

Т. Н. Скрыпицына<sup>1</sup>, А. Г. Воротилов<sup>2</sup>, Д. А. Кочнева<sup>3</sup>, Ф. Д. Гаврилюк<sup>4</sup>,  
Е. А. Смирнов<sup>5</sup>

## ОСОБЕННОСТИ СЪЕМКИ И МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЧАСТИЧНО РАЗРУШЕННЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

### АННОТАЦИЯ

Современные технологии дистанционного зондирования предлагают целый ряд решений, позволяющих создавать разного вида обмерные модели объектов архитектурного наследия. Алгоритмы обработки изображений позволяют не только воссоздавать в цифре существующие на данный момент времени строения, но и производить виртуальную реконструкцию частично разрушенных памятников архитектуры. Фотограмметрия является сравнительно недорогим и практически универсальным методом для моделирования архитектурных объектов и создания их обмерных чертежей. Появление в арсенале фотограмметристов беспилотных летательных аппаратов с цифровыми камерами на борту значительно облегчило процесс фотосъемки труднодоступных (и тем более ценных) архитектурных сооружений. Тем не менее, чтобы получить искомый результат, для каждого объекта необходимо подбирать индивидуальные методики как для съемки, так и для цифровой реконструкции. В исследовании представлены результаты работы на двух частично разрушенных памятниках архитектуры. Для цифровой реконструкции утраченных элементов и с целью создания обмерных моделей была выполнена комплексная съемка интерьера и экстерьера. Первый архитектурный объект — руины замка Аду-Сурхо XVII в., находится на территории Чеченской Республики. Его моделирование происходило по снимкам, полученным только с БВС, а реконструкция утраченных частей — по аналогии с существующими образцами исторических построек. Второй объект — Строгановский амбар XVIII в., что является самым старым каменным строением г. Тутаева (Романовская сторона). Модель современного состояния строилась по результатам наземной и аэрофотосъемки, а реконструкция утраченных элементов — по набору разновременных снимков и чертежам XVIII в. Результаты цифровой реконструкции послужат созданию проектов реставрации для восстановления первоначального вида сооружений и увеличения значимости этих объектов в культурной и туристической деятельности регионов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** фотограмметрия, моделирование архитектурных объектов, съемка с беспилотных воздушных судов, БВС, реконструкция

<sup>1</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), кафедра фотограмметрии, Гороховский пер., д. 4, Москва, Россия, 105064,

*e-mail:* [tatyana.skrypitsyna@yandex.ru](mailto:tatyana.skrypitsyna@yandex.ru)

<sup>2</sup> Группа компаний Геоскан, Колпачный пер., д. 6 с. 3, Москва, Россия, 101000,

*e-mail:* [alesha.vorotilov@ya.ru](mailto:alesha.vorotilov@ya.ru)

<sup>3</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), НИЧ, Гороховский пер., д. 4, Москва, Россия, 105064, *e-mail:* [kochneva.d.a@yandex.ru](mailto:kochneva.d.a@yandex.ru)

<sup>4</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), Гороховский пер., д. 4, Москва, Россия, 105064, *e-mail:* [79011834240@yandex.ru](mailto:79011834240@yandex.ru)

<sup>5</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), кафедра фотограмметрии, Гороховский пер., д. 4, Москва, Россия, 105064, *e-mail:* [smirnov.e.a@list.ru](mailto:smirnov.e.a@list.ru)

Tatyana N. Skrypitsyna<sup>1</sup>, Alexey G. Vorotilov<sup>2</sup>, Daria A. Kochneva<sup>3</sup>, Faina D. Gavriluk<sup>4</sup>,  
Eugeniy A. Smirnov<sup>5</sup>

## FEATURES OF THE SURVEY AND METHODS OF MODELLING PARTIALLY DESTROYED ARCHITECTURAL OBJECTS BASED ON PHOTOGRAMMETRIC DATA

### ABSTRACT

Modern remote sensing technologies offer a range of solutions for creating various types of architectural heritage objects measurement models. Image processing algorithms allow not only to digitally recreate existing buildings, but also to make virtual reconstruction of partially destroyed architectural heritage. Photogrammetry is a relatively inexpensive and practically universal method for modelling architectural objects and creating their measurement drawings. The appearance of unmanned aerial vehicles with digital cameras on board in the photogrammetrist's arsenal has greatly facilitated the process of photographing hard-to-reach, and even more valuable architectural objects. Nevertheless, in order to obtain the desired result, individual techniques, both for imaging and digital reconstruction, must be selected for each object. The study presents the work results on two partially destroyed architectural heritage. A complex survey of the interior and exterior was carried out to digitally reconstruct the lost elements and to create dimensional models. The first architectural object, the ruins of the 17th century Adu-Surkho castle, is located in the Chechen Republic. Its modelling was based on images obtained only from the UAV, and the reconstruction of lost parts was based on analogy with existing examples of historical buildings. The second object, the 18th century Stroganovs' salt barn, is the oldest brick structure of Tutaev (Romanovskaya side). The modern state model was built based on the results of ground and aerial survey, and the reconstruction of the lost elements based on a set of multi-temporal images and drawings of the XVIII century. The results of the digital reconstruction will be used for restoration projects to restore the original appearance of the structures and increase the significance of these objects in the cultural and tourist activities of the regions.

**KEYWORDS:** photogrammetry, modelling of architectural objects, surveys from unmanned aerial vehicles, UAVs, reconstruction

### ВВЕДЕНИЕ

На территории Российской Федерации существует большое количество уникальных архитектурных сооружений, которые расположены в малых городах или заброшенных деревнях и селах, отражающих эпоху и национальный колорит проживавших там людей. Эти сооружения представляют большой интерес для архитекторов, историков, археологов и ценителей национальной культуры. Совершенно понятно, что восстановить все памятники невозможно, но сохранить в виде реалистичных обмерных моделей наиболее значимые — это вполне реализуемая задача. В каких целях можно использовать подобные модели?

---

<sup>1</sup> Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), Photogrammetry department, 4, Gorokhovskiy ln., Moscow, 105064, Russia, *e-mail*: [tatyana.skrypitsyna@yandex.ru](mailto:tatyana.skrypitsyna@yandex.ru)

<sup>2</sup> Geoscan group of companies, 6/3, Kolpachny ln., Moscow, 101000, Russia, *e-mail*: [alesha.vorotilov@ya.ru](mailto:alesha.vorotilov@ya.ru)

<sup>3</sup> Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), Research section, 4, Gorokhovskiy ln., Moscow, 105064, Russia, *e-mail*: [kochneva.d.a@yandex.ru](mailto:kochneva.d.a@yandex.ru)

<sup>4</sup> Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), 4, Gorokhovskiy ln., Moscow, 105064, Russia, *e-mail*: [79011834240@yandex.ru](mailto:79011834240@yandex.ru)

<sup>5</sup> Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), Photogrammetry department, 4, Gorokhovskiy ln., Moscow, 105064, Russia, *e-mail*: [smirnov.e.a@list.ru](mailto:smirnov.e.a@list.ru)

Во-первых, часть моделей может стать основой для создания НВИМ (англ. *Heritage Building Information Modeling* — информационная модель объекта архитектурного наследия) и в дальнейшем быть вписана в контекст развития среды обитания человека: стать музеем, выставочной площадкой, действующим храмом, частью туристического контента [Шестопалова и др., 2022; Dominici et al., 2017; Karachaliou et al., 2019]. Во-вторых, в случае невозможности консервации и/или восстановления такие модели могут стать экспонатами своеобразной «Красной книги» или «Черной книги» архитектурного наследия Российской Федерации и остаться в памяти потомков.

Методы дистанционного зондирования предлагают целый ряд решений, позволяющих создавать обмерные модели архитектурных объектов, находящихся в различной степени разрушенности и доступности: лазерное сканирование, аэрофотосъемка с беспилотных воздушных судов (БВС), наземная фотосъемка и комбинации всего перечисленного [Dominici et al., 2017; Karachaliou et al., 2019; Yang et al., 2020; Pepe et al., 2021]. Для каждого объекта приходится подбирать индивидуальные подходы для съемки и методов реконструкции. Критериями выбора методики является доступность объекта, степень сложности форм и экономическая целесообразность. Поскольку большинство провинциальных жемчужин архитектуры находятся в плачевном состоянии, то стоит вопрос о возможности цифровой реконструкции утраченных элементов. Не всегда можно найти чертежи этих построек. В таком случае большим подспорьем в восстановлении облика частично утраченных объектов могут стать снимки, полученные в разные годы. По этим изображениям можно восстанавливать разрушенные части строений [Kniaz et al., 2020].

В представленном исследовании приведены два примера создания трехмерных обмерных моделей частично разрушенных строений и их цифровой реконструкции. Оба объекта являются исторически и культурно значимыми, но находящимися в значительной стадии разрушения.

Первый архитектурный объект — руины замка Аду-Сурхо XVII в., находится на территории Чеченской Республики. Его моделирование происходило по снимкам, полученным только с БВС, а реконструкция утраченных частей — по аналогии с существующими образцами исторических построек.

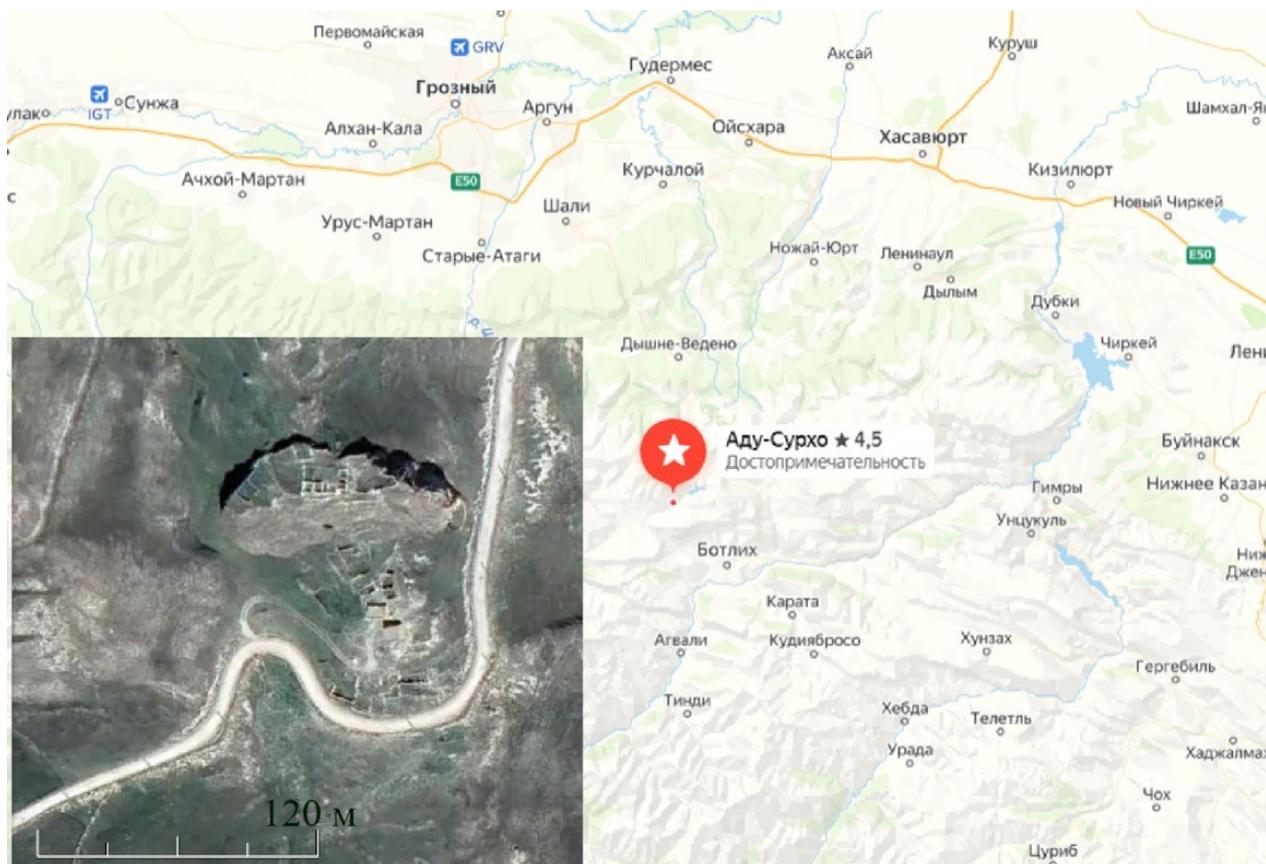
Второй объект — Строгановский амбар XVIII в., является самым старым каменным строением г. Тутаева (Романовская сторона). Модель современного состояния строилась по результатам наземной и аэрофотосъемки, а реконструкция утраченных элементов — по набору разновременных снимков и чертежам XVIII в.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Объекты исследования

Замок Ади-Сурхо (также известный как Аду-Сурхо) расположен недалеко от села Макажой в Чеченской Республике и представляет комплекс каменных построек на скальном выступе южного склона Чеберлоевского каньона (42°45'17" с. ш., 46°6'30" в.д.) (рис. 1). Строительство комплекса относят к XVI–XVII вв. и связывают с именем народного героя Чечни Адина Сурхо<sup>1</sup>. Положение замка позволяло контролировать дорогу, проходящую под ним, а практически отвесные склоны — использовать его как военное укрепление и защитное сооружение.

<sup>1</sup> Странная легенда одного замка на Кавказе. Электронный ресурс: <https://dzen.ru/a/XZvI8yvrSQct9dZJ> (дата обращения 24.04.24)



*Рис. 1. Географическое положение замка Аду-Сурхо*  
*Fig. 1. Adu-Surho castle geographical location*

Главный замок был построен на вершине скалы (1 833 м н. у. м.). У подножия (1 790 м н. у. м.) расположены еще несколько строений на террасированных склонах, две постройки из которых были восстановлены (построены заново) местными энтузиастами, остальные находятся в руинированном состоянии. Под скалой оборудован грот для укрытия скота в непогоду.

В задачу исследования входило построение трехмерной модели объекта и попытка цифрового восстановления первоначального вида замка с использованием данных о типовых исторических постройках данного региона.

Вторым объектом исследования стало старейшее кирпичное здание города Тутаева Ярославской обл. (старое название — Романов-Борисоглебск). Соляной амбар графа Строганова был построен на рубеже XVII и XVIII вв. Он расположен в самом центре древнего города и является одним из его символов (57°52'59" с. ш., 39°32'32" в. д.) (рис. 2). Подобные здания этого периода больше не сохранились. Законодательно определено, что он имеет наивысший уровень культурной ценности [Стародубов, 2022]. На протяжении трех столетий амбар использовался по назначению и несколько раз перестраивался. В течение последних двадцати лет здание не использовалось и постепенно разрушалось. В настоящее время ведутся подготовительные работы по реставрации здания и интеграции его в современную городскую инфраструктуру. Задача реставраторов состоит в том, чтобы тщательно восстановить сохранившиеся части здания, в особенности те, что близки к первоначальному проекту здания. Само здание состоит из семи комнат. В 1-ом и 7-ом помещениях сохранились каменные своды и кровля, поэтому они находятся в удовлетворительном состоянии; в комнатах 2, 5 и 6 каменная кровля обвалилась, но они

находятся под железной кровлей; комнаты 3 и 4 — без каменных сводов под открытым небом (см. рис. 2с). Высота стен составляла около 5 м, а крыша — 11 м. Размеры амбара — 40 м в длину и 20 м в ширину.

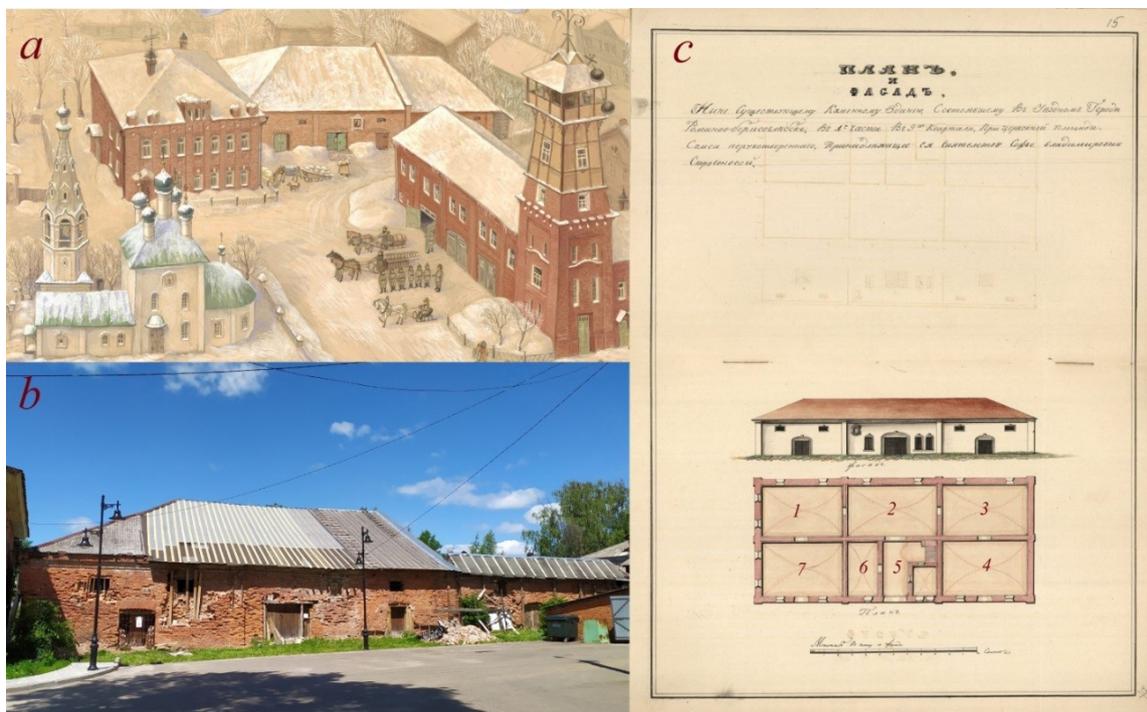


Рис. 2. Строгановский соляной амбар в Тутаеве: а) главная площадь Тутаева с амбаром, 1914 г., (рисунок А. Варнавской); б) амбар в 2023 г.; в) план амбара XIX в.  
Fig. 2. Stroganovs' salt barn in Tutaev: a) Tutaev main square with a barn, 1914 (picture by A. Varnavskaya); b) a view of the barn in 2023; c) 19th century barn plan

Задачей моделирования было построить трехмерную модель амбара и реконструировать разрушенные части внутренних строений.

### Получение и обработка данных

При построении цифровых моделей руин получение и обработка данных включали стандартные этапы:

- создание опорного геодезического обоснования;
- фотосъемочные процессы;
- фотограмметрическая обработка снимков; моделирование утраченных архитектурных элементов.

Поскольку исследуемые архитектурные объекты имели совершенно разное положение в пространстве и степень разрушения, то и технологически стандартная схема на каждом из этапов имела различия.

При съемке *Аду-Сурхо* точки опорного геодезического обоснования размещались по обочине дороги вокруг скалы, на которой находился комплекс строений. Всего было заложено и измерено 4 опорных точки, измерения которых производились в режиме короткой статики при действующей в области работ базовой станции. Определение координат базовой станции выполнялось путем уравнивания измерений от референсных станций. Средняя квадратическая ошибка (СКО) определения координат опорных точек составляла не более 5 см в пространстве.

В связи с труднодоступностью положения для моделирования можно было использовать снимки, полученные исключительно съемкой с БВС. Планирование и построение полетных миссий проводилось с учетом особенностей расположения объекта съемки таким образом, чтобы получить максимально возможное количество снимков с разных ракурсов с условием точного соблюдения высоты БВС над рельефом местности. Целевое превышение при полетах составило 50 м, отдельные элементы строений снимались в ручном режиме. Все съемки выполнялись БВС квадрокоптерного типа Phantom 4 PRO, оснащенного камерой FC6310, постоянное фокусное расстояние  $f=8,8$  мм, размер матрицы 5 472x3 648 пикселей, физический размер пикселя 2,4 мкм.

По итогам выполнения АФС было получено 1 022 снимка в автоматическом режиме, и около 500 в ручном режиме. Пространственное разрешение на объекте составило в среднем 1,5 см/пикс.

Фотограмметрическая обработка осуществлялась в Agisoft Metashape Pro 2.1.0<sup>1</sup> совместно для всех изображений и включала процессы фототриангуляции с самокалибровкой, построение плотного облака точек и тайловой текстурированной модели замка [Семенов и др., 2010] (рис. 3). При уравнивании сети фототриангуляции СКО на опорных точках составила не более 1,5 см в плане и 2 см по высоте. Точность модели оценивалась по контрольным отрезкам, которые были измерены на объектах лазерной рулеткой и на модели. Всего было измерено 7 отрезков в доступных частях комплекса строений. Среднее расхождение на контрольных отрезках составило 1,8 см.



Рис. 3. Полигональная текстурированная модель замка Аду-Сурхо  
Fig. 3. Polygonal textured model of Adu-Surho castle

*Строгановский амбар.* Сложность съемок амбара состояла в том, что часть помещений находилось под крышей, поэтому опорные точки необходимы были не только для внешнего ориентирования общей модели строения, но и для связи наружных фасадов и внутренних помещений. В связи с этим точки размещались равномерно по всем стенам помещений и внешнему фасаду. Геодезические измерения координат опорных точек

<sup>1</sup> Официальный сайт. Электронный ресурс: <https://www.agisoft.com/> (дата обращения 24.04.24)

производились тахеометром Trimble Zeiss 3305 Dg в безотражательном режиме линейно-угловым методом [Скрытцына и др., 2018]. Средняя квадратическая ошибка определения координат точек составила порядка 1,5 см. Всего была измерена 141 опорная точка.

Фотографирование производилось с воздуха и земли. Для наземной фотографической съемки всех частей здания использовался цифровой фотоаппарат Canon PowerShot SX510 HS с постоянным фокусным расстоянием  $f=4,3$  мм, размером матрицы 4 000х3 000 пикс., физический размер пикселя 1,5 мкм. Размер пикселя на фасаде — 1,32 мм/пикс. Надирная и перспективная АФС необходима была для верхних частей здания и выполнялась с использованием Phantom 4 PRO, оснащенного камерой FC6310, постоянное фокусное расстояние  $f= 8,8$  мм, размер матрицы 5 472х3 648 пикселей, физический размер пикселя 2,4 мкм. В результате фотосъемочных работ было получено 775 аэроснимков и 1 088 наземных снимков.

Особую сложность для проведения фотосъемочных работ представляли комнаты, находящиеся под крышей, но без каменной кровли (помещения 2, 5, 6 на рис. 2). Эти помещения находятся в аварийном состоянии и не имеют освещения. Для получения снимков верхних частей помещений выполнялась наземная съемка и съемка БВС в ручном режиме с использованием студийного освещения.

Фотограмметрическая обработка осуществлялась также в Agisoft Metashape Pro 2.1.0. Фототриангуляция самокалибровкой проводилась отдельно для каждого помещения (5 помещений и общий внешний контур). СКО на опорных точках по комнатам и внешним стенам не превышала 6 мм по трем координатам. Затем были построены модели помещений и внешних стен в виде плотных облаков точек. На заключительном этапе все модели были объединены в общее облако точек по опорным точкам (рис. 5). СКО на опорных точках общей модели не превышала 1 см по трем координатам, что позволяет создавать по полученной модели обмерные чертежи и профили м-бов 1:100–1:200<sup>1</sup>. Точки, которые принадлежали железной крыше, с модели были удалены.



*Рис. 4. Финальная модель амбара в виде облака точек*  
*Fig. 4. The final barn model is in the form of a point cloud*

<sup>1</sup> ГОСТ Р 56905 2016. Проведение обмерных и инженерно-геодезических работ на объектах культурного наследия. Общие требования. Электронный ресурс: <https://base.garant.ru/71512990/> (дата обращения 24.04.24)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Моделирование утраченных частей замка Аду-Сурхо

Реконструкция производилась по плотному облаку точек в программе Autodesk 3DS Max. Анализ точек позволил сделать вывод о расположении контуров стен древних построек, их планировочной структуре (рис. 5).



*Рис. 5. Реконструированный облик замка Аду-Сурхо*  
*Fig. 5. Reconstructed appearance of Adu Surho castle*

Содержащаяся в облаке точек информация о наличии или отсутствии фундаментов у построек послужила основанием для определения функционального назначения башен. Для воссоздания облика сооружений были задействованы исторические и археологические описания памятников средневековой чеченской архитектуры и примеры сохранившихся и отреставрированных зданий и башен.

### Моделирование утраченных частей Строгановского амбара

Собственник амбара Ю. В. Стародубов предоставил любительские фотоснимки всех помещений, полученные 8–10 лет назад. На этих снимках были зафиксированы те части интерьеров, которые на данный момент уже утрачены (кирпичный свод помещения 6 обвален) или скрыты за сохранными конструкциями (арочный проход между помещениями 3 и 2, оконные проемы в помещении 2, рис. 2). На кирпичный свод имелось 8 снимков, а на арочный проход между помещениями — 16 снимков. Эти изображения были получены с разных ракурсов и в разные сезоны (летом и зимой), но они имели перекрытия, что позволило по этим снимкам создать модели фрагментов утраченных частей зданий в виде плотных облаков точек. Затем по связующим точкам фрагменты были интегрированы в общую модель путем замены идентичных участков. На рис. 6 представлен пример интеграции облака точек, составленного из любительских снимков (b) в модель 2022 г. (a). В результате объединения получилась модель (c), пригодная для создания обмерного чертежа (d).

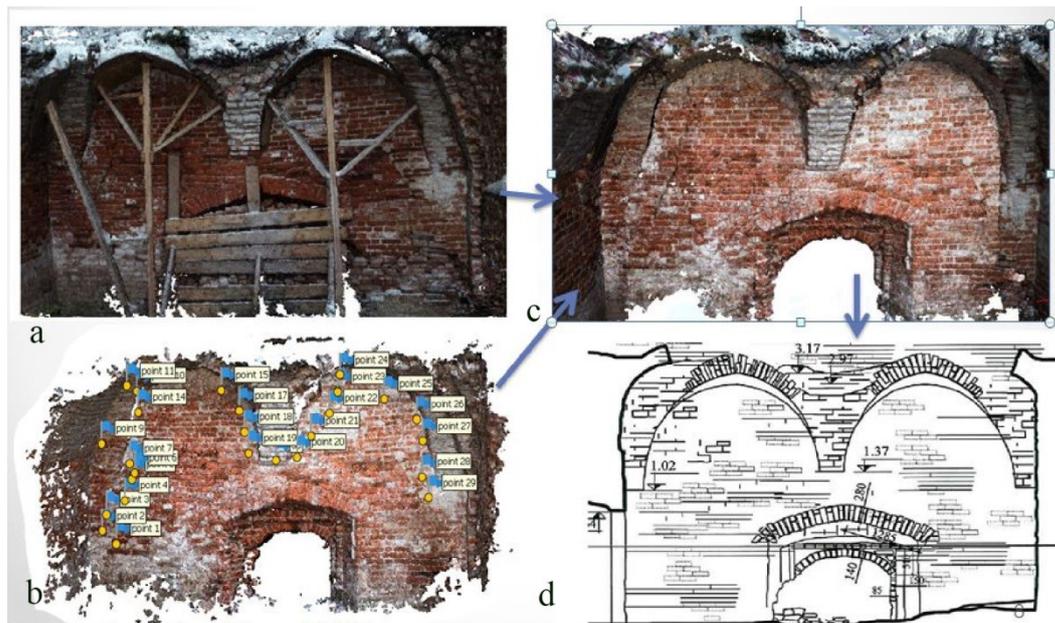


Рис. 6. Реконструкция арочного прохода между помещениями  
Fig. 6. Reconstruction of the arched entrance between the rooms

Последним этапом была графическая реконструкция внутренних помещений по облаку точек с использованием чертежей XIX в. (рис. 7) в ПО Blender<sup>1</sup>.

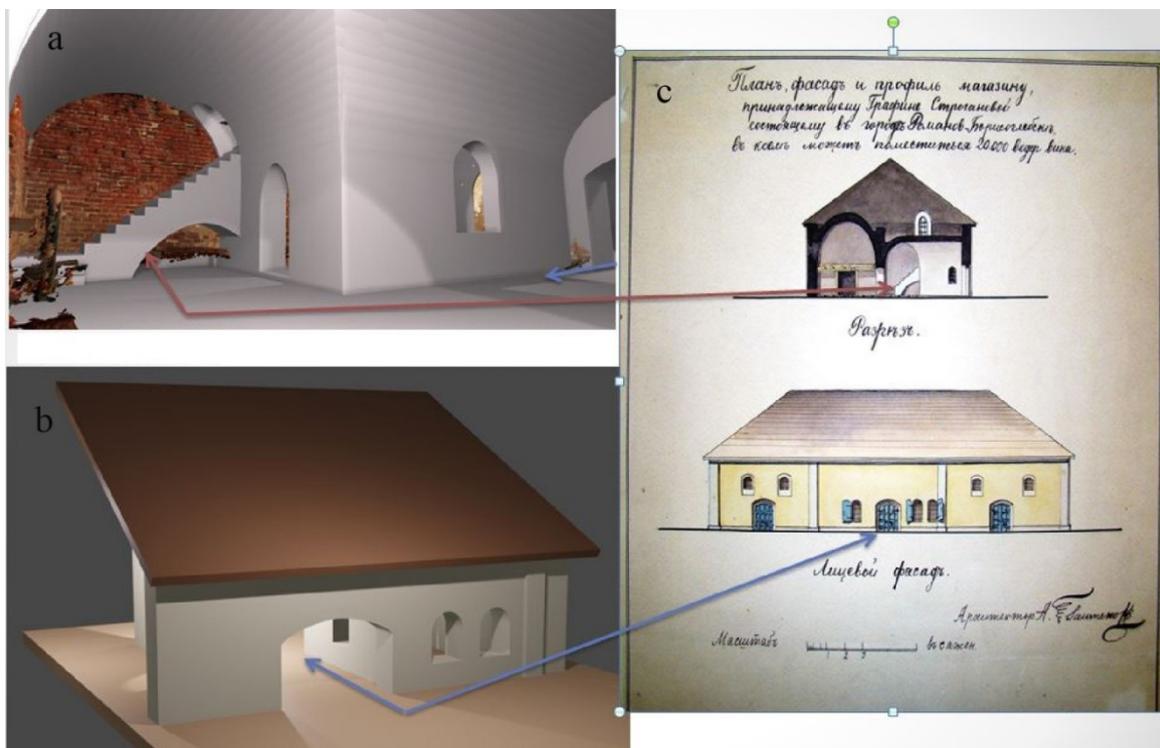


Рис. 7. Реконструкция интерьеров помещения № 5 Строгановского амбара  
Fig. 7. Reconstruction of the interiors of room No. 5 of the Stroganovs' salt barn

<sup>1</sup> Официальный сайт. Электронный ресурс: <https://docs.blender.org/> (дата обращения 24.04.24)

Плотные облака точек повторяют текстуру стен и особенности кладки кирпича, что позволило достоверно выделить этапы перестройки здания, определить места креплений обвалившихся каменных сводов, найти и измерить замурованные ниши и проходы между помещениями. Словом, те детали, которые невозможно было отобразить на чертежах при натурных обмерах. На рис. 7: а) — восстановленные стены, своды и лестница помещения 5 (см. схему на рис. 2) амбара, б) — реконструкция входа в помещение (можно сравнить со входом в современный амбар; на рис. 2 и 4 — это третья слева дверь; д) — чертеж амбара XIX в.

## ВЫВОДЫ

Методы наземной и аэрофотосъемок, а также программы фотограмметрической обработки полученных изображений позволяют получать высокоточные модели архитектурных объектов, которые служат информативным ресурсом для реставраторов. Основой достижения качественных результатов и требуемой точности фотограмметрическим способом является строгое соблюдение технологии выполнения работ, которая определяется целью моделирования, степенью сложности форм и доступностью объекта.

Современные фотограмметрические алгоритмы позволяют использовать случайный набор изображений для восстановления утраченных фрагментов строений.

В процессе работ изучены и отработаны на практике особенности выполнения работ на объектах архитектурного наследия в горной местности и в условиях ограниченного перемещения и освещения объекта.

Реализованы различные способы реконструкции утраченных частей строений. Полученные модели замка Аду-Сурхо и Строгановского амбара по точности удовлетворяют требованиям для создания обмерной документации, которая впоследствии может использоваться для создания проектов реставрации.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РНФ, грант № 24-21-00314. Отдельная благодарность Юрию Стародубову — владельцу Строгановского амбара и инициатору его реставрации.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The project is supported by the Russian Science Foundation, grant No. 24-21-00314. Special thanks to Yuri Starodubov — owner of a unique historical building and initiator of its restoration.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Семенов А. Е., Крюков Е. В., Рыкованов Д. П., Семенов Д. А. Практическое применение технологий компьютерного зрения в решении задач распознавания, восстановления 3D, сшивки карт, точного целеуказания, счисления пути и навигации. Известия ЮФУ. Технические науки, 2010. Т. 104. № 3. С. 92–102.

Скрытцына Т. Н., Староверов С. В. Съемка фасадов зданий с использованием беспилотных воздушных судов. Инженерные изыскания, 2018. Т. XII. № 7–8. С. 46–52. DOI: 10.2522/96/1997-8650-2018-12-7-8-46-52.

Стародубов Ю. В. Соляной амбар Строгановых в Романове-Борисоглебске. Опыт изучения, сохранения и музеефикации. Русский Север-2022: проблемы изучения и сохранения историко-культурного наследия: сборник работ VI Всероссийской научной конференции. Вологда: Вологодский государственный университет, 2022. С. 68–77.

*Шестопалова О. Л., Шестопалов П. П.* Об интеграции BIM-технологии информационного моделирования зданий с методами фотограмметрии при построении цифровых моделей объектов в архитектурно-строительной отрасли. Известия ТулГУ. Технические науки, 2022. № 8. С. 138–143. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-138-144.

*Dominici D., Alicandro M., Rosciano E., Massimi V.* Multiscale documentation and monitoring of l'Aquila historical centre using UAV photogrammetry. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Materials of the Geomatics and Restoration — Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era, Florence, 2017. V. XLII-5/W1. P. 365–371. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-365-2017.

*Karachaliou E., Georgiou E., Psaltis D., Stylianidis E.* UAV for mapping historic buildings: from 3D modelling to BIM, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., 2019. V. XLII-2/W9. P. 397–402. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-397-2019.

*Kniaz V. V., Knyaz V. A., Remondino F., Bordodymov A., Moshkantsev P.* Image-to-voxel model translation for 3d scene reconstruction and segmentation. Computer Vision — ECCV 2020. ECCV 2020. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer, 2020. 12352. DOI: 10.1007/978-3-030-58571-6-7.

*Pepe M., Costantino D.* Techniques, tools, platforms and algorithms in close range photogrammetry in building 3D model and 2D representation of objects and complex architectures. Computer-Aided Design & Applications, 2021. V. 18. No. 1. P. 4–65. DOI: 10.14733/cadaps.2021.42-65.

*Yang X., Grussenmeyer P., Koehl M., Macher H., Murtiyoso A., Landes T.* Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques. Journal of Cultural Heritage, 2020. V. 46. P. 350–360. DOI: 10.1016/j.culher.2020.05.008.

## REFERENCES

*Dominici D., Alicandro M., Rosciano E., Massimi V.* Multiscale documentation and monitoring of l'Aquila historical centre using UAV photogrammetry. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Materials of the Geomatics and Restoration — Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era, Florence, 2017. V. XLII-5/W1. P. 365–371. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-365-2017.

*Karachaliou E., Georgiou E., Psaltis D., Stylianidis E.* UAV for mapping historic buildings: from 3D modelling to BIM, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., 2019. V. XLII-2/W9. P. 397–402. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-397-2019.

*Kniaz V. V., Knyaz V. A., Remondino F., Bordodymov A., Moshkantsev P.* Image-to-voxel model translation for 3d scene reconstruction and segmentation. Computer Vision — ECCV 2020. ECCV 2020. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer, 2020. 12352. DOI: 10.1007/978-3-030-58571-6-7.

*Pepe M., Costantino D.* Techniques, tools, platforms and algorithms in close range photogrammetry in building 3D model and 2D representation of objects and complex architectures. Computer-Aided Design & Applications, 2021. V. 18. No. 1. P. 42–65. DOI: 10.14733/cadaps.2021.42-65.

*Semenov A. E., Kryukov E. V., Rykovanov D. P., Semenov D. A.* Practical application of computer vision techniques to solve problems of recognition, 3D reconstruction, map stitching, precise targeting, dead reckoning, and navigation. Izvestia of the Southern Federal University. Engineering Sciences, 2010. V. 3. No. 104. P. 92–102 (in Russian).

*Shestopalova O. L., Shestopalov R. P.* On the integration of BIM technology of building information modeling with photogrammetry methods in the construction of digital models of objects in the architectural and construction industry. *Izvestia of the TulFU. Engineering Sciences*, 2022. No. 8. P. 138–143 (in Russian). DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-138-144.

*Skrypitsyna T. N., Staroverov S. V.* Shooting building facades using unmanned aircraft. *Engineering Survey*, 2018. V. XII. No. 7–8. P. 46–52 (in Russian).

*Starodubov Y. V.* Stroganovs' salt barn in Romanov-Borisoglebsk. Experience of study, preservation and museification. *Russian North-2022: problems of study and preservation of historical and cultural heritage*. Vologda: Vologda State University, 2022. P. 68–77 (in Russian).

*Yang X., Grussenmeyer P., Koehl M., Macher H., Murtiyoso A., Landes T.* Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques. *Journal of Cultural Heritage*, 2020. V. 46. P. 350–360. DOI: 10.1016/j.culher.2020.05.008.

---