

Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. № 4. (121). С. 74-82.

Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2023. № 4. (121). P. 74-82.

## ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АРКТИКЕ

Научная статья

УДК 902.3, 528.7

doi: 10.26110/ARCTIC.2023.121.4.005

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ МЕСТНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДОВ ТАХЕОМЕТРИИ И ФОТОГРАММЕТРИИ В АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

*Даниил Сергеевич Тупахин*

*Научный центр изучения Арктики, Салехард, Россия*

*dantupahin@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-9024-6298>*

**Аннотация.** В работе приводится сопоставление двух методов топографической съемки местности для решения задач топографического обеспечения в рамках полевых археологических исследований – классической инструментальной съемки при помощи тахеометра и инновационной методики, основанной на использовании методов фотограмметрии, с использованием в исходных данных набора фотографий, полученных при помощи беспилотных летательных аппаратов. Исходя из практического опыта применения, сделаны выводы о плюсах и минусах применения каждого метода, описаны ограничения их применения в рамках практических полевых изысканий.

**Ключевые слова:** фотограмметрия, БПЛА, топография, полевые археологические исследования, тахеометрическая съемка.

**Цитирование:** Тупахин Д.С. Сравнительный анализ топографической съемки местности при помощи методов тахеометрии и фотограмметрии в археологических исследованиях // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. (121). № 4. С. 74–82. Doi: 10.26110/ARCTIC.2023.121.4.005.

Original article

## A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TOPOGRAPHIC SURVEY IN ARCHAEOLOGY — TOTAL STATION AND PHOTOGRAMMETRY

***Daniel S. Tupakhin***

*Arctic Research Center, Salekhard, Russia*

*dantupahin@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-9024-6298>*

**Abstract.** The paper presents a comparative analysis of two methods of topographic survey applicable for topographic support in the field of archaeological research – classical instrumental survey using a total station and an innovative technique based on the use of photogrammetry methods, using a set of photos obtained using unmanned aerial vehicles in the initial data. Based on the practical experience of application, conclusions are drawn about the pros and cons of using each method, the limitations of their application in the framework of practical field surveys are described.

**Keywords:** photogrammetry, UAV, topography, archaeological field research, total station survey.

**Citation:** D. S. Tupakhin, A comparative analysis of the topographic survey in archaeology – total station and photogrammetry // Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2023. (121). № 4. P. 74–82. Doi: 10.26110/ARCTIC.2023.121.4.005.

### ***Введение***

Топографические работы являются важной неотъемлемой частью комплекса полевых археологических исследований. Топографическое описание позволяет в графическом виде описать ландшафтный и растительный контекст, к которому привязан археологический комплекс, составить корректное представление о его особенностях, а в дальнейшем четко локализовать комплекс в природном интерьере. Неслучайно топографическая съемка является важным элементом исследования при всех видах археологических работ, в том числе и работ, не связанных с земляными работами. Стоит отметить, что с развитием технологического процесса инструменты для топографии стремительно развиваются, вследствие чего в практическую работу вводятся все новые и новые методики. К числу основных показателей, важных с точки зрения археолога-практика, мы

относим такие показатели, как качество и точность съемки, скорость работы, автономность в условиях экспедиции, мобильность инструментария, скорость обработки «сырых» исходных данных в камеральных условиях. В данной работе мы хотели бы остановиться на наиболее распространенных в настоящее время методиках – лазерной тахеометрической съемке и фотограмметрии, сравнить данные методики с точки зрения практического использования, определить круг задач, решаемых при их использовании.

### *Объекты и методы исследования*

Тахеометрическая лазерная съемка является развитием классической инструментальной съемки, где часть операций, таких как измерение расстояния и высоты, реализована в виде автоматических режимов. Также важной деталью работы является реализация работы с данными (обработка, сохранение и отображение) в цифровом виде, не требующем дополнительных действий по пересчету данных и занесению их в полевой дневник, ведения в полевых условиях чертежно-графической документации. Развитие технологий в настоящее время привело к тому, что тахеометр прочно вошел в обиход исследователей-археологов, практически вытеснив собой классические для XX века оптические приборы, а топографическое сопровождение всего цикла археологических исследований начиная с 2000-х гг. перешло в цифровой формат. В целом комплекс топографического сопровождения археологических работ, являющегося необходимым требованием, при проведении всех без исключения видов археологических исследований можно разделить на два ключевых раздела. К первому относится топографическая съемка по площади археологического памятника и фиксация характерных высот вмещающего памятник ландшафта, включая в ряде случаев съемку микрорельефа, с шагом съемки между пикетами около 0,5 м, что позволяет выделить незаметные в залесенном или заросшем травой или кустарником рельефе характерные перепады высот, маркирующие археологические объекты. Ко второму следует отнести сопроводительную инструментальную съемку, которая ведется непосредственно в ходе археологических раскопок, при которой с привязкой к топографическому плану отмечаются раскопы, высоты выбранных условных горизонтов (как правило, по сетке с шагом 1 м), в границах шурфов и раскопов фиксируются все найденные артефакты, конструкции, а также важные для понимания стратиграфической, планиграфической ситуации и контекста конкретного археологического комплекса, особенности.

Начало XXI века ознаменовалось стремительной эволюцией беспилотных летательных аппаратов, что в свою очередь кардинально поме-

няло доступность и эффективность систем аэрофотосъемки. Применение аэрофотосъемки для решения задач археологии не ново и имеет за собой долгую историю, однако до недавнего времени эти задачи отличались неприемлемо высокой стоимостью и сложностями, связанными с технической реализацией процесса аэросъемки. В последние полтора десятилетия же случился настоящий бум применения беспилотных летательных аппаратов для самых разных прикладных задач научных исследований, в том числе и для задач археологии, что прослеживается по целому ряду исследовательских работ, методики съемки совершенствуются и развиваются [1, 2, 3]. Наряду с аэрофотосъемкой, повышающей информативность и наглядность сопроводительной документации, в сравнении с наземной фотографией активное развитие получает применение методов фотограмметрии – построения цифровых объемных моделей объектов, основанных на наборе снятых под разными ракурсами фото. В целом фотограмметрия как отдельная научно-техническая дисциплина, ориентированная на получение формы, размеров, положения и прочих характеристик объектов по их фотоизображениям, имеет давнюю историю, начинающуюся одновременно с развитием фотографии.

Суть метода сводится к использованию способов и приемов различных дисциплин, в основном оптики и проективной геометрии. Пространственные координаты, соотносящиеся с объектом, определяются через сопоставление двух или более фотографий объекта, снятых при разных углах и положениях, разностях перспективы. На изображениях отыскиваются общие точки, после чего луч зрения проводится от местоположения фотоаппарата до точки на объекте. Пересечение этих лучей, таким образом, определяет расположение точки в пространстве. Существуют и более сложные алгоритмы, при которых используется информация об объекте, известная заранее: в качестве примера можно отметить, что известная симметрия составляющих элементов объекта измерений в определенных случаях позволяет реконструировать координаты точек вообще по одному фотоснимку.

Технологии современности, в частности переход от аналоговой фотосъемки к цифровой вкупе с развитием систем автоматической обработки данных и использованием БПЛА для получения набора исходных фотоданных, позволили перейти на качественно новый уровень использования методики фотограмметрии. Применение специализированного программного обеспечения для обработки данных и трансформации серии фотографий в готовую цифровую модель местности (ЦММ) не требует специализированных глубоких знаний из таких сфер, как оптика и пространственная геометрия, значительно снижает порог вхождения для применения метода в практической исследовательской работе.

### Результаты

Что касается практического опыта применения методики фотограмметрии с использованием данных фотосъемки при помощи БПЛА, нами были проведены экспериментальные апробации в ходе полевых археологических работ, связанных с исследованием археологического комплекса поселения Йоркутинское-3, которое состоялось летом 2022 г. [4].

В соответствии с регламентом археологических исследований при помощи лазерного цифрового тахеометра Trimble M3 DR5 был снят топографический план памятника и вмещающего его рельефа по классической для археологических исследований методике [5, 6], всего для составления плана было проведено 101 измерение (рис. 1 – 1).

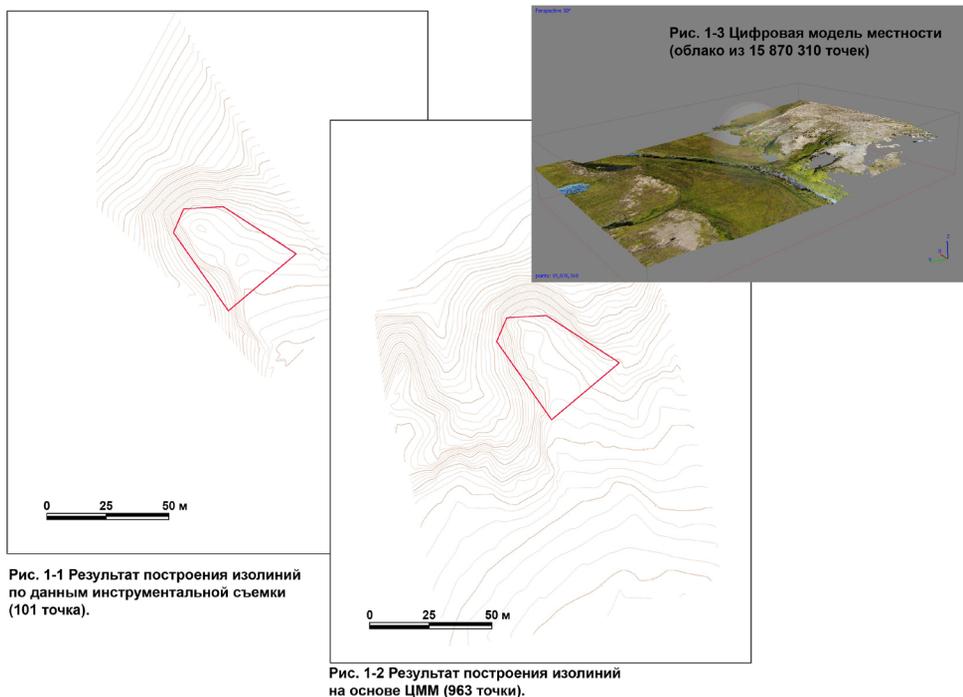


Рис. 1. Результаты топографической съемки рельефа археологического памятника

Также при помощи БПЛА DJI Mavic 2 была проведена аэрофотосъемка местности, в результате которой была получена серия из 64 снимков местности. Высота съемки составила 14–18 метров от уровня верхней площадки мыса, на которой располагается археологический памятник. Важно отметить, что для повышения качества конечного результата измерений снимки делались со значительным, до 50%, перекрытием. Также для повышения результативности для каждого снимка в автоматическом

режиме фиксировались такие показатели, как высота съемки, географическое положение камеры БПЛА в формате WGS-84. По завершении работ в камеральных условиях серия снимков обрабатывалась при помощи пакета программного обеспечения Agisoft Photoscan, успешно применяемого для решения различного круга задач археологии как зарубежными [7, 8] так и отечественными исследователями [9, 10]. Механизм работы программного обеспечения включал в себя набор последовательных операций: выравнивание фотографий и поиск парных пересечений на снимках, построение разреженного облака точек, основанное на вычислении совпадающих точек на снимках, построение плотного облака точек с учетом предыдущих вычислений, построение модели по облаку точек методом триангуляции, построение основанной на совмещении снимков текстуры. Стоит отметить, что на данном этапе цифровая модель местности имеет пробелы в виде двух участков, однако для решения вопросов, связанных с построением топографического плана, это не является непреодолимым препятствием. В частности, подобная проблема может быть решена на следующем этапе работы (обработка данных в специализированном топографическом ПО) при помощи методов автоматической интерполяции.

Результатом обработки фото при помощи ПО Agisoft Photoscan стало облако из 15 800 000 точек, передающее пространственную информацию, описывающую рельеф местности, вмещающей археологический памятник поселение Йоркутинское-3. Общая площадь построенной цифровой модели местности составила 117 600 м<sup>2</sup> (прямоугольник со сторонами 280 и 420 м), однако качество модели, в первую очередь значения высот для периферийной части цифровой модели рельефа, стоит признать невысоким. Для построения топографического плана, передающего значения высот с допустимой погрешностью, мы сократили участок модели до площади, размеры которой составили 38 400 м<sup>2</sup> (прямоугольник со сторонами 120 и 240 м), облако, описывающее высоты модели местности в этих границах, состоит из 9 670 282 точек (рис. 1 – 3). Полученный результат был экспортирован в виде набора текстовых данных о координатах вершин в формате хуз, после чего обработка данных велась при помощи специализированного инженерно-топографического ПО «IndorCAD Топо 2020», полученный результат при меньших затратах времени на съемку описывает топографическую ситуацию подробнее, чем при использовании тахеометра.

Для установки системы абсолютных высот топографического плана в качестве отсчетной высоты был выбран урез воды р. Йоркутаяха, в результате чего значения высотных отметок были скорректированы. Важно отметить, что в целом методику полевой съемки следует скорректировать, расположив до начала съемки на местности маркерные точки, хорошо

различимые на фото, а высотные отметки маркерных точек зафиксировать в полевом журнале. Особую важность подобная работа принимает при работе на участках местности, удаленных от водоемов, не попадающих в зону фотосъемки. Помимо этого, в процессе построения изолиний топографического плана оказалось, что частота расположения высотных отметок излишне высока, для чего в автоматическом режиме количество высотных отметок было значительно сокращено – до 963 точек. Дальнейшая работа по обработке данных фактически не имела отличий от обработки данных, полученных в ходе традиционной съемки при помощи тахеометра. Стоит отметить, что работа по составлению абрисов объектов, расположенных на местности, а также абрисов зон растительности и почв при подготовке чертежей в камеральных условиях в значительной степени упрощается и ускоряется при обращении к цифровой модели местности с наложенной растровой разверткой.

### *Выводы*

Таким образом, к плюсам использования БПЛА для решения задач по фиксации топографии рельефа археологических памятников можно отнести скорость съемки исходного набора данных, относительную простоту работы с техникой, высокую точность фиксации, а также то, что при построении цифровой модели местности, помимо исходного «каркаса», существует возможность создания в автоматическом режиме достоверной фоторазвертки, на которой в высоком разрешении различимы характерные особенности рельефа, отдельные объекты «in situ».

К минусам использования стоит отнести ограничения метода. Так, для использования фотограмметрии не подходят участки, покрытые кустарниками и древесной растительностью, в первую очередь, густозалеженные участки, в силу создаваемых искажений высотных отметок, что следует учитывать при планировании работ и оценке целесообразности применения метода на стадии изучения района исследования. Стоит отметить, что применение метода в условиях Ямальской тундры видится наиболее перспективным. Вместе с тем можно предположить, что неэффективно использование метода при фиксации объектов, выраженных в рельефе, но скрытых под травянистой растительностью, мхами, кустарниками (например, при попытке фиксации впадин на археологических могильниках). При планировании исследований также стоит учитывать, что использование БПЛА при плохих погодных условиях – ветреной и/или дождливой погоде – может значительно затруднить съемку. Также стоит отметить, что использование описанного выше метода способно решить задачи топографической съемки рельефа археологического памятника и окружающего интерьера, однако метод не способен

заменить работы, сопровождающие археологические исследования в обязательном порядке – фиксацию границ раскопов и шурфов, съемку высотных значений при разборке культурного слоя, фиксацию встреченных в культурных слоях артефактов и объектов, т.е. квадрокоптер не заменяет тахеометр (нивелир, теодолит), лишь дополняя его и упрощая решение отдельных задач.

В заключение отметим, что наиболее рациональным способом практического применения методов фотограмметрии при построении ЦММ на основе снимков, сделанных беспилотными летательными аппаратами, видится комплексный подход, при котором описанный метод сочетается с классической инструментальной съемкой. Выраженные в рельефе остатки жилищ, укреплений, могильных впадин, местоположения заложенных шурфов, раскопов, зачисток, границы археологического комплекса и отдельные характерные поворотные точки – все это, несомненно, требует инструментальной съемки. Для построения рельефа на открытых участках местности БПЛА может стать удобным и эффективным вспомогательным инструментом.

### *Список источников*

---

1. Быков А.Л. и др. Геодезическое обеспечение археологических работ с применением БПЛА и методов стереофотограмметрии //Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2014. – Т. 4. – № 1. – С. 41-45.
2. Крупочкин Е.П., Папин Д.В. О перспективах использования беспилотной съемки в археологических исследованиях //Теория и практика археологических исследований. – 2018. – № 4 (24). – С. 71-84.
3. Nikolakopoulos K. G. et al. UAV vs classical aerial photogrammetry for archaeological studies //Journal of Archaeological Science: Reports. – 2017. – Т. 14. – С. 758-773.
4. Тупахина О.С., Тупахин Д.С. Археологический комплекс поселение Йоркутинское-3: результаты исследований //Археология Арктики. Вып. 8. 2023 (в печати).
5. Зайцева О.В. и др. Тахеометрическая съемка в археологических исследованиях: учебно-методическое пособие. – Новосибирск, 2010.
6. Rick J. W. Total stations in archaeology//SAA bulletin. – 1996. – Т. 14. – № 4. – С. 31-34.
7. Thomas H., Kennedy M. A. A new methodology for accurate digital planning of archaeological sites without the aid of surveying equipment //Journal of Archaeological Science: Reports. – 2016. – Т. 10. – С. 887-892.
8. Douglass M., Lin S., Chodoronek M. The application of 3D photogrammetry for in-field documentation of archaeological features //Advances in Archaeological Practice. – 2015. – Т. 3. – № 2. – PP. 136-152.

9. Зайцева Ольга Викторовна «3D революция» в археологической фиксации в российской перспективе // Сибирские исторические исследования. – 2014. – № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/3d-revolyuksiya-v-arheologicheskoy-fiksatsii-v-rossiyskoy-perspektive> (дата обращения: 13.11.2023).
10. Файзов Д.С. Опыт создания высоко- и низкополигональных 3d-моделей в рамках археологических исследований в Калининградской области // Информационный бюллетень ассоциации «История и компьютер». – 2015. – № 44. – С. 20-23.

---

### *Сведения об авторе*

---

**Тупахин Даниил Сергеевич**, 1988 г.р., окончил исторический факультет Национального Исследовательского Томского государственного университета, с 2013 г. – лаборант, с 2014-го по н.в. – младший научный сотрудник сектора истории и археологии ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики». Сфера научных интересов: древняя история субарктической зоны, каменные индустрии древности, археология.

Статья поступила в редакцию 13.11.2023 г., принята к публикации 07.12.2023 г.

The article was submitted on November 13, 2023, accepted for publication on December 7, 2023.