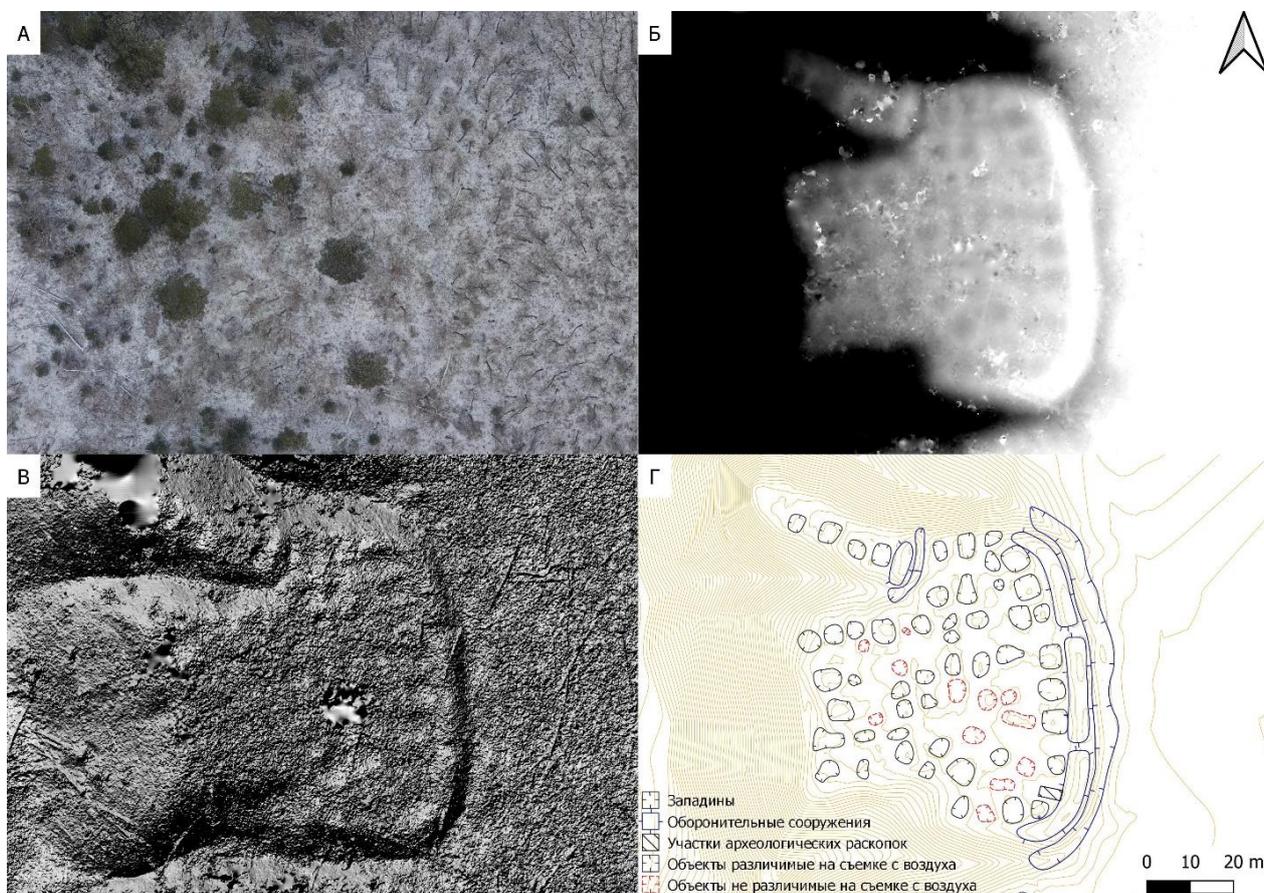


Рис. 2. Городище Шайтан I: А – ортофотоплан, Б – градиент карты высот, В – теневая отмывка рельефа, Г – план памятника на основе наземной съемки

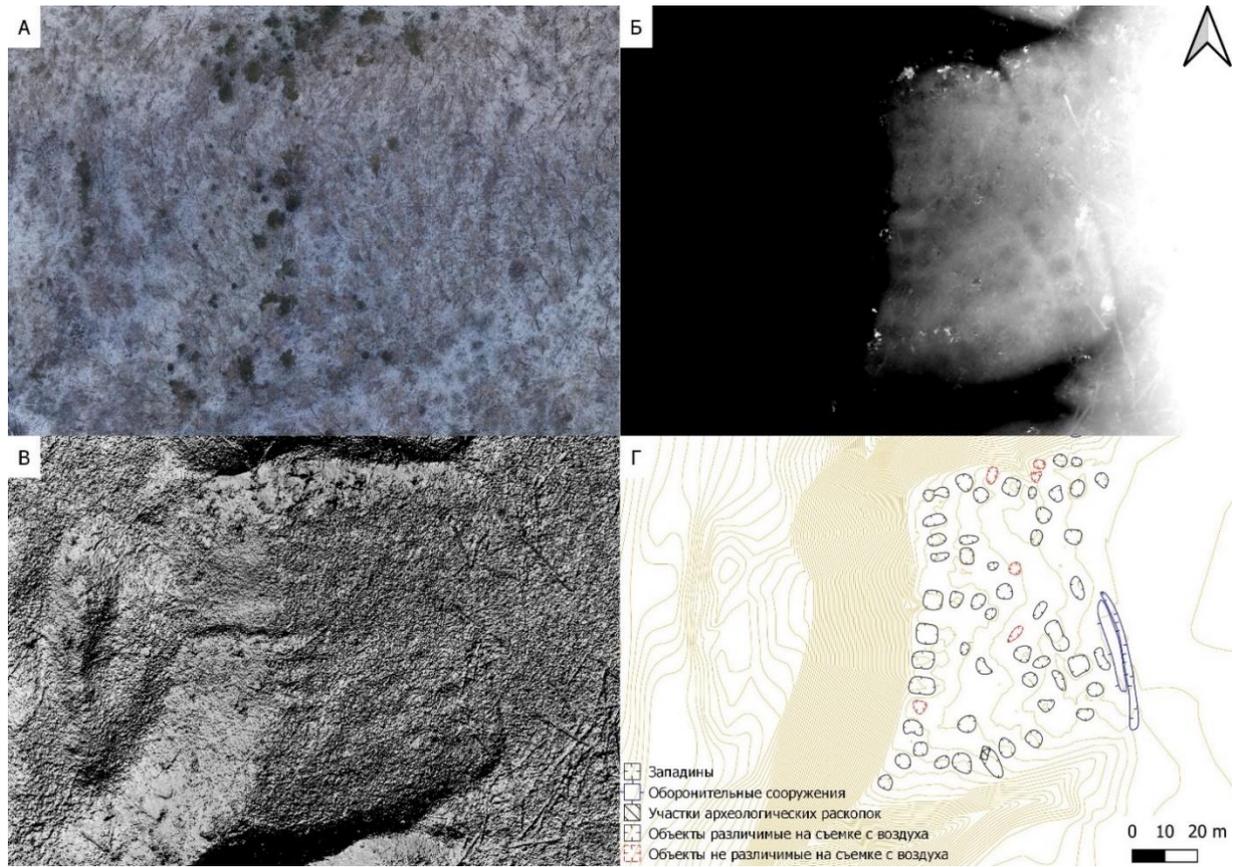


Рис. 3. Поселение Шайтан I: А – ортофотоплан, Б – градиент карты высот, В – теневая отмывка рельефа, Г – план памятника на основе наземной съемки

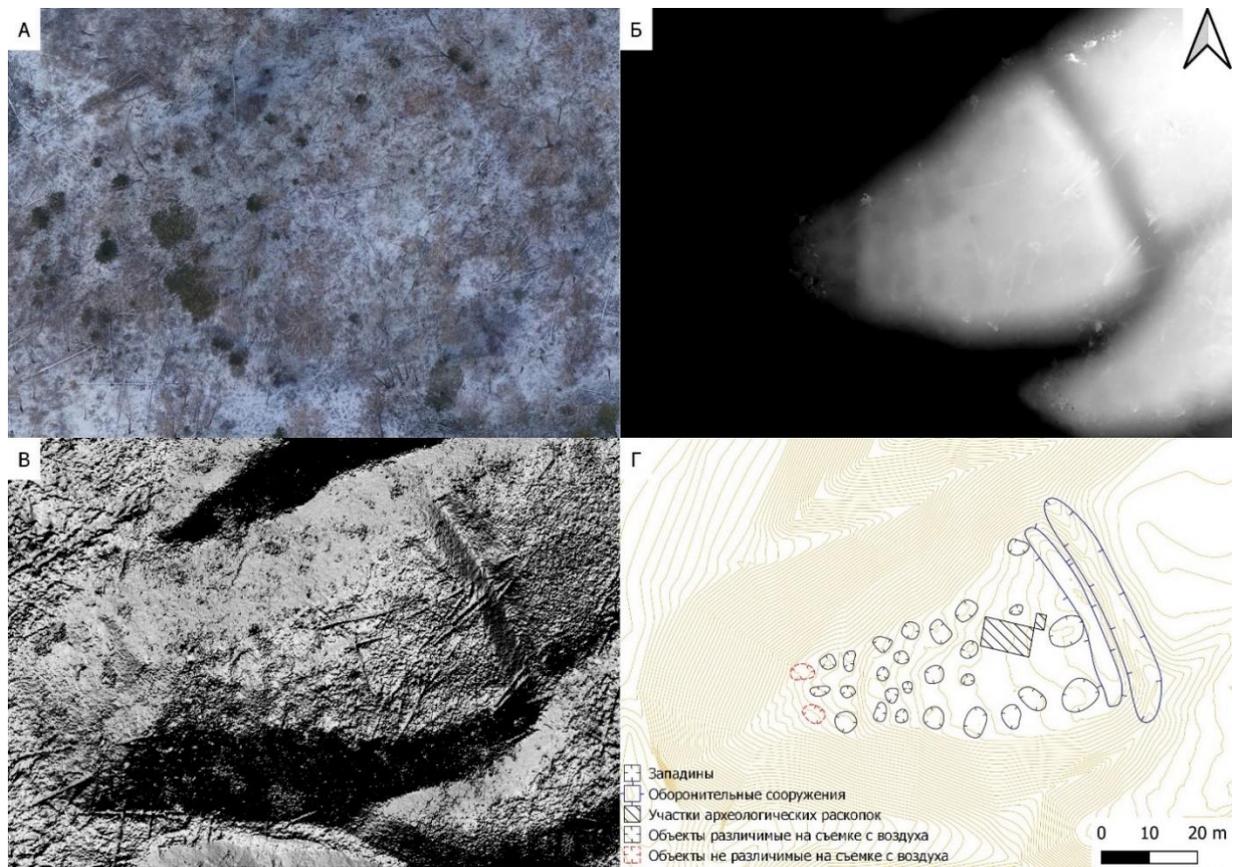


Рис. 4. Городище Шайтан III: А – ортофотоплан, Б – градиент карты высот, В – теневая отмывка рельефа, Г – план памятника на основе наземной съемки

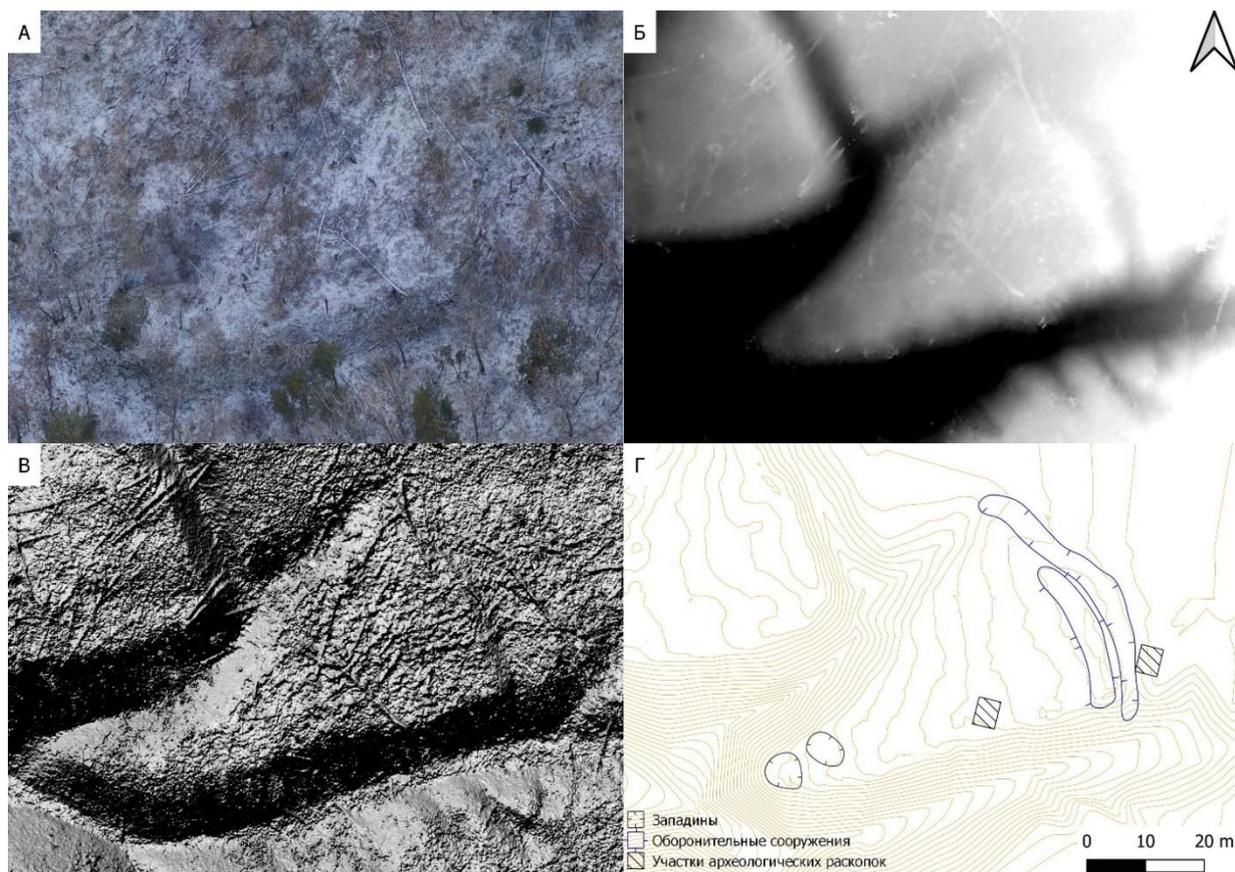


Рис. 5. Городище Шайтан IV: А – ортофотоплан, Б – градиент карты высот, В – теневая отмывка рельефа, Г – план памятника на основе наземной съемки

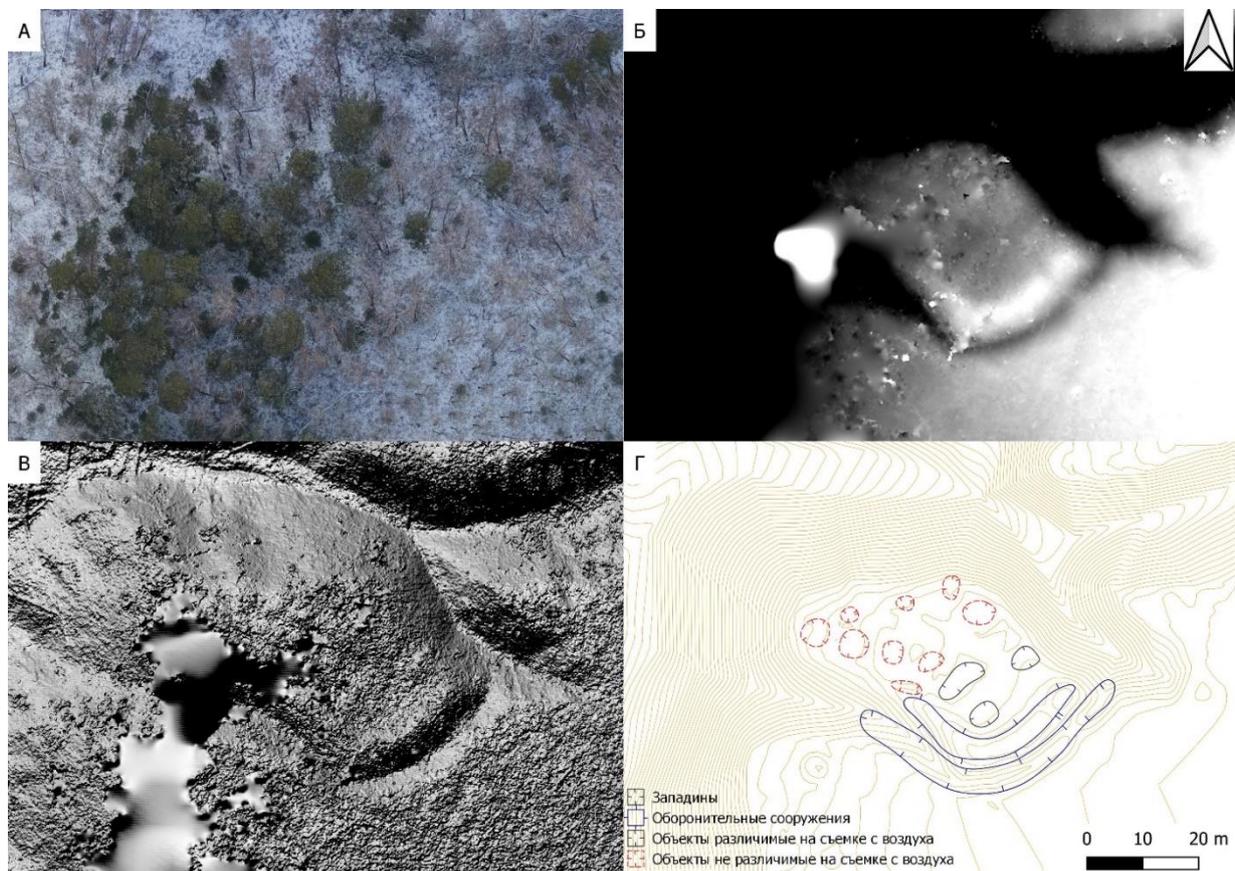


Рис. 6. Городище Шайтан II: А – ортофотоплан, Б – градиент карты высот, В – теневая отмывка рельефа, Г – план памятника на основе наземной съемки

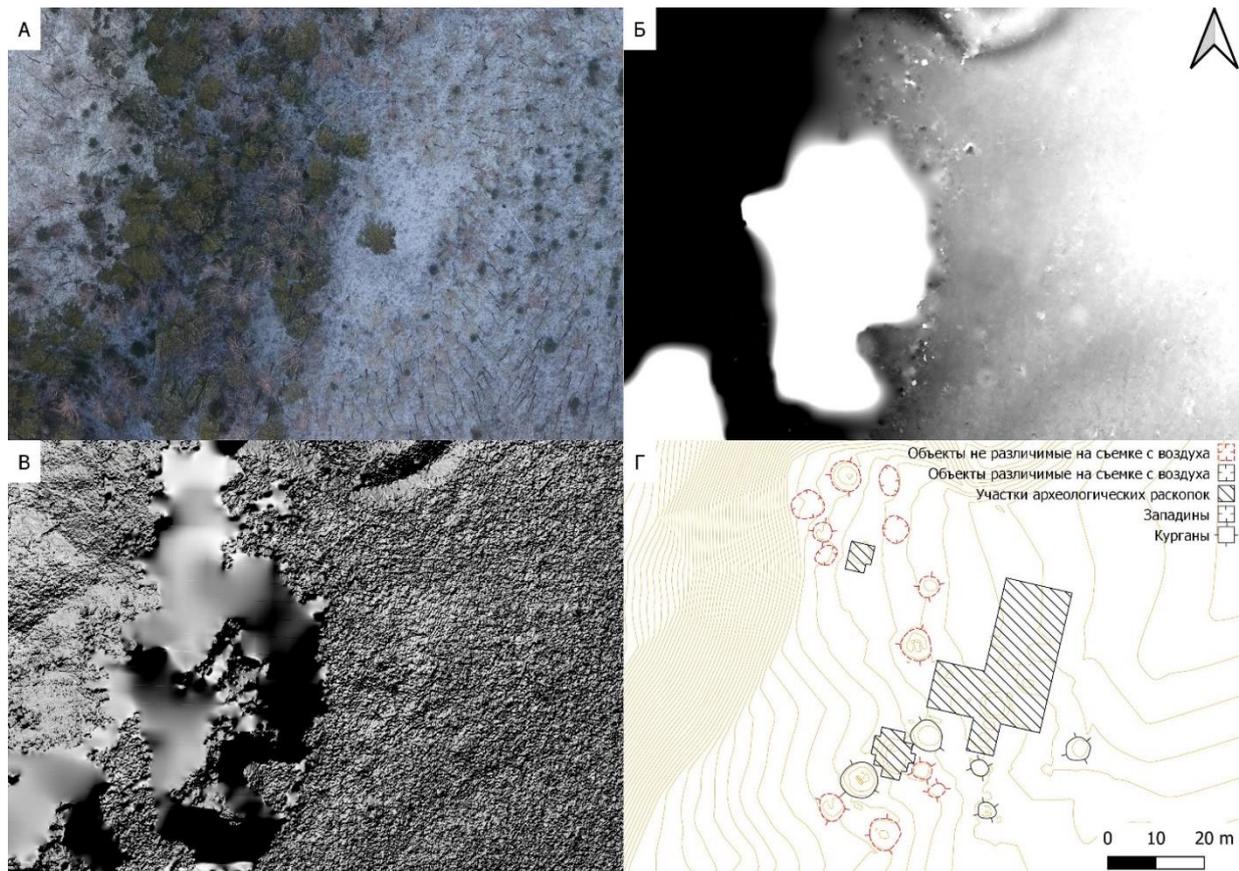


Рис. 7. Могильник Шайтан II. А – ортофотоплан, Б – градиент карты высот, В – теневая отмывка рельефа, Г – план памятника на основе наземной съемки.

Городище Шайтан IV. Городище Шайтан IV (рис. 5) может быть идентифицировано по рву, видимому на теневой отмывке рельефа. На территории городища отсутствуют хвойные деревья, что позволило хорошо зафиксировать всю территорию городища с воздуха. На западной оконечности мыса прослеживаются две западины, которые также видны и на данных, полученных с БВС. Глубина рва достигает 1,2 м, высота вала – до 0,9 м. Диаметр западин около 5 м при глубине до 0,3 м.

Городище Шайтан II. Городище Шайтан II (рис. 6) хорошо видно на теневой отмывке рельефа по глубокому рву (до 1,7 м) и высокому валу (до 1,7 м). Площадку городища более чем на 30% покрывают хвойные деревья, поэтому многие объекты незаметны с воздуха. Всего на территории городища расположено 12 западин размерами 3–5 м и глубиной до 0,4 м. Лишь три из них удалось различить по данным воздушной съемки. Под деревьями находится 7 западин, еще две слабо выражены в рельефе (10–15 см в глубину) и не видны на данных воздушной съемки.

Могильник Шайтан II. Вся западная часть могильника Шайтан II (рис. 7) покрыта хвойными деревьями, и нам не удалось получить данные о рельефе на этом участке. Большинство объектов, расположенных в восточной части могильника, было раскопано в предыдущие годы исследования памятника. Из сохранившихся археологических объектов можно выделить четыре западины размером 4 × 5 м глубиной до 0,4 м и 13 курганов диаметром от 2,5 до 8 м, высотой

от 0,2 до 1,2 м. Из этих объектов все западины и 8 курганов располагаются под хвойными деревьями и незаметны с воздуха. Два крупных кургана частично расположены на территории хвойного леса и могут быть опознаны как возвышенности. Три небольших кургана расположены на территории лиственного леса и полностью видны на данных воздушной съемки. Из-за отсутствия крупных объектов, выраженных в рельефе, таких как рвы, памятник не может быть распознан на теневой отмывке рельефа при быстром осмотре. Маленькие курганы могут быть выявлены только на карте высот при подробном локальном поиске.

На исследуемой территории расположены еще два выявленных памятника археологии – местонахождение Шайтан I и могильник Шайтан III. Местонахождение Шайтан I расположено в области лиственного леса, и его территория была хорошо зафиксирована. Однако на памятнике отсутствуют объекты археологии, выраженные в рельефе, поэтому такой памятник, естественно, не будет обнаружен при поиске с помощью БВС. Могильник Шайтан II, несмотря на то что содержит крупные курганы, не виден на данных воздушной съемки, так как полностью расположен на хвойном участке леса.

Результаты и обсуждение

На данных, полученных с использованием БВС, удалось детально и точно зафиксировать рельеф поверхности в зоне лиственного леса. При этом рельеф,

расположенный под хвойными деревьями, зафиксирован не был. Точность фиксации по высоте совпадает с данными наземной съемки с погрешностью до 10 см, что может быть объяснено наличием невысокого травяного и снежного покрова. Детальность зафиксированного рельефа позволяет различить все объекты археологии, выраженные в рельефе более чем на 0,2 м. Крупные объекты, такие как рвы и валы городищ, могут быть легко обнаружены при быстром обзорном анализе территории с использованием теневой отмывки рельефа. Для обнаружения более мелких объектов требуется детальное рассмотрение карты высот небольшими локальными участками в узком диапазоне высот. Наличие небольшого снежного покрова в нашем случае не отразилось на качестве фиксации поверхности.

В ходе обработки возникли сложности с автоматическим выравниванием фотографий на некоторых участках леса с однородной текстурой поверхности и без четко выраженных на фотографиях объектах. В нашем случае это были зоны, находящиеся за границами рассматриваемого района. Для исключения подобных проблем в будущих исследованиях следует увеличить перекрытие фотографий при съемке в лесу.

Таким образом, вопреки общераспространенному мнению о бесполезности проведения аэрофотосъемки для поиска археологических памятников в лесной зоне, нами на практике продемонстрировано обратное. Основные ограничения связаны с хвойными лесами. Проведение аэрофотосъемки в лиственных лесах в сезоны до появления или после опада листвы дает прекрасные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуковский М.О. Использование мультироторных БПЛА и фотограмметрических технологий обработки аэрофотосъемки в современных археологических исследованиях // *Виртуальная археология (эффективность методов) : материалы Второй междунар. конф., состоявшейся в Государственном Эрмитаже 1–3 июня 2015 г. СПб., 2015.*
2. Campana S. Drones in archaeology. State-of-art and future perspectives // *Archaeological Prospection*. 2017. Vol. 24. P. 275–296.
3. Hamilton S. Drone Mapping and Photogrammetry at Brandon House 4 // *Historical archaeology*. 2017. Vol. 51 (4). P. 563–575.
4. Pierdicca R. Mapping Chimú's settlements for conservation purposes using UAV and close range photogrammetry. The virtual reconstruction of Palacio Tschudi, Chan Chan, Peru // *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 2018. Vol. 8. P. 27–34.
5. Themistocleous K., Agapiou A., King H.M., King N., Hadjimitsis D.G. More Than a Flight: The Extensive Contributions of UAV Flights to Archaeological Research – The Case Study of Curium Site in Cyprus // *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection*. EuroMed 2014. Lecture Notes in Computer Science. 2014. Vol. 8740. P. 396–409.
6. Canuto M.A., Estrada-Belli F., Garrison Th.G., Houston St.D., Acuña M.J., Kováč M., Marken D., Nondédéo Ph., Thomas L.A., Castanet C., Chate-lain D., Chiriboga C.R., Tomáš Drápela T., Lieskovský T., Tokovinine A., Velasquez A., Fernández-Díaz J.C., Shrestha R. Ancient lowland Maya complexity as revealed by airborne laser scanning of northern Guatemala // *Science*. 2018. Vol. 361, is. 6409.
7. Зайцева О.В., Барсуков Е.В., Гусев А.В. О выделении Шайтанского археологического микрорайона на юге Томской области // *Археологические микрорайоны Северной Евразии : материалы науч. конф. Омск, 2004. С. 37–40.*
8. Пушкарев А.А., Зайцева О.В., Барсуков Е.В. Продолжение исследований могильника Шайтан II // *Археологические открытия. М. : Ин-т археологии РАН, 2011. Т. 2008. С. 478.*
9. Водясов Е.В., Зайцева О.В. Исследования объектов черной металлургии на городищах Усть-Таган и Шайтан IV // *Археологические открытия. М. : Ин-т археологии РАН, 2015. Т. 2010-2013. С. 604–605.*
10. Водясов Е.В. Средневековые сыродутные горны Шайтанского археологического микрорайона // *Вестник Томского государственного университета*. 2012. № 359. С. 79–83.
11. Барсуков Е.В. «Темный век» средневековой археологии Томского Приобья: результаты изучения постройки XV в. на городище Шайтан-III // *Вестник Томского государственного университета. История*. 2016. № 5 (43). С. 33–39.
12. Водясов Е.В. Городище Усть-Таган: памятник черной металлургии Верхнего Приобья // *Томский журнал лингвистических и антропологических исследований*. 2018. Вып. 1 (19). С. 84–98.
13. Водясов Е.В., Зайцева О.В. Женский головной убор золотоордынского времени из Томского Приобья // *Поволжская археология*. 2019. № 4 (30). С. 119–128.
14. Технические характеристики БВС Геоскан 201 // ГК 'Геоскан'. URL: <https://www.geoscan.aero/ru/products/geoscan201/base> (дата обращения: 20.12.2019).
15. Технические характеристики фотоаппарата Sony RX1 // Sony. URL: https://www.sony.ru/electronics/cyber-shot-compact-cameras/dsc-rx1-rx1r#product_details_default (дата обращения: 20.12.2019).
16. He J., Li Y., Zhang K. Research of UAV Flight Planning Parameters // *Positioning*. 2012. Vol. 3. P. 43–45.
17. Bühler Y., Stoffel A., Adams M., Bösch R., Ginzler C. UAS photogrammetry of Homogenous snow cover // *Wissenschaftlich-technische Jahrestagung der DGPF*. 2016. S. 306–316. (Publikationen der DGPF. Bd. 25, Beiträge. 36).
18. Kraus K. *Photogrammetry. Geometry from Images and Laser Scans*. Berlin ; New York : Walter de Gruyter, 2007.

Mikhail V. Vavulin, Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: 0002004@inbox.ru

Olga V. Zaitceva, Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: snori76@mail.ru

Andrey A. Pushkarev, Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: supdrone@gmail.com

CULTURAL LANDSCAPES FROM A BIRD'S EYE VIEW: APPLYING AERIAL PHOTOGRAPHY TO IDENTIFY ARCHAEOLOGICAL SITES IN FOREST ZONE

Keywords: aerial photography in archaeology; digital photogrammetry; forest zone; Shaitan archaeological complex; drone.

The article shows the effectiveness of using aerial photography to detect and identify archaeological sites in forests. To test this method, we chose the well-studied archaeological complex of Shaitan in the south of Tomsk region for which detailed topographic plans and 3D elevation models are available, obtained via tachometric survey on the ground. From the air, we examined eight sites: the hillforts of Shaitan I, II, III, and IV, the wider settlement of Shaitan I and the wider area of Shaitan I, as well as the burial sites of Shaitan II and III.

The survey was performed by an unmanned aerial vehicle Geoscan 201, at the height of 330 meters, with the use of a digital full-frame camera Sony RX1 (35.8 mm x 23.9 mm, 6000 x 4000 pixels, 35 mm focal length), which allowed us to have images with resolution of about 5.6 cm per pixel. The photographs were taken with at least 50% of side overlap and 70% of forward overlap. The total area surveyed amounted to 120,000 m².

Aerial photography data were processed using digital photogrammetry and Agisoft Meatshape software. As a result, we produced an orthophoto and a digital elevation model of high resolution which were analyzed in QGIS software. Viewing data in the hillshade layer we were able to identify large defensive constructions—ditches and ramparts present on the fortified sites. To search for smaller objects in the terrain such as minor depressions, we used the single colour gradient mode, with height specifically adjusted for each site. The UAV-collected data allowed us to have a detailed picture of terrain's surface in the deciduous forest zone, excluding, however, the earth's surface under coniferous trees. The data collected in the UAV-enabled survey in the deciduous zone were almost as accurate as the data collected in the survey on the ground (with an estimated error of up to 10 cm due to the presence of grass).

During data processing, difficulties were encountered in aligning photographs for some areas beyond the territory under survey which featured homogeneous surface texture and no clearly distinguishable objects. To avoid such issues, future surveys in forest zones could introduce greater imagery overlap.

Overall, we demonstrated the effectiveness of using aerial photography to search for archaeological sites and monuments in the forest zone, with a major limitation here being associated with coniferous forests. Aerial photography surveys conducted in deciduous forests before tree leaves appear and after they have fallen have proved to be giving excellent results.

REFERENCES

- Zhukovsky, M.O. (2015) [The use of multi-rotor UAVs and photogrammetric technologies for processing aerial photography in modern archaeological research]. *Virtual'naya arkeologiya (effektivnost' metodov)* [Virtual Archeology (The Effectiveness of Methods)]. Proc. of the Second International Conference. June 1–2, 2015. St. Petersburg: [s.n.]. (In Russian).
- Campana, S. (2017) Drones in archaeology. State-of-art and future perspectives. *Archaeological Prospection*. 24. pp. 275–296. DOI: 10.1002/arp.1569
- Hamilton, S. (2017) Drone Mapping and Photogrammetry at Brandon House 4. *Historical archaeology*. 51(4). pp. 563–575. DOI: 10.1007/s41636-017-0069-4
- Pierdicca, R. (2018) Mapping Chimu's settlements for conservation purposes using UAV and close range photogrammetry. The virtual reconstruction of Palacio Tschudi, Chan Chan, Peru. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 8. pp. 27–34. DOI: 10.1016/j.daach.2017.11.004
- Themistocleous, K., Agapiou, A., King, H.M., King, N. & Hadjimitsis, D.G. (2014) More Than a Flight: The Extensive Contributions of UAV Flights to Archaeological Research – The Case Study of Curium Site in Cyprus. *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection. EuroMed 2014. Lecture Notes in Computer Science*. 8740. pp. 396–409.
- Canuto, M.A., Estrada-Belli, F., Garrison, Th.G., Houston, St.D., Acuña, M.J., Kováč, M., Marken, D., Nondédéo, Ph., Thomas L.A., Castanet, C., Chatelain, D., Chiriboga, C.R., Tomáš Drápela, T., Lieskovský, T., Tokovinine, A., Velasquez, A., Fernández-Díaz, J.C. & Shrestha, R. (2018) Ancient lowland Maya complexity as revealed by airborne laser scanning of northern Guatemala. *Science*. 361(6409). DOI: 10.1126/science.aau0137
- Zaytseva, O.V., Barsukov, E.V. & Gusev, A.V. (2004) O vydelenii Shaytanskogo arkeologicheskogo mikrorayona na yuge Tomskoy oblasti [On the allocation of the Shaitansky archaeological microdistrict in the south of Tomsk region]. In: Tikhonov, S.S. (ed.) *Arkeologicheskie mikrorayony Severnoy Evrazii* [Archaeological microdistricts of Northern Eurasia]. Omsk: [s.n.]. pp. 37–40.
- Pushkarev, A.A., Zaytseva, O.V. & Barsukov, E.V. (2011) Prodolzhenie issledovaniy mogil'nika Shaytan II [Continued research of the Shaitan II burial ground]. In: Lopatin, N.V. (ed.) *Arkeologicheskie otkrytiya* [Archaeological Discoveries]. Vol. 2008. Moscow: RAS.
- Vodyasov, E.V. & Zaytseva, O.V. (2015) Issledovaniya ob"ektov chernoy metallurgii na gorodishchakh Ust'-Tagan i Shaytan IV [Research of objects of ferrous metallurgy at the settlements of Ust-Tagan and Shaitan IV]. In: Lopatin, N.V. (ed.) *Arkeologicheskie otkrytiya* [Archaeological Discoveries]. Vol. 2010–2013. Moscow: RAS. pp. 604–605.
- Vodyasov, E.V. (2012) Medieval blast furnaces of Shaytansky archaeological microdistrict. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*. 359. pp. 79–83. (In Russian).
- Barsukov, E.V. (2016) The 'dark age' in the medieval archaeology of the Tomsk Ob area: results of a study of a XVth century construction at the Shaitan III fortified settlement. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Istoriya – Tomsk State University Journal of History*. 5(43). pp. 33–39. (In Russian). DOI: 10.17223/19988613/43/7
- Vodyasov, E.V. (2018) Ust-Tagan hillfort: Iron smelting site in the Upper Ob River Region. *Tomskiy zhurnal lingvisticheskikh i antropologicheskikh issledovaniy – Tomsk Journal of Linguistic and Anthropology*. 1(19). pp. 84–98. (In Russian). DOI: 10.23951/2307-6119-2018-1-84-98
- Vodyasov, E.V. & Zaytseva, O.V. (2019) Female Headdress of the Golden Horde Time from Tomsk Ob River Region. *Povolzhskaya arkeologiya – The Volga River Region Archaeology*. 4(30). pp. 119–128. (In Russian).
- GK 'Geoskan'. (n.d.) *Tekhnicheskie kharakteristiki BVS Geoskan 201* [Technical characteristics of UAV Geoskan 201]. [Online] Available from: <https://www.geoscan.aero/ru/products/geoskan201/base> (Accessed: 20th December 2019).
- Sony. (n.d.) *Tekhnicheskie kharakteristiki fotoapparata Sony RX1* [Technical characteristics of Sony RX1]. [Online] Available from: https://www.sony.ru/electronics/cyber-shot-compact-cameras/dsc-rx1-rx1r#product_details_default (Accessed: 20th December 2019).
- He, J., Li, Y. & Zhang, K. (2012) Research of UAV Flight Planning Parameters. *Positioning*. 3. pp. 43–45. DOI: 10.4236/pos.2012.34006
- Bühler, Y., Stoffel, A., Adams, M., Bösch, R. & Ginzler, C. (2016) UAS photogrammetry of Homogenous snow cover. *Wissenschaftlich-technische Jahrestagung der DGPF*. pp. 306–316.
- Kraus, K. (2007) *Photogrammetry. Geometry from Images and Laser Scans*. Berlin; New York: Walter de Gruyter.