

Применение методов фотограмметрии археологических памятников в условиях лесистой местности

Application of photogrammetry methods for archaeological monuments in forested areas

Показаны возможности применения аэрофотосъемки для дистанционного изучения археологических объектов в лесной зоне. На примере анализа данных съемки городища Тра-Тай в Предуралье продемонстрирована эффективность метода в условиях лиственного леса при снежном покрове. Данные аэрофотосъемки обрабатывались с помощью технологии цифровой фотограмметрии и анализировались с использованием различных способов отображения.

The possibilities of using aerial photography for the remote study of archaeological sites in the forest zone are shown. Using the example of the analysis of the survey data of the Tra-Tau fortified settlement in the Pre-Urals, the effectiveness of the method in deciduous forest conditions with snow cover is demonstrated. The aerial photography data was processed using digital photogrammetry technology and analyzed using various display methods.

С 2018 г. в Башкортостане реализуется проект по комплексному применению дистанционных методов при изучении и поиске археологических памятников. В ходе работ разработан алгоритм проведения съемки в разных погодных и природных условиях. Полученные данные верифицировались в ходе разведочных работ, а также подтверждены археологическими раскопками.

В основе метода лежит аэрофотосъемка территории памятника беспилотными летательными аппаратами геодезического класса (квадрокоптеры и БПЛА самолетного типа). Основная специфика подхода, применяемая на археологических объектах Башкирии, заключается в дешифровке цифровой модели поверхности, полученной благодаря комбинированному использованию средств воздушной геодезии и фотограмметрической обработке аэрофотоснимков [более подробно, например, здесь: Крупочкин, Папин, 2018].

Практическое преимущество метода наиболее ярко проявилось при изучении археологических памятников Зауральской Башкирии [Nasretdinov et al., 2022, 2023; Nasretdinov и др., 2020].

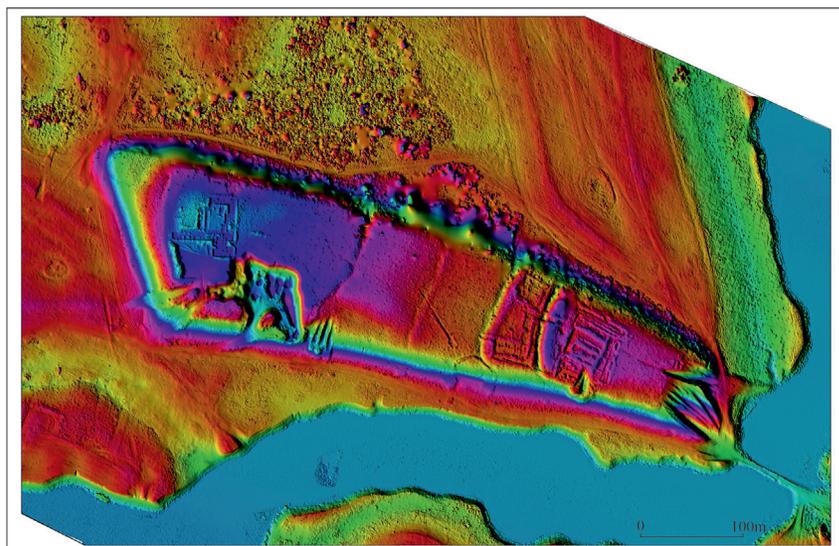
Несмотря на свою доступность, фотограмметрия для воссоздания цифровой модели рельефа (ЦМР) сильно ограничена природными условиями и признана малоэффективной при поиске и фиксации памятников археологии на лесных территориях. Очевидно то, что создать ЦМР методом фотограмметрии для лесного участка с лиственным покровом практически невозможно, т.к. поверхность не видна.

В 2022 г. была проведена серия экспериментов, направленных на поиск возможностей применения методов фотограмметрии с воздуха для обнаружения археологических объектов в залесенной местности. Тем более, примеры решения этой задачи уже имеются [Вавулин и др., 2020].

Для проведения тестовой съемки был выбран хорошо изученный памятник – городище Тра-Тай на северо-западе Башкирии. Имеются многочисленные планы, а также



1



2

Рис. Городище Тра-Тай. 1 – ортофотоплан; 2 – цифровая модель рельефа.

подробная топографическая съемка площадки городища, полученные в разные годы при работе с землей. Фортификационные элементы памятника разнообразны и имеют разную степень выраженности в рельефе, что позволяет оценить степень «чувствительности» метода в сложных условиях полностью залесенного памятника. Материалы исследований на городище частично опубликованы [Колонских, 2019; Воробьева, 2023].

Попытка создания ЦМР городища в лесу в осенний и весенний период при отсутствии листвы не принесла результатов. Опыт осенней аэрофотосъемки выявил проблему низкой освещенности поверхности под деревьями, кроме недостатка освещения, стволы и ветки деревьев сливались с земной поверхностью, что приводило к ошибкам работы алгоритмов фотограмметрического ПО.

Вышеперечисленных недостатков лишена зимняя аэрофотосъемка. Снежный покров контрастирует со стволами и ветками деревьев и своими отражающими свойствами подсвечивает поверхность. Недостатком съемки в данное время года является скрытая земная поверхность, что не позволяет воссоздать и выполнить анализ микрорельефа. Учитывая поставленные задачи (создание точного топографического плана, выявление фортификационных элементов и локализация всех раскопов), анализ микрорельефа не являлся первоочередным, что позволило применить метод зимней аэрофотосъемки к данному памятнику.

Для снижения влияния снежного покрова на высотные отметки, аэрофотосъемка выполнена при установлении минимально снежного покрова – до 10 см. Замер экспозиции на фотокамере выполнялся на полностью заснеженном участке без контрастных темных объектов для исключения появления пересвеченных кадров, при этом экспозиционное число имело значение менее -1.3. При таком EV стволы деревьев были практически черными на фотоснимке, что позволило ПО отфильтровать их на этапе обработки. Фотосъемка выполнялась в сыром RAW формате для дальнейшей цветокоррекции и смягчения теней от деревьев на фотоснимках. Пролет БПЛА выполнялся по заданной траектории с расстоянием между галсами, обеспечивающем перекрытие между снимками 70 %, направление камеры параллельно поверхности. Фотограмметрическая обработка выполнялась в ПО Agisoft Metashape, полученное облако точек отфильтровано по достоверности, точки с достоверностью менее 5 не допущены на этап построения ЦМР. Полученная ЦМР анализировалась в ПО GlobalMapper.

В результате анализа были зафиксированы все раскопы на данном памятнике, в том числе, неглубокие траншеи. Кроме фиксации раскопов, полученная ЦМР позволила зафиксировать точные параметры валов и рвов городища, ранее эти данные были получены с помощью глазомерной и нивелирной съемки (рис.). Аномалии рельефа, полученные на ЦМР, были проверены на местности до установления высокого снежного покрова и дополнительно зафиксированы на GNSS приемник, сопоставление данных показало точность и эффективность метода зимней аэрофотосъемки.

В ходе обработки были выявлены ошибки, допущенные при фотосъемке, которые повлияли на точность и целостность ЦМР на некоторых участках. Основной ошибкой является положение фотокамеры при аэрофотосъемке: при параллельном положении на фотоснимке недостаточно видны участки под деревьями и на склонах, в совокупности с тенью на северном склоне, алгоритмы не распознали достаточное количество общих точек на фотоснимках для воссоздания рельефа. Съемка с фотокамерой, поднятой на небольшой угол от поверхности во время зенита, позволит собрать дополнительные данные на затененных участках для целостности ЦМР.

Литература

Вавулин М.В., Зайцева О.В., Пушкарев А.А. Культурные ландшафты с «высоты птичьего полета»: возможности аэрофотосъемки для выявления памятников археологии в лесной зоне // Вестник Томского государственного университета. История. 2020. № 67. С. 120–127.

Воробьева С.Л. Антропоморфная глиняная фигура // Башкирский край. 2023. № 2(9). С. 76.

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

Колонских А.Г. Керамика городища Тра-Тау (по материалам раскопок В. А. Иванова в 1971–1972 гг.) // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 11–2. С. 37–47.

Насретдинов Р.Р., Бахшиев И.И., Габитов Р.Н. Дистанционные методы при поиске и изучении археологических объектов в Башкортостане // *Геоархеология и археологическая минералогия*. 2020. С. 219–221.

Nasretdinov R.R., Gabitov R.N., Bakhshiev I.I. The Remote methods for search and study of archaeological objects in Bashkortostan // *Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*. 2022. P. 355–363.

Nasretdinov R.R., Bakhshiev I.I., Gabitov R.N. The structure and layout of the Bronze Age settlement of Selek (the Southern Urals, Russia). In: *Ankusheva N.N., Chechushkov I.V., Epimakhov A.V., Ankushev M.N., Ankusheva P.S.* (eds) *Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy-2021*. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. 2022. P. 23–28.

А.А. Герцен

A.A. Herzen

*Институт географии РАН, г. Москва,
gerzen@jgras.ru*

Локализация городов, упомянутых Клавдием Птолемеем в среднем течении Днестра

Localization of cities mentioned by Claudius Ptolemy in the middle reaches of the Dniester

Античный период один из самых сложных для реконструкции историко-географических эволюции Северо-Западного Причерноморья. Важнейший источник информации по региону – «География» Клавдия Птолемея (сер. II в.) – вершина античной исторической географии и картографии, включающая детальные описания расположения географических объектов. Локализация топонимов – объект большого интереса историков и археологов, а в отношении Северо-Западного Причерноморья – большая междисциплинарная научная задача. Проведение исследований в рамках историко-географического подхода с использованием комплекса классических и современных методов показало, что при соотнесении археологических и архитектурных объектов, сохранившихся с античных времён, с современными и отмеченными на старинных картах географическими названиями можно обоснованно локализовать ряд городов, упомянутых у Птолемея в среднем течении Днестра (*Карродун* – Каменец-Подольский/Карвасары, *Метоний* – Садковцы/Рудь, *Клепидава* – Рашков/Вадул-Рашков/Нижние Климауцы, *Арковадара* – Алчедар, *Трифул* – Сахарна/Трифешты, *Патридава* – Старый Орхей/Пятра, *Увантаварий* – Дубоссары, *Карсидава* – Коржова, *Иракт* – *Бутор/Пугачены*).

The ancient period is one of the most difficult for the reconstruction of the historical-geographical evolution of the North-Western Black Sea region. The most important source of information on the region is the “Geography” of Claudius Ptolemy (middle of the 2nd century) – the pinnacle of ancient historical geography and cartography, including detailed descriptions of the location of geographical objects. The localization of the toponyms is an object of great interest both for historians and archaeologists, and in relation to the North-Western Black Sea region it is a great interdisciplinary scientific task. Conducting research within the framework of the historical-geographical approach using a complex of classical and modern methods showed that when comparing archaeological and architectural objects preserved from ancient times with modern and geographical names marked on ancient maps, it is possible to reasonably localize a number of cities mentioned by Ptolemy on middle the course of the Dniester (*Carrodunum* – Kamenets-Podolskiy/Karvasary, *Maetonium* – Sadkovtsy/Rudy, *Clepidaua* – Rashkov/Vadul-Rashkov/Nizhniye Klimoutsy, *Arcobadara* – Alchedar, *Triphulum* – Saharna/Trifeshty, *Patridaua* – Old Orhey/Pyatra, *Vibantaurium* – Dubossary, *Carsidaua* – Korzhova, *Heractum* – Butor/Pugacheny).