

УДК 908 (470): 528.9

DOI:10.25729/ESI.2025.40.4.013

Проблемы и перспективы создания цифровых двойников объектов культурного наследия Краснодарского края

Волкова Татьяна Александровна¹, Кузякина Марина Викторовна^{1,2}, Караган Арсен Ваагнович¹, Ряскин Арсений Алексеевич¹

¹Кубанский государственный университет,
Россия, Краснодар, *marinavkuzyakina@gmail.com*

²Кубанский государственный технологический университет,
Россия, Краснодар

Аннотация. В статье представлен опыт создания цифровых двойников объектов культурного наследия Краснодарского края, проведен геоинформационный анализ полученных моделей. Основной целью данной статьи является оценка перспектив развития концепции цифровых двойников объектов культурного наследия на основе изучения фотограмметрической технологии их создания на примере объектов культурного наследия Краснодарского края. Определены возможные способы использования и перспективы развития созданных цифровых двойников.

Ключевые слова: цифровой двойник, объект культурного наследия, фотограмметрия, трехмерная модель, геоинформационный анализ

Цитирование: Волкова Т.А. Проблемы и перспективы создания цифровых двойников объектов культурного наследия Краснодарского края / Т.А. Волкова, М.В. Кузякина, А.В. Караган, А.А. Ряскин // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2025. – № 4(40). – С. 164-174. – DOI:10.25729/ESI.2025.40.4.013.

Введение. В истории человечества одни уникальные природные и культурные объекты с течением времени сменялись другими под воздействием природного или антропогенного фактора. Сейчас, в эпоху развития информационных технологий, существует множество методов, в частности фотограмметрический, для сохранения и изучения объектов наследия на цифровых носителях.

Цифровой двойник объекта культурного наследия (далее – ОКН) – это не просто технологический инструмент, но и способ сохранить историческую память для будущих поколений, обеспечивая доступ к культурным и историческим ценностям в эпоху цифровизации, чтобы сравнить с той картиной, которая предстанет перед ними, если они посетят местоположение объекта, или же узнать об объектах, которые были разрушены ранее.

Актуальность цифровизации культуры, включая культурное наследие, закреплена на законодательном уровне в распоряжении Правительства РФ от 20 сентября 2019 года №2129-р под названием «Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года» [1]. В рамках развития стратегии развития туризма в РФ разрабатываются меры по повышению доступности культурных и природных объектов, а также по улучшению качества туристических услуг, делая их более современными и удобными для пользователей [2, 3].

Решение стратегической задачи создания электронных баз данных цифровых двойников, включая сбор и обработку геопространственных данных, открывает новые горизонты для эффективного управления инвентаризацией и мониторингом, защиты и регулирования объектов культурного наследия, а также их широкой популяризации среди населения [4].

Следует отметить, что лазерное сканирование является обязательным при выполнении обмерных работ объектов культурного наследия, в т.ч. памятников архитектуры, объектов всемирного наследия ЮНЕСКО. Однако технология лазерного сканирования является значительно более дорогой в исполнении по сравнению с технологией фотограмметрии, которая дает, при верном исполнении и соответствующих габаритах объекта, результаты, не уступающие по точности [5, 6].

Концепция «цифровых двойников» пришла из сферы промышленности и экономики и означает виртуальную модель объекта или процесса, связанную со своим реальным прототипом непрерывным цифровым потоком данных [7].

В 2021 г. появился ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения». Этот стандарт стал первым шагом к стандартизации и регулированию использования цифровых двойников в различных отраслях промышленности. В отсутствие других определяющих документов, он может быть использован, как основа, при создании цифровых двойников в других областях. Одним из важных введенных понятий является понятие цифровой модели – программной реализации математической модели, использующей набор исходных данных и являющейся ядром цифрового двойника. Для рассматриваемой предметной области предлагается в качестве цифровой модели объекта использовать его 3D-модель, в сочетании с данными, описывающими моделируемый объект.

При создании моделей культурных объектов важно учитывать не только геометрическую точность, но и текстурирование, которое отвечает за фотореалистичное представление. Этот процесс требует высокой вычислительной мощности, поскольку современные текстурированные модели могут достигать гигабайтного объема данных. Для оптимизации применяются алгоритмы редукции полигонов, как, например, в прикладной программе для создания фотограмметрических цифровых моделей Agisoft [8, 9].

1. Материалы и методы исследования. Технология создания «цифрового двойника» объекта культурного наследия включает несколько этапов.

Схема, представляющая обобщенную технологию создания цифрового двойника объекта культурного наследия, представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Технология создания цифрового двойника

Основополагающим этапом создания цифрового двойника является этап создания цифровой модели объекта. Процесс создания цифровой модели объекта культурного наследия включает несколько ключевых стадий. На первой стадии выполняется сбор данных –

фотосъёмка объекта с разных ракурсов с учётом освещения и перекрытия снимков. Далее изображения загружаются в специализированное ПО для обработки и построения 3D-модели: алгоритмы фотограмметрии выравнивают снимки, создают облако точек, формируют полигональную сетку и устраняют шумы [6, 7]. Затем выполняется текстурирование, где на поверхность модели накладываются фотореалистичные изображения, что придаёт ей визуальную достоверность [8, 9]. На заключительной стадии проводится оптимизация модели – снижение числа полигонов и сжатие текстур для удобного использования в различных приложениях.

Следующий этап предполагает периодический мониторинг объектов культурного наследия, когда база данных пополняется релевантными данными об изменении их состояния. Этот этап обеспечит двусторонние информационные связи с объектом. Тогда можно будет говорить о создании фотореалистичного цифрового двойника, пригодного для анализа, виртуальных экскурсий, реставрации и других целей [10, 11].

Кенотаф Хапача Лакшука, памятник минеральной воде в г. Горячий Ключ, могила С.В. Очаповского, скульптура «Запорожцы пишут письмо турецкому султану», памятник Екатерине II в г. Краснодар, Шапсугский дольмен около станицы Шапсугской являются объектами культурного наследия Краснодарского края и обладают всеми свойствами, необходимыми для создания цифровых двойников [12, 13].

На данном этапе проводимого исследования, в условиях отсутствия мониторинга, имеет смысл говорить о разработке цифровых моделей на основе 3D-визуализации фотограмметрическим способом, как основе цифрового двойника объектов культурного наследия, которые будут представлены на географическом портале, обеспечивающем отслеживание динамики цифровых моделей на всех этапах жизненного цикла каждого из исследуемых объектов.

2. Результаты. Полученные модели пригодны для дальнейшего использования в следующих целях:

- эффективно управлять и развивать туристические территории (туризм);
- повысить безопасность общественного пространства (безопасность);
- помочь удаленно изучать историю и культуру Краснодарского края (образование и популяризация);
- проводить реставрационные работы исторических памятников (реставрация и консервация);
- обеспечить дистанционное изучение (научные исследования) [14-16].

Однако стоит отметить, что существуют некоторые факторы, которые сдерживают развитие цифровых двойников [7]. К таким факторам можно отнести высокую стоимость внедрения технологии, а также недостаточный уровень квалификации кадров и отсутствие четкого нормативного регулирования в этой области, что требует, для дальнейшего успешного развития технологии, провести еще дополнительные исследования, в частности, разработать полную детализированную нормативно-правовую базу.

2.1. Создание цифровой модели ОКН «Кенотаф Хапача Лакшука». Мраморный столб-памятник Бжедукского князя «Кенотаф Хапача Лакшука» (или Адыгский столб), расположенный в городе Горячий ключ (44°37'23" с.ш., 39°05'37" в.д., WGS-84), представляет из себя кенотаф, то есть надгробие над пустой могилой (рисунок 2). Изготовлен из мрамора, благодаря чему даже в жаркий день остаётся холодным. На кенотафе есть две дублирующие надписи: одна на арабском, она хорошо видна, вторая на древнеадыгском, которая почти неразличима.

Надпись гласит: «Этот памятник сделан бжедухским князем Айты-Хаджи, родоначальником линии князей Хаджымуковых. В честь своего дворянина Хапача Лакшука, ездившего с ним в Мекку в качестве паломника, и скончавшегося на возвратном пути около г. Дамаск сирийский. Памятник поставлен 1132 Гиджир (1717 год)».

На создании трехмерной модели ОКН «Кенотаф Хапача Лакшука» производилась отработка методики на основе цифровых снимков с помощью фотограмметрии. Среди объектов культурного наследия, исследуемый объект входит в категорию малых, отдельно стоящих объектов, в связи с чем проблем с его обработкой не возникло. Создание цифровой модели ОКН «Кенотаф Хапача Лакшука» производилось согласно следующим этапам: замер объекта на местности, съёмка объекта, загрузка снимков в ПО Agisoft Metashape, выравнивание снимков, построение трёхмерной модели на основе разреженного облака связующих точек (при необходимости, создание плотного облака точек), построение текстуры, расстановка маркеров, экспорт модели. В таблице 1 приведены характеристики полученной модели (рисунок 3).



Рис. 2. Объект культурного наследия Краснодарского края «Кенотаф Хапача Лакшука»



Рис. 3. Цифровая модель объекта культурного наследия Краснодарского края «Кенотаф Хапача Лакшука»

Таблица 1. Характеристики полученной модели ОКН «Кенотаф Хапача Лакшука»

Параметр	Значение
Количество полигонов	200068
Количество вершин	100603
Цвета вершин	3 канала, uint8
Текстура	8192x8192, 4 канала, uint8
Качество	Очень высокое
Фильтрация карт глубины	Агрессивная
Объём данных, Мб	67,47
Высота, м	1,6
Длина, м	0,45
Ширина, м	0,45
Размер объекта	Малый

2.2. Создание цифровой модели ОКН «Шапсугский дольмен». Шапсугский дольмен, находящийся в 500 метрах южнее станицы Шапсугской Абинского района Краснодарского края (44°43'44" с.ш., 38°05'49" в.д., WGS-84), ставший вторым объектом, изображен на рисунке 4.

При создании трехмерной модели ОКН «Шапсугский дольмен» возникла необходимость дополнительного упрощения полигональной сетки объекта и уменьшения объема данных, занимаемой моделью. Инструмент Agisoft Metashape позволяет выбрать уровень упрощения модели. Так исходная модель, состоящая из более 10 млн полигонов, была упрощена до 130 тысяч без потери качества итоговой модели [8]. Все сглаженные неровности объекта компенсируются созданием текстуры. В таблице 2 приведены характеристики полученной модели (рисунок 5).



Рис. 4. Объект культурного наследия Краснодарского края «Шапсугский дольмен»



Рис. 5. Цифровая модель объекта культурного наследия Краснодарского края «Шапсугский дольмен»

Таблица 2. Характеристики полученной модели ОКН «Шапсугский дольмен»

Параметр	Значение
Количество полигонов	129500
Количество вершин	65153
Цвета вершин	3 канала, uint8
Текстура	8192x8192, 4 канала, uint8
Качество	Очень высокое
Фильтрация карт глубины	Умеренная
Объём данных, Мб	110
Высота, м	1,8
Длина, м	2,5
Ширина, м	2,5
Размер объекта	Малый

2.3. Создание цифровой модели ОКН «Могила С.В. Очаповского». Могила профессора С. В. Очаповского в Краснодаре находится на территории ГБУЗ «Детская краевая больница» (45°00'43" с.ш., 38°58'02" в.д., WGS-84) (рисунок 6). При создании трехмерной модели ОКН «Могила С.В. Очаповского» возникла проблема создания текстуры. В ходе создания модели могут возникнуть пробелы на поверхности модели. Инструменты Agisoft Metashape позволяют заполнять отверстия. Однако пустую полость модели, которую можно увидеть снизу, алгоритмы Agisoft определяют, как пробел. При заполнении этого отверстия возникают дефекты в топологии каркасной сетки полигонов и создании текстуры. Решением стало выборочное заполнение отверстий модели. В таблице 3 приведены характеристики полученной модели (рисунок 7).

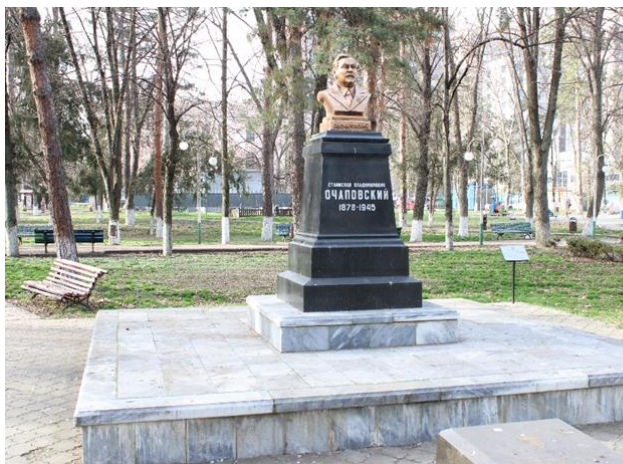


Рис. 6. Объект культурного наследия Краснодарского края «Могила С.В. Очаповского»



Рис. 7. Цифровая модель объекта культурного наследия Краснодарского края «Могила С.В. Очаповского»

Таблица 3. Характеристики полученной модели ОКН «Могила С.В. Очаповского»

Параметр	Значение
Количество полигонов	168764
Количество вершин	85098
Цвета вершин	3 канала, uint8
Текстура	8192x8192, 4 канала, uint8
Качество	Очень высокое
Фильтрация карт глубины	Агрессивная
Объём данных, Мб	291,35
Высота, м	2,3
Длина, м	3
Ширина, м	4
Размер объекта	Средний

2.4. Создание цифровой модели ОКН «Памятник Екатерине II». Памятник Екатерине II находится в самом центре города Краснодара (45°00'55" с.ш., 38°58'06" в.д., WGS–84) возле закладного камня и городского сада и является излюбленной достопримечательностью краснодарцев (рисунок 8). Однако сделать цифровую модель без применения БПЛА оказалось невозможным. Проблема – крупный размер объекта – высота памятника 13,8 м. Невозможно оказалось создать точную полноценную модель, используя наземные технические средства, такие, как цифровая фотокамера. Недоступность и отсутствие высоких участков объекта не позволяют программному обеспечению в точности создать трёхмерную модель. Решение – использование БПЛА и комбинирование наземных средств. На рисунке 8 изображен памятник Екатерине II, а на рисунке 9 – неудачная попытка создать цифровую модель.

2.5 Создание цифровой модели ОКН «Скульптура «Запорожцы пишут письмо турецкому султану». Скульптура «Запорожцы пишут письмо турецкому султану», которая находится на центральной улице города Краснодара, улице Красной (45°01'53" с.ш., 38°58'23" в.д., WGS–84) является еще одним примером неудачного объекта для создания трехмерной модели (рисунок 10). На этот раз геометрические габариты удовлетворительные, неудовлетворительное – положение скульптуры. С одной стороны, скульптура находится не вплотную к стене, с другой – слишком близко для того, чтобы сфотографировать ее под нужным углом на нужном расстоянии.



Рис. 8. Объект культурного наследия Краснодарского края «Памятник Екатерине II»

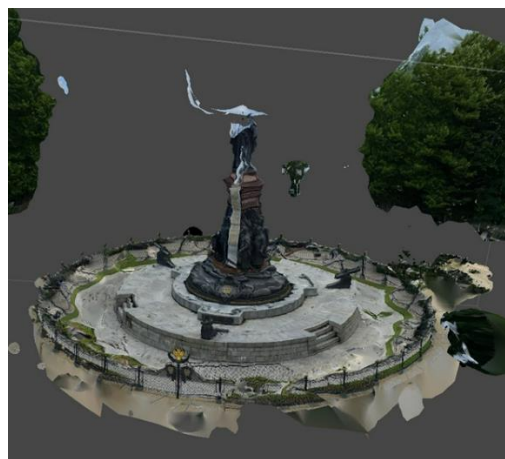


Рис. 9. Неудавшаяся модель с множественными артефактами объекта культурного наследия Краснодарского края «Памятник Екатерине II»

Проблема в данном случае состоит в сложности получения снимков объекта. Для создания высокоточной модели объекта необходимо получение снимков с перекрытием в диапазоне 50–80 % [5, 6]. Также необходимо получить снимки, фиксирующие абсолютно все участки объекта. В противном случае невозможно программно воспроизвести объект, в результате была получена деформированная модель с разрывами (рисунок 11).



Рис. 10. Объект культурного наследия Краснодарского края «Скульптура «Запорожцы пишут письмо турецкому султану»



Рис. 11. Неудавшаяся модель с множественными разрывами объекта культурного наследия Краснодарского края «Скульптура «Запорожцы пишут письмо турецкому султану»

2.4 Создание цифровой модели ОКН «Памятник минеральной воде». Памятник минеральной воде – это обелиск, установленный в 1914 году на Минеральной поляне у подножия Абадзехской (Ключевой) горы ($44^{\circ}37'15''$ с.ш., $39^{\circ}05'38''$ в.д., WGS–84) в городе Горячий Ключ (рисунок 12). Для создания его цифровой модели пришлось прибегать к стороннему программному обеспечению (Autodesk 3Ds Max) для внедрения в триангуляционную mesh-модель исправленных вручную полигональных векторных трехмерных моделей [10, 11].

Стоит отметить, что, используя такие методы, будет потрачено гораздо больше сил и времени, и даже после приложенных усилий невозможно в точности воссоздать реальный объект, так как невозможно вручную воспроизвести все особенности объекта, такие, как

естественные шероховатости, цвета и другие элементы [14, 15]. Этот метод подходит только для некоторых масштабов.

Монумент воздвигнут в честь 50-летия освоения Псекупских минеральных вод. На вершине обелиска установлен двуглавый орёл – символ величия Российской империи, а на самом монументе прикреплены мемориальные таблички с именами создателей курорта и тех, кто трудился над его сохранением (рисунок 12). В случае с памятником минеральной воде сложности возникли с двуглавым орлом, находящимся на шаре. На рисунке 13 изображены неудавшиеся детали модели, которым потребовалась доработка, на рисунке 14 – готовая цифровая модель.



Рис. 12. Объект культурного наследия Краснодарского края «Памятник минеральной воде»

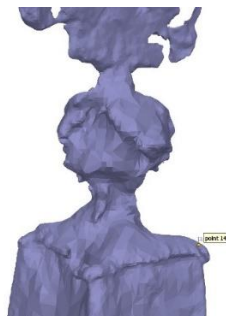


Рис. 13. Неудавшиеся детали модели с множественными артефактами объекта культурного наследия Краснодарского края «Памятник минеральной воде»



Рис. 14. Цифровая модель объекта культурного наследия Краснодарского края «Памятник минеральной воде»

Заключение. Задача создания цифровых двойников объектов культурного наследия актуальна в связи с потенциальным широким спектром их применения, от туризма до археологии и образования.

Говорить о полноценных цифровых двойниках можно только в условиях мониторинга состояния объектов культурного наследия, когда база данных разрабатываемого географического портала цифровых двойников будет постоянно пополняться релевантными данными. До тех пор имеет смысл говорить о разработке цифровых моделей на основе 3D-визуализации, как основе цифровых двойников.

Попытка создания цифровых моделей показала следующие проблемы, с которыми может столкнуться специалист: для различных габаритов объектов необходимо применять различное оборудование для выполнения фотосъемки; расположение объекта играет ключевую роль при проведении фотосъемки; в случаях получения незначительных деформаций модели можно использовать дополнительное ПО, позволяющее редактировать объекты трёхмерной графики, однако это увеличивает кратно трудозатраты на создание модели. Таким образом, необходимо готовить квалифицированные кадры и разрабатывать полную детализированную нормативно-правовую базу в этой области для дальнейшего успешного развития исследуемой технологии.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научно-инновационного проекта № НИП-20.1/200.

Список источников

1. Стратегия развития туризма в Российской Федерации в период до 2035 года – URL: https://economy.gov.ru/material/dokumenty/strategiya_razvitiya_turizma_v_rossiyskoy_federacii_na_period_do_2035_goda_utverzhdena_rasporyazheniem_ot_20_sentyabrya_2019_g_2129_r.html (дата обращения 10.08.2023).

2. Кравченко И.В. Применение цифровых и ГИС-технологий для целей визуализации и сохранения историко-культурного наследия Евпатории советского периода / И.В. Кравченко, А.Н. Яковлев // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология, 2022. – Т. 8. – № 4. – С. 299-308.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2021 г. № 2439 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие туризма». – https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/postanovlenie_pra_vitelstva_rossiyskoy_federacii_ot_24_dekabr_2021_g_2439.html (дата обращения 10.10.2023).
4. Konstantakis M., Trichopoulos G., Aliprantis J. et al. An enhanced methodology for creating digital twins within a paleontological museum using photogrammetry and laser scanning techniques. *Heritage*, 2023, v. 6(9), pp. 5967-5980, DOI:10.3390/heritage6090314.
5. Назаров А.С. Фотограмметрия / А.С. Назаров. – Минск: Тетра-Системс, 2006. – 368 с.
6. Катермин В.С. Фотограмметрия: 3d-модель из фотографий / В.С. Катермин // Актуальные научные исследования в современном, 2021. – № 12-11 (80). – С. 89-94. – EDN: QEMMPS.
7. Прохоров А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. / А. Прохоров, М. Лысачев // М.: ООО «АльянсПринт», 2020. – 401 с.
8. Croce V., Billi D., Carot G., et al. Comparative assessment of neural radiance fields and photogrammetry in digital heritage: impact of varying image conditions on 3D reconstruction. *Remote sensing*, 2024, no. 16(2), 301 p., DOI:10.3390/rs16020301.
9. Yusri M.H.A., Johan M.A., Ramli M.H.M. Preservation of cultural heritage: a comparison study of 3D modelling between laser scanning, depth image and photogrammetry methods. *Remote sensing*, 2022, no. 19(2), pp. 125-145, DOI:10.24191/jmeche.v19i2.19768.
10. Condorelli F., Rinaudo F., Salvatore F. et. al. Comparison between 3D reconstruction using NERF neural networks and MVS algorithms on cultural heritage images. *The International archives of the photogrammetry remote sensing and spatial information sciences XLIII-B2-2021:565-570*, 2021, pp. 565-570, DOI:10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-565-2021.
11. Ippoliti E., Meschini A., Sicuranza F. Digital photogrammetry and structure from motion for architectural heritage: comparison and integration between procedures. *Geospatial intelligence: concepts, methodologies, tools, and applications*, IGI Global: Hershey, PA, USA, 2019; V2, pp.959-1018, DOI:10.4018/978-1-4666-8379-2.ch004.
12. Грушин С. Фотограмметрия в археологии – методика и перспективы / С. Грушин, И. Сосновский // Теория и практика археологических исследований, 2018. –Т. 21. – № 1. – С. 99-105. – DOI:10.14258/tpai(2018)1(21).-08.
13. Schwidefsky K. Grundriss der Photogrammetrie. Stuttgart: Teubner, 1954, 432 p.
14. Caroti G., Piemonte A. Integration of laser scanning and photogrammetry in architecture survey. *Open Issue in Geomatics and Attention to Details. Communications in Computer and Information Science*, 2020, C.70-185, DOI:10.1007/978-3-030-62800-0_14.
15. James D.W., Belblidia F., Eckermann J.E., et al. An Innovative photogrammetry color segmentation based technique as an alternative approach to 3D scanning for reverse engineering design. *Computer-Aided Design and Applications*, 2017, 14, pp. 1-16, DOI:10.1080/16864360.2016.1199751.
16. Шпак П.С. Концепция цифровых двойников как современная тенденция цифровой экономики / П.С. Шпак, Е.Г. Сычева, Е.Е. Меринская // Вестник Омского университета. Серия «Экономика», 2020. –№ 1. – С. 57-68. – EDN: DWTCFU.

Волкова Татьяна Александровна. Канд. геогр. наук, доцент, доцент кафедры международного туризма и менеджмента ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет». основные направления исследований: рекреационная география, туризм, туристско-рекреационный комплекс, рекреационное природопользование. AuthorID: 625674, SPIN: 4045-2017, ORCID: 0000-0002-2054-0683, mist-next4@inbox.ru. 350040, Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149.

Кузякина Марина Викторовна. Канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры геоинформатики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет». Основные направления исследований автора: анализ данных, машинное обучение, геоинформатика, физика атмосферы, геостатистика. AuthorID: 522457, SPIN: 4945-6665, ORCID: 0000-0003-0492-3630, MarinaVkuzyakina@gmail.com. 350040, Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149.

Караган Арсен Ваанович. Аспирант кафедры анализа данных и искусственного интеллекта ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет». Основные направления исследований автора: анализ данных, искусственный интеллект, геоинформатика, автоматизация процессов, лазерное сканирование. AuthorID: 1108596, SPIN: 1130-2955, ORCID: 0000-0001-9673-9114, karagan.arsen@yandex.ru. 350040, Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149.

Ряскин Арсений Алексеевич. Студент направления «Картография и геоинформатика» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет». Основные направления исследований автора: геоинформатика, лазерное сканирование, фотограмметрия. AuthorID: 1282839, SPIN: 5279-3455, ORCID: 0009-0005-2144-7471, Arseniy.Ryaskin@yandex.ru. 350040, Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149.

UDC 908 (470): 528.9

DOI:10.25729/ESI.2025.40.4.013

Problems and prospects of creating digital twins of cultural heritage objects in the Krasnodar Region

Tatiana A. Volkova¹, Marina V. Kuzyakina^{1,2}, Arsen V. Karagyan¹, Arseniy A. Ryaskin¹

¹Kuban state university, Russia, Krasnodar, marinavkuzyakina@gmail.com

²Kuban state technological university, Russia, Krasnodar

Abstract. The article presents the experience of creating digital twins of cultural heritage objects of the Krasnodar region, geoinformational analysis of the obtained models. The main purpose of this article is to assess the prospects of development of the concept of digital doubles of cultural heritage objects based on the study of photogrammetric technology of their creation on the example of cultural heritage objects of Krasnodar Krai. Possible ways of use and prospects of development of the created digital doubles are defined.

Keywords: digital twin, cultural heritage object, photogrammetry, three-dimensional model, geoinformation analysis

Acknowledgements: The study was financially supported by the Kuban Science Foundation within the framework of scientific-innovation project No. NIP-20.1/200.

References

1. Strategiya razvitiya turizma v Rossijskoj Federacii v period do 2035 goda [Strategy for the Development of Tourism in the Russian Federation until 2035], available at: https://economy.gov.ru/material/dokumenty/strategiya_razvitiya_turizma_v_rossiyskoy_federacii_na_period_do_2035_goda_utverzhdena_rasporyazheniem_ot_20_sentyabrya_2019_g_2129_r.html (accessed: 08/10/2023).
2. Kravchenko I.V., Yakovlev A.N. Primeneniy tsifrovyykh i GIS-tekhnologiy dlya tseley vizualizatsii i sokhraneniya istoriko-kulturnogo naslediya Yevpatorii sovetskogo perioda [The use of digital and GIS technologies for the visualization and preservation of the historical and cultural heritage of the Soviet period in Yevpatoria]. Uchenye zapiski Krymskogo federalnogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya [Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology], 2022, vol. 8, no. 4, pp. 299-308.
3. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 24 dekabrya 2021 g. № 2439 «Ob utverzhdenii gosudarstvennoj programmy` Rossijskoj Federacii «Razvitie turizma» [Decree of the Government of the Russian Federation dated December 24, 2021 No. 2439 «On the approval of the state program of the Russian Federation 'Tourism Development'», available at: https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/postanovlenie_pravitelstva_rossiyskoy_federacii_ot_24_dekabrya_2021_g_2439.html (accessed: 10/10/2023).
4. Konstantakis M., Trichopoulos G., Aliprantis J. et al. An enhanced methodology for creating digital twins within a paleontological museum using photogrammetry and laser scanning techniques. Heritage, 2023, v. 6(9), pp. 5967-5980, DOI:10.3390/heritage6090314.
5. Nazarov A.S. Fotogrammetriya [Photogrammetry]. Minsk, Tetra-Systems, 2006, 368 p.
6. Katermin V.S. Fotogrammetriya: 3d-model iz fotografii [Photogrammetry: 3d-model from photos]. Aktualnye nauchnye issledovaniya v sovremennom [Actual scientific research in the modern world], 2021, no. 12-11 (80), pp. 89-94, EDN: QEMMPS.
7. Prokhorov A., Lysachev M. Tsifrovoy dvoynik. Analiz, trendy, mirovoy opyt [Digital twin. Analysis, trends, world experience]. Moscow, AlliancePrint Publ., 2020, 401 p.
8. Croce V., Billi D., Carot G., et al. Comparative assessment of neural radiance fields and photogrammetry in digital heritage: impact of varying image conditions on 3D reconstruction. Remote sensing, 2024, no. 16(2), 301 p., DOI:10.3390/rs16020301.

9. Yusri M.H.A., Johan M.A., Ramli M.H.M. Preservation of cultural heritage: a comparison study of 3D modelling between laser scanning, depth image and photogrammetry methods. *Remote sensing*, 2022, no. 19(2), pp. 125-145, DOI:10.24191/jmeche.v19i2.19768.
10. Condorelli F., Rinaudo F., Salvatore F. et. al. Comparison between 3D reconstruction using NERF neural networks and MVS algorithms on cultural heritage images. *The International archives of the photogrammetry remote sensing and spatial information sciences XLIII-B2-2021:565-570*, 2021, pp. 565-570, DOI:10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-565-2021.
11. Ippoliti E., Meschini A., Sicuranza F. Digital photogrammetry and structure from motion for architectural heritage: comparison and integration between procedures. *Geospatial intelligence: concepts, methodologies, tools, and applications*, IGI Global: Hershey, PA, USA, 2019; V2, pp.959-1018, DOI:10.4018/978-1-4666-8379-2.ch004.
12. Grushin S., Sosnovsky I. Fotogrammetriya v arkhologii – metodika i perspektivy [Photogrammetry in archaeology - methods and prospects]. *Teoriya i praktika arkhologicheskikh issledovaniy* [Theory and practice of archaeological research], 2018, vol. 21, no. 1, pp. 99-105, DOI:10.14258/tpai(2018)1(21).-08.
13. Schwedsky K. *Grundriss der Photogrammetrie*. Stuttgart: Teubner, 1954, 432 p.
14. Caroti G., Piemonte A. Integration of laser scanning and photogrammetry in architecture survey. *Open Issue in Geomatics and Attention to Details. Communications in Computer and Information Science*, 2020, C.70-185, DOI:10.1007/978-3-030-62800-0_14.
15. James D.W., Belblidia F., Eckermann J.E., et al. An Innovative photogrammetry color segmentation based technique as an alternative approach to 3D scanning for reverse engineering design. *Computer-Aided Design and Applications*, 2017, 14, pp. 1-16, DOI:10.1080/16864360.2016.1199751.
16. Shpak P.S., Sycheva E.G., Merinskaya E.E. Kontsepsiya tsifrovyykh dvoynikov kak sovremennaya tendentsiya tsifrovoy ekonomiki [The concept of digital twins as a modern trend of the digital economy]. *Vestnik Omskogo universiteta. Seriya «Ekonomika»* [Herald of Omsk University. Series "Economics"], 2020, no. 1, pp. 57-68, EDN: DWTCFU.

Volkova Tatiana Alexandrovna. *Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Tourism and Management of Kuban State University. Main directions of research: recreational geography, tourism, tourism and recreational complex, recreational nature management. AuthorID: 625674, SPIN: 4045-2017, ORCID: 0000-0002-2054-0683, mist-next4@inbox.ru. 350040, Russia, Krasnodar, Stavropolskaya str., 149.*

Kuzyakina Marina Viktorovna. *Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor of the Department of Geoinformatics of Kuban State University. Main directions of research: data analysis, machine learning, geoinformatics, atmospheric physics, geostatistics. AuthorID: 522457, SPIN: 4945-6665, ORCID: 0000-0003-0492-3630, MarinaVkuzyakina@gmail.com. 350040, Russia, Krasnodar, Stavropolskaya str., 149*

Karagyan Arsen Vahanovich. *Postgraduate student of the Department of Data Analysis and Artificial Intelligence of Kuban State University. Main directions of research: data analysis, artificial intelligence, geoinformatics, process automation, laser scanning. AuthorID: 1108596, SPIN: 1130-2955, ORCID: 0000-0001-9673-9114, karagyan.arsen@yandex.ru. 350040, Russia, Krasnodar, Stavropolskaya str., 149.*

Ryaskin Arseniy Alekseevich. *Student of the direction "Cartography and Geoinformatics" of Kuban State University. Main directions of research: geoinformatics, laser scanning, photogrammetry. AuthorID: 1282839, SPIN: 5279-3455, ORCID: 0009-0005-2144-7471, Arseniy.Ryaskin@yandex.ru. 350040, Russia, Krasnodar, Stavropolskaya str., 149.*

Статья поступила в редакцию 30.03.2025; одобрена после рецензирования 28.04.2025; принята к публикации 16.10.2025.

The article was submitted 03/30/2025; approved after reviewing 04/28/2025; accepted for publication 10/16/2025.