

УДК: 912.4

DOI: 10.35595/2414-9179-2024-1-30-425-441

Т. В. Сукманова<sup>1</sup>, Н. С. Белов<sup>2</sup>

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ИСТОРИЧЕСКИХ ЛАНДШАФТОВ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ

### АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются природно-исторические ландшафты как ценные объекты, сочетающие в себе природные и культурные элементы, расположенные на определенной территории. При этом они отражают взаимодействие человеческой деятельности и природной среды, которое происходило в течение длительного времени. Данные ландшафты могут в себя включать археологические объекты, различные населенные пункты, памятники архитектуры, малые архитектурные формы, старинные парки и сады, а также природные компоненты (например, водные объекты, ландшафты). Природно-исторические ландшафты создают уникальную систему, отражая историю и культуру данной территории и проживающего там населения. Подчеркивается важность их сохранения, реконструкции и охраны для целей исторического и культурного наследия, а также развития туризма, образования и научных исследований. Авторы предлагают комплексный подход к изучению и сохранению ландшафтов и других природных и культурных объектов, включающий законодательные меры, просвещение, научные исследования и использование инновационных методов, таких как создание цифровых двойников. Представлены различные примеры сохранения и изучения природно-исторических ландшафтов в Калининградской области. Построен прототип цифрового двойника, на котором смоделирован прогностический сценарий развития территории с учетом берегоохранных мероприятий и развития туристической привлекательности района. Подчеркивается необходимость использования современных технологий и инноваций (позаимствованных из других отраслей) для более эффективного управления и охраны природных ресурсов, а также для повышения осведомленности общественности о важности сохранения природного наследия. Цифровой двойник является эффективным и наиболее показательным для принятия управленческих решений в области природопользования и для внедрения учеными в геоэкологических исследованиях.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** цифровой двойник, береговая зона, природно-исторический ландшафт, Калининградская область, Балтийская коса

---

<sup>1</sup> Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Высшая школа живых систем, ул. Университетская, д. 2, Калининград, Россия, 236041,  
*e-mail:* [tanja.sukmanova@yandex.ru](mailto:tanja.sukmanova@yandex.ru)

<sup>2</sup> Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Высшая школа живых систем, ул. Университетская, д. 2, Калининград, Россия, 236041,  
*e-mail:* [belovns@gmail.com](mailto:belovns@gmail.com)

Tatiana V. Sukmanova<sup>1</sup>, Nikolay S. Belov<sup>2</sup>

## APPLICATION OF DIGITAL TWINS IN THE STUDY OF HISTORICAL LANDSCAPES OF THE COASTAL ZONE

### ABSTRACT

The article considers natural-historical landscapes as valuable objects combining natural and cultural elements, which are located in a certain area. They reflect the interaction between human activity and the natural environment that has occurred over a long period of time. These landscapes may include: archaeological sites, various settlements, architectural monuments, small architectural forms, ancient parks and gardens, as well as natural components (e. g.: water bodies, landscapes). Natural-historical landscapes create a unique system, reflecting the history and culture of the territory and the population living there. The importance of their conservation, reconstruction and protection for historical and cultural heritage, tourism, education and research is emphasized. The authors propose an integrated approach to the study and conservation of landscapes and other natural and cultural sites, including legislation, education, research and the use of innovative methods such as digital twins. Various examples of preservation and study of natural and historical landscapes in the Kaliningrad region are presented. A prototype of the digital twin is built, on which the prognostic scenario of the territory development is modeled, taking into account the coastal protection measures and the development of tourist attractiveness of the area. The need to use modern technologies and innovations (borrowed from other industries) to better manage and protect natural resources and to raise public awareness of the importance of preserving natural heritage is emphasized. The digital twin is effective and most indicative for management decisions in natural resources management and for implementation by scientists in geo-ecological research.

**KEYWORDS:** digital twin, coastal zone, natural-historical landscape, Kaliningrad region, Baltic Spitz

### ВВЕДЕНИЕ

Природно-исторический ландшафт представляет собой уникальное сочетание природных и исторических элементов на определенной территории, отражающееся во взаимодействии человека и природной среды в течение длительного времени. Включая в себя археологические памятники, старинные города и поселения, памятники архитектуры, старинные парки и сады, а также природные компоненты (например, реки, озера, леса, горы и побережья), природно-исторические ландшафты создают уникальную систему, отражая историю и культуру данной территории и проживающего там населения [Баушкатов, 2011].

Сохранение и охрана природно-исторических ландшафтов являются важными задачами, т. к. они указывают на особо ценные объекты, которые имеют подходящие элементы для изучения истории, культуры и природной среды. Эти ландшафты обладают исторической ценностью, но также способствуют развитию туризма, образования и научных исследований [Галкова, 2008]. Примерами природно-исторических ландшафтов могут быть: Петра в Иордании (культурные памятники и природные образования (каньоны и пустыня)), Фарерские острова и Гренландия (ледники, фьорды и скалистые берега), Архипелаг Новая Земля (горы, айсберги, ледники, исторические памятники, связанные с

---

<sup>1</sup> Immanuel Kant Baltic Federal University, Institute of Living Systems, 2, Universitetskaya str., Kaliningrad, 236041, Russia, e-mail: [tanja.sukmanova@yandex.ru](mailto:tanja.sukmanova@yandex.ru)

<sup>2</sup> Immanuel Kant Baltic Federal University, Institute of Living Systems, 2, Universitetskaya str., Kaliningrad, 236041, Russia, e-mail: [belovns@gmail.com](mailto:belovns@gmail.com)

экспедициями и исследованиями арктического региона). Данные ландшафты можно сохранять и реконструировать различными методами и подходами:

- *Законодательные меры.* Принятие специальных законов и нормативных актов, которые регулируют использование и защиту природно-исторических ландшафтов. Данные законы/акты должны включать возможное создание заповедников, национальных парков, памятников природы, истории и культуры, а также установление информационных табличек с правилами использования и с техникой безопасности на этой территории [Кулешова, 2017].
- *Образование и просвещение.* Проведение образовательных программ, выставок, лекций и других мероприятий с целью повышения осведомленности об уникальности и ценности природно-исторических ландшафтов. Это помогает привлечь внимание общественности к необходимости их охраны [Кривошеева, 2020].
- *Научные исследования.* Проведение научных исследований для изучения природно-исторических ландшафтов, их состояния, уязвимости и потенциала для сохранения [Белкина, 2020]. Это позволяет разрабатывать эффективные стратегии охраны, например, использования метода цифрового двойника (ЦД). Он позволяет сохранить и восстановить объект с помощью инструментов моделирования и манипулирования [Hutson, 2024].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сохранение природно-исторического ландшафта с помощью цифрового двойника — это инновационный подход, который позволяет создать виртуальную реплику исторического места или объекта с использованием современных технологий [Jones, 2022]. Цифровой двойник может включать в себя трехмерные модели, видео- и аудиоматериалы, а также другие цифровые данные, позволяющие воссоздать реалистичное представление о ландшафте. Создание цифровых двойников требует совместных усилий специалистов по истории, археологии, геоморфологии, географии, компьютерной графике и программированию, и такой подход может стать эффективным инструментом для сохранения и продвижения объектов культурного наследия и природных ресурсов. Создание цифрового двойника имеет несколько преимуществ:

- *Сохранение наследия.* Цифровой двойник позволяет сохранить исторические места и объекты в случае их разрушения или утраты. Это способствует сохранению культурного наследия для будущих поколений.
- *Образовательные цели.* Цифровой двойник может быть использован для образовательных целей, например, в музеях, школах или университетах, чтобы показать и объяснить историю и значение природно-исторического ландшафта.
- *Исследования и анализ.* Цифровой двойник предоставляет ученым и исследователям возможность изучать природно-исторический ландшафт более детально, проводить анализ и эксперименты без необходимости нанесения повреждений реальным объектам.
- *Туризм и путешествия.* Цифровой двойник может быть использован для привлечения туристов и путешественников, предоставляя им возможность виртуально посетить исторические места и объекты.

Пример практически утраченного природно-исторического объекта находится в поселке Донское Калининградской области. Это уникальный геологический объект, который не успел получить статус «геологический памятник природы» [Бубнова, 2022]. Участок имеет сложную морфологическую структуру за счет неоднородности геологического строения и активно разрушается под действием волн, гравитации и ветровых нагонов (рис. 1).



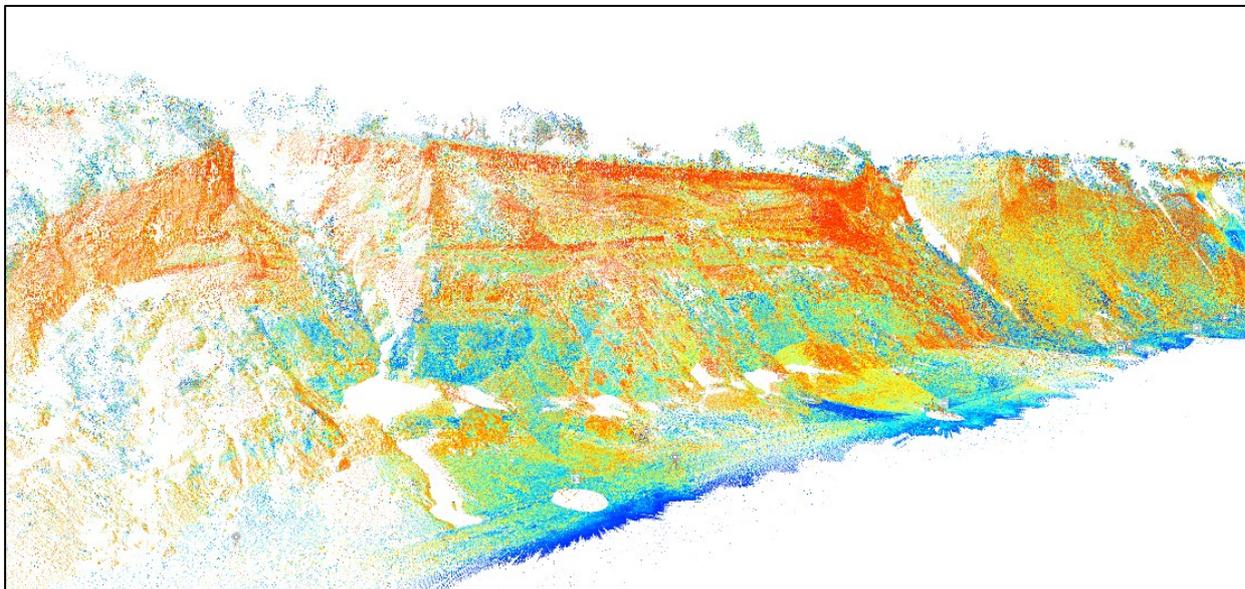
*Рис. 1. Расположение «останца» [Белов, 2021]*  
*Fig. 1. Location of the “remnant” [Belov, 2021]*

К сожалению, первые работы по данной территории учеными из БФУ им. И. Канта начались лишь в 2011 г., когда уже произошли обрушения. На данном этапе использовалось только наземное лазерное сканирование. Это позволило, с одной стороны, оценить процессы, происходящие на данной территории, а также получить высокоточные объемные характеристики. С другой стороны — для формирования качественной копии объекта не хватает данных фотограмметрии. Дроны, которые применяются в данном методе, начали использоваться с 2018 г., когда процесс обрушения усилился, и от объекта практически ничего не осталось. В работе представлена копия объекта в виде облака точек плотностью 7 точек на  $9 \text{ см}^2$  и общим количеством в 24 000 000 точек (рис. 2).

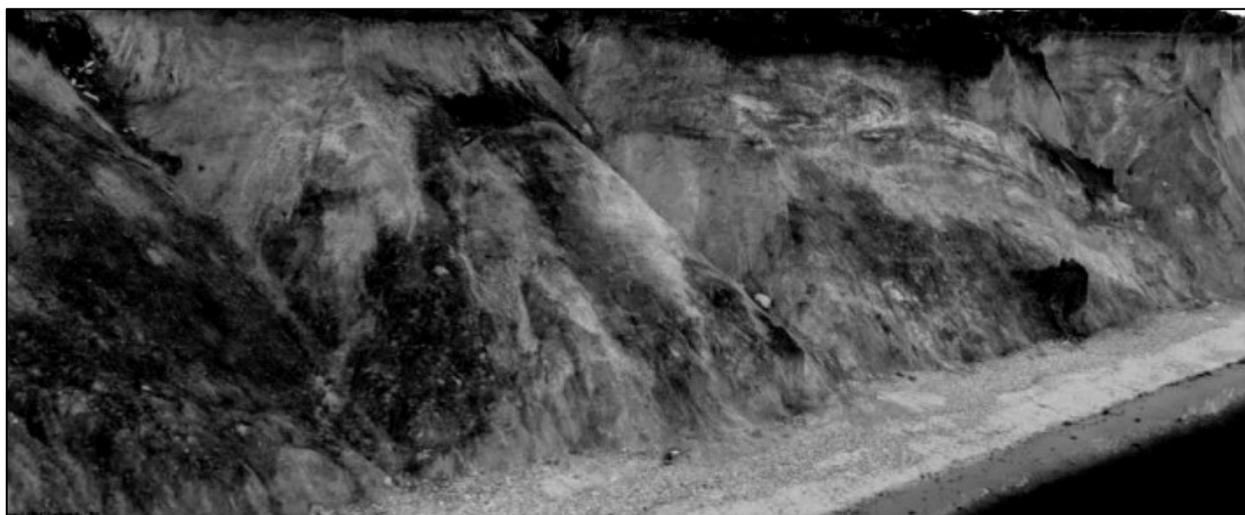
Извлеченные данные позволяют понять характер объекта, однако сложно передать его геологические особенности. Фотограмметрическая реконструкция объекта была завершена в период с 2018 по 2020 гг. и содержит 18 000 000 полигонов, но сам объект уже не вызывает такого живого интереса для создания цифрового двойника (рис. 3).

Калининградская область представляет собой уникальный регион Российской Федерации. В последние четыре года, в связи с политической и эпидемиологической обстановкой в мире, рекреационная привлекательность Калининградской области значительно выросла, что привело к увеличению нагрузки на морское побережье региона. Вследствие этого возрастает уязвимость отдельных участков побережья, поскольку существующая система природопользования не рассчитана на резкий рост рекреантов. В связи с этим исследования, посвященные оценки уязвимости побережья, становятся особенно актуальными. Таким образом, практическая значимость работы заключается в

использовании результатов исследования для оценки и анализа уязвимости побережья Калининградской области, принятии решений по проведению ряда мероприятий по защите/охране береговой зоны и по зонированию территории с учетом ее экологического состояния.



*Рис. 2. Облако точек «останца» в пос. Донском [Белов, 2021]*  
*Fig. 2. Point cloud of the “remnant” in Donskoy settlement [Belov, 2021]*



*Рис. 3. Фрагмент модели «останца» [Белов, 2021]*  
*Fig. 3. Fragment of the “remnant” model [Belov, 2021]*

Береговая зона — район активного взаимодействия суши и моря, включающий в себя берег и прибрежную полосу морского дна (подводный береговой склон). Подвергаемая воздействию волн береговая зона разрушается или накапливает наносы (песок, гравий, гальку), для которых характерно непрерывное движение. В законодательстве Российской

Федерации понятие «береговая зона» не определено, но данный термин используется в одном приказе<sup>1</sup> и методической рекомендации<sup>2</sup>.

Береговая зона является зоной взаимодействия гидросферы, литосферы, атмосферы и биосферы. Береговая зона представляет собой арену интенсивной хозяйственной деятельности человечества, и, таким образом, данное взаимодействие усложняется участием ноосферы/техносферы. В береговой зоне происходит взаимодействие и взаимопроникновение гидросферы, литосферы, атмосферы, биосферы и техносферы; данный симбиоз процессов практически нигде не происходит [Сафьянов, 1996]. На территории Калининградской области встречается несколько типов исторических ландшафтов (рис. 4).



Рис. 4. Схема распределения исторических ландшафтов Калининградской области (сделано авторами)

Fig. 4. Scheme of distribution of historical landscapes in the Kaliningrad region (made by the authors)

В качестве условного удачного примера сохранения и оптимизации историко-природного ландшафта является проделанная авторами работа на 1 км Балтийской косы (Калининградская область) в районе пос. Коса. Поселок расположен на юге области. Омы-

<sup>1</sup> Приказ РОСВОДРЕСУРСОВ от 02.06.2016 № 114 «Об утверждении правил использования водных ресурсов цимлянского водохранилища»

<sup>2</sup> Методические рекомендации МЧС от 02.12.2021 № ДЗ-17-802-5172-ВЯ

вается Балтийским морем, Калининградским (Вислинским) заливом и Балтийским проливом. Протяженность российской части косы составляет 25 км [Дизендорф, 2021]. Рельеф косы был сформирован в результате ветро-волновой деятельности. Климат, как и во всем регионе, является переходным от морского к умеренно-континентальному. Ширина пляжей в среднем 50 м.

История населенного пункта начинается с XIII в., когда здесь появилась небольшая деревня, принадлежавшая Тевтонскому ордену. В документах она упоминалась как деревня рыбаков (деревня Вограм) [Довыденко, 2000]. В 1258 г. Тевтонский орден построил здесь крепость, которая стала важной опорой для защиты территории от нападений литовцев и пруссов. Город был построен на месте древнего прусского поселения и имел стратегическое значение для защиты побережья. В течение следующих веков он развивался как торговый и рыболовный центр. В 1329 г. крепость была укреплена и переименована в Штандхаусен. В 1384 г. город получил права Ганзейского города и переименован в Пиллау. В XVII–XVIII вв. Пиллау был важным портом для торговых судов, это связано с влиянием шторма 10 сентября 1510 г., в результате которого образовался пролив Фриш Гафф. В 1525 г. Восточная Пруссия была присоединена к Королевству Польскому, но город сохранял свою автономию. После Польско-шведской войны город (1626–1629 г.) находился под контролем шведского королевства. В 1701 г. город стал частью Восточной Пруссии, а в 1871 г. — Германии. В начале XX в. Пиллау стал популярным курортом благодаря своим пляжам и лечебным источникам. Однако во время Второй мировой войны город был разрушен. После войны он был передан Советскому Союзу и переименован в Балтийск. В 1947 г. на месте разрушенного Пиллау был основан поселок Коса, который стал базой для советских военных кораблей и подводных лодок. В 1991 г. после распада Советского Союза та часть Вислинской косы, где располагается пос. Коса, осталась под контролем Российской Федерации. Сегодня поселок является популярным местом для отдыха, привлекающим туристов своими пляжами, лесами и разрушенной военной инфраструктурой (многие здания и сооружения, связанные с военной историей поселка, до сих пор остаются секретными и закрытыми для посещения).

Город Балтийск и поселок Коса получили определенные толчки для развития туристической инфраструктуры после частичного снятия военного статуса на территории [Шаплыгина, 2009], чемпионата мира по футболу 2018 г. и в активный период фазы распространения коронавирусной инфекции/COVID-19 (2020–2021 г.). Это способствовало перераспределению туристического потока с северной зоны (г. Светлогорск, г. Зеленоградск, п. Пионерский) на западное направление [Сукманова, 2022]. В связи с данной ситуацией органы региональной и местной власти проводят работы по восстановлению инфраструктуры (реконструкция променада г. Балтийска, прилегающего к проливу) и созданию новой (официальный пляж п. Коса). Также остро стоит вопрос о вставлении авантюны Балтийской косы, которая подвергается природным (мощная ветро-волновая деятельность в зимний период) и антропогенным (несанкционированные сходы, бытовой и морской мусор и др.) воздействиям [Дизендорф, 2022].

С течением времени береговая зона пос. Коса со стороны моря претерпела значительные изменения как в социальном (природопользование), так и в природных аспектах. Исторически эта территория использовалась для рыболовства, судоходства и военных нужд. Во времена Восточной Пруссии данный участок пользовался популярностью как туристическое место, однако были проблемы с разрешением на въезд в Пиллау и переправу на косу, потому что большая часть морского побережья была под контролем военного гарнизона. Премияльной датой является строительство Западного форта в 1869 г. (рис. 5), он входил в цепочку береговых укреплений г. Пиллау. Форт по плану был окружен рвом. Сейчас форт Западный находится в чрезвычайно аварийном состоянии (рис. 6),

большая часть была разрушена многочисленными штормами и военными действиями на территории современных г. Балтийска и п. Коса. По данному крупному историческому объекту можно определить примерную динамику побережья по старым топографическим картам, спутниковым снимкам и иным изображениям (рис. 7, 8). Как видно на исторических файлах, территория морского побережья около западного форта была укреплена бунами (часть морской инфраструктуры для укрепления берега от абразии и для наполнения песчаным материалом), которые способствовали укреплению и восстановлению береговой зоны от природных факторов. В свою очередь, широкий пляж также защищал Западный от боевого нападения вражескими силами, но со временем под воздействием природных и антропогенных факторов берегоукрепительная инфраструктура была потеряна, и вследствие этого также была утеряна и достаточно широкая береговая линия.

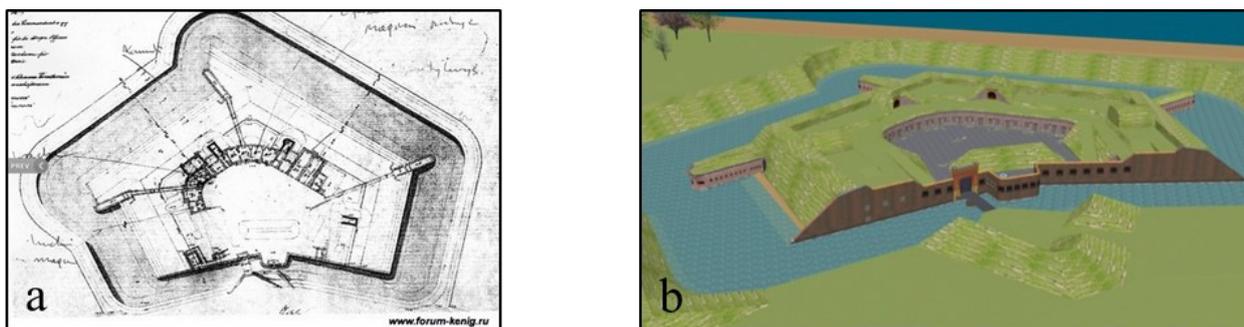


Рис. 5. Западный форт в XIX в.: а) план форта<sup>1</sup>, б) цифровая копия<sup>2</sup>  
Fig. 5. Western fort in the 19th century: a) Fort Plan, b) Digital Copy/Shadow



Рис. 6. Современное состояние Западного форта<sup>3</sup>  
Fig. 6. The current state of the West Fort

<sup>1</sup> План форта. Электронный ресурс: <https://bestlj.ru/384275-Fort-Zapadnyjj-Baltijjskaja-Kosa.html> (дата обращения 10.02.2024)

<sup>2</sup> Форт Западный Балтийск, план. Форт Западный, Балтийская коса. Западный Форт, Балтийская коса, макет. Схема форта Восточный Пиллау. Электронный ресурс: <https://flectone.ru/baza-zapadniyu.html> (дата обращения 10.02.2024)

<sup>3</sup> Форт Западный, Балтийская коса, Калининградская область. Электронный ресурс: [https://pikabu.ru/story/fort\\_zapadniyu\\_8787752/author?mv=2](https://pikabu.ru/story/fort_zapadniyu_8787752/author?mv=2) (дата обращения 10.02.2024)

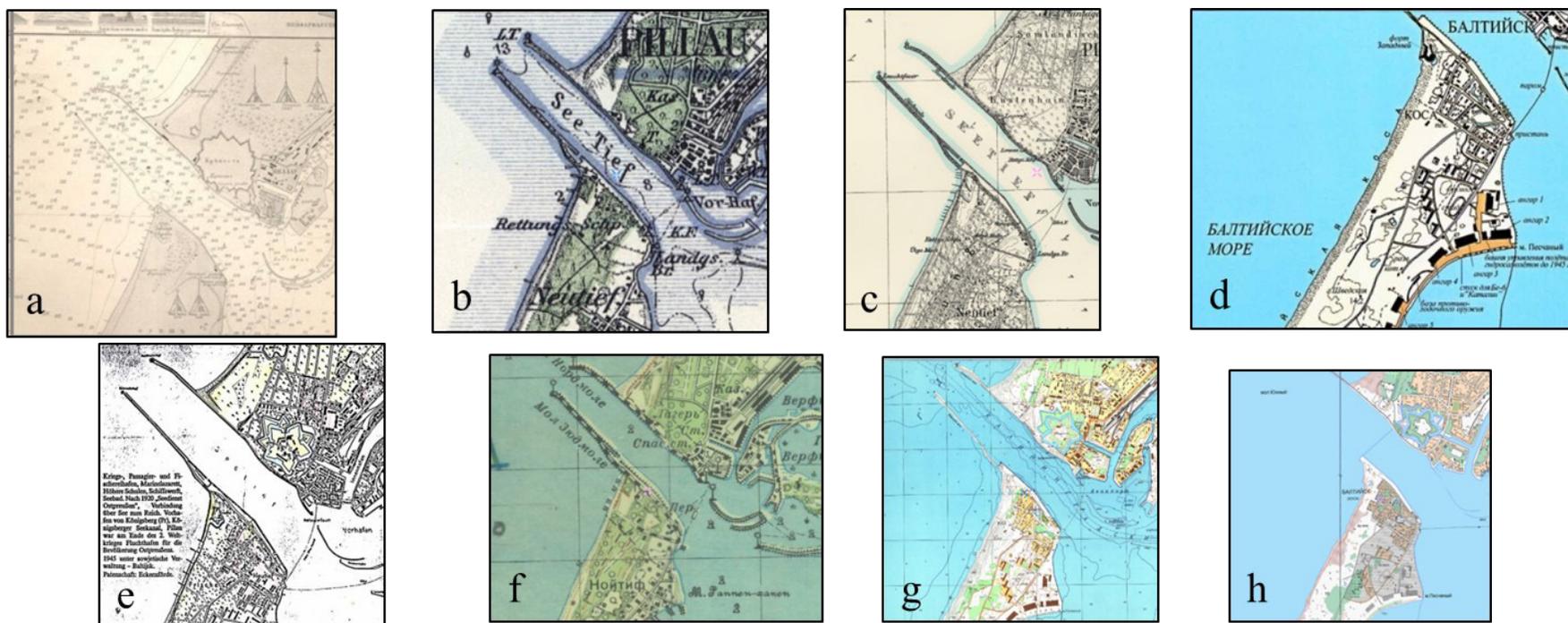


Рис. 7. Исторические карты исследуемого района с 1882 по 2000 г.: а) Пиллау в 1882 г.<sup>1</sup>; б) Пиллау в 1910 г.<sup>2</sup>; в) Пиллау в 1939 г.<sup>3</sup>; д) г. Балтийск и пос. Коса в советское время<sup>4</sup>; е) Пиллау в 1940 г.<sup>5</sup>; ф) Пиллау в 1941 г.<sup>6</sup>; г) г. Балтийск и пос. Коса в 1963 г.<sup>7</sup>; г) г. Балтийск и пос. Коса в 2000 г.<sup>8</sup>

Fig. 7. Historical maps of the study area from 1882 to 2000: a) Pillau in 1882; b) Pillau in 1910; c) Pillau in 1939; d) Baltiysk and Kosa in Soviet times; e) Pillau in 1940; f) Pillau in 1941; g) Baltiysk and Kosa in 1963; h) Baltiysk and Kosa in 2000

- 1 Пиллау в 1882 г. Электронный ресурс: <https://www.bildarchiv-ostpreussen.de/> (дата обращения 20.02.2024)
- 2 Пиллау в 1910 г. Электронный ресурс: <http://www.etomesto.ru/> (дата обращения 22.02.2024)
- 3 Пиллау в 1939 г. Электронный ресурс: <http://www.etomesto.ru/> (дата обращения 21.02.2024)
- 4 Г. Балтийск и пос. Коса в советское время. Электронный ресурс: <https://elvids.com/w/балтийская+коса+достопримечательности> (дата обращения 20.02.2024)
- 5 Пиллау в 1940 г. Электронный ресурс: [https://russian-west.narod.ru/gorod/karty/pillau\\_3.htm](https://russian-west.narod.ru/gorod/karty/pillau_3.htm) (дата обращения 26.02.2024)
- 6 Пиллау в 1941 г. Электронный ресурс: <http://www.etomesto.ru/> (дата обращения 22.02.2024)
- 7 Г. Балтийск и пос. Коса в 1963 г. Электронный ресурс: <http://www.etomesto.ru/> (дата обращения 22.02.2024)
- 8 Г. Балтийск и пос. Коса в 2000 г. Электронный ресурс: <http://www.etomesto.ru/> (дата обращения 22.02.2024)

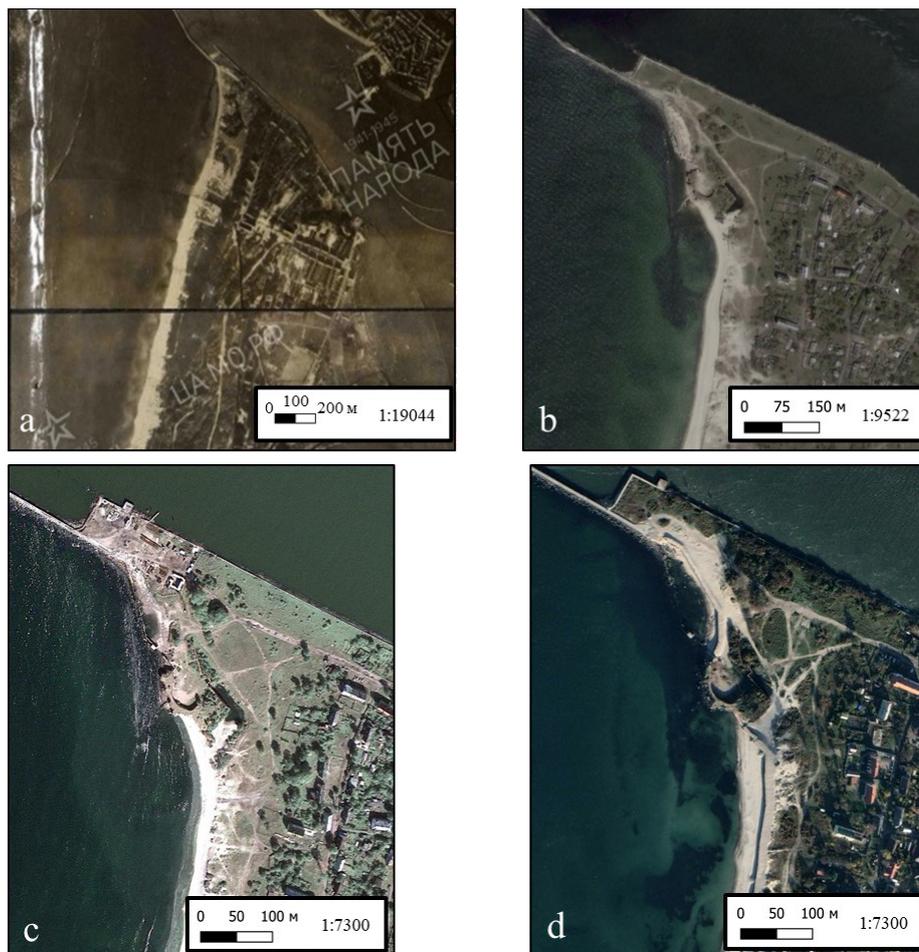


Рис. 8. Данные дистанционного зондирования исследуемого района с 1944 по 2022 г.:  
а) Пиллау, 28 октября 1944 г.<sup>1</sup>; б) Береговая зона в 2005 г.<sup>2</sup>;  
в) Береговая зона в 2009 г.<sup>3</sup>; д) Береговая зона в ноябре 2022 г.<sup>4</sup>

Fig. 8. Remote sensing data of the study area from 1944 to 2022: a) Pillau, 28 October 1944;  
b) Coastal zone in 2005; c) Coastal zone in 2009; d) Coastal zone in November 2022

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Построение цифрового двойника в фазе прототипа прибрежной зоны пос. Коса может принимать взвешенные управленческие решения в области природопользования. Принятые не очень эффективные с точки зрения природопользования меры привели к разрушению береговой линии, что видно на изображениях, представленных выше. На картах г. Пиллау в 1940 г. (именно на этом изображении указан Западный форт) можно видеть достаточно широкую береговую линию перед фортом (около 50 м) в сравнении со спутниковыми снимками 2023 г. (рис. 9). В настоящее время большая часть форта находится в море вместе с берегоукреплением. Поэтому региональные и местные власти

<sup>1</sup> Пиллау 28 октября 1944 г. Электронный ресурс: <https://trizna.ru/forum/topic/42766-советская-аэрофотосъёмка-а-1941-45/> (дата обращения 22.02.2024)

<sup>2</sup> Береговая зона в 2005 г. Электронный ресурс: <https://www.google.ru/earth/> (дата обращения 22.02.2024)

<sup>3</sup> Береговая зона в 2009 г. Электронный ресурс: <https://www.google.ru/earth/> (дата обращения 26.02.2024)

<sup>4</sup> Береговая зона в 2022 г. Электронный ресурс: <https://www.google.ru/earth/> (дата обращения 27.02.2024)

начали проводить мероприятия по частичному укреплению берегового вала для развития природопользования с точки зрения туризма на данной территории. С помощью визуализации и манипуляции над прототипом цифрового двойника можно показать все возможные сценарии развития территории как с точки зрения грамотного управления всеми видами природопользования на участке, так и бесконтрольного использования или отсутствия каких-либо решений по развитию данной местности.

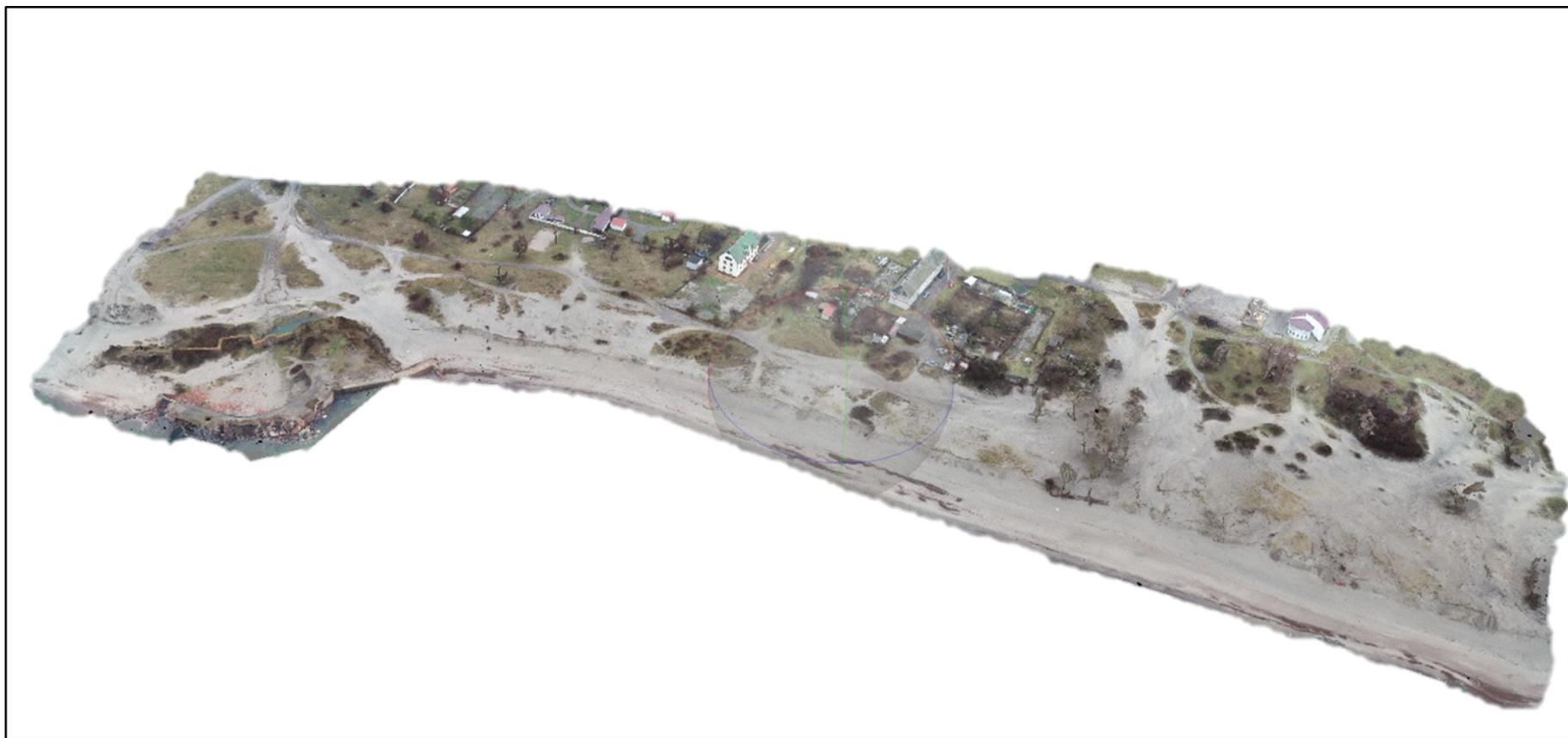


Рис. 9. Слияние изображений 1940 и 2022 г. (привязка по 6 опорным точкам)  
Fig. 9. Merging of the 1940 and 2022 images (binding by 6 reference points)

Исходными данными для построения 3D-модели (рис. 10) послужили снимки с БПЛА (DJI Phantom 4 Pro), снятые 4 февраля 2022 г. после серии штормов. Рабочая высота составляла 60 м, полетное задание составлено с двойной сеткой. Характеристики камеры DJI Phantom 4 Pro: разрешение фото по вертикали — 3 648 пикс; разрешение фото по горизонтали — 5 472 пикс; разрешение матрицы — 20 Мпикс; объектив — угол обзора 84°, 24 мм (эквивалент формата 35 мм). Привязка осуществлялась по 5 опорным точкам, снятым с помощью TOPCON GR5 от базовой станции университета в режиме RTK, плановая точность была в пределах 10 см, высотная точность 5 см.

Модель строилась в специализированной программе Agisoft Metashape для обработки фотографий и создания 3D-моделей из них. Она используется в археологии, геодезии, геологии, архитектуре, инженерном деле, в добывающей промышленности, урбанистике и в других областях.

С помощью Agisoft Metashape можно создавать точные и высококачественные 3D-модели объектов и местности на основе фотографий, сделанных с воздуха (данные с дронов) или с земли (данные, снятые на телефоны и с фотокамер). Параметры моделирования были выбраны с учетом высокой точности выравнивания и средней плотности построения облака точек.



*Рис. 10. 3D-модель прибрежной зоны пос. Коса со стороны моря (04.02.2022) (сделано автором)*  
*Fig. 10. 3D model of the coastal zone of the Kosa settlement from the sea side (04.02.2022) (made by the author)*

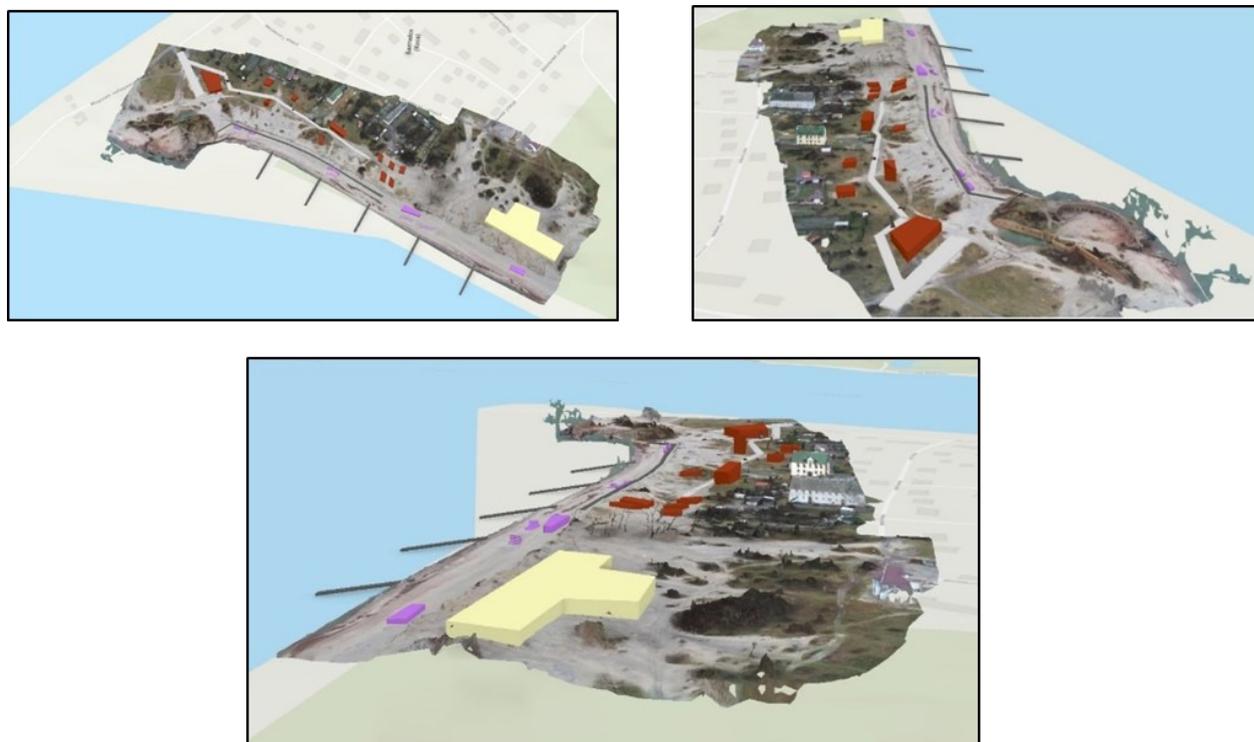
В дальнейшем проводилась классификация облака точек при помощи программного обеспечения *metashape*, начиная с общей классификации, а затем осуществлялась классификация точек рельефа. Удаление древесно-кустарниковой растительности производилось в полуавтоматическом режиме.

Это способствовало определению начальной точки создания сценариев манипуляции над двойником:

- состояние побережья без принятых укрепительных мер весной и летом 2022 г.;
- развитие прибрежной территории со сценарием местных и региональных властей;
- «идеальное» воплощение развития этой территории с точки зрения природопользования — комбинация стабильного развития территории для поселка и сохранения природного и исторического наследия (рис. 11).

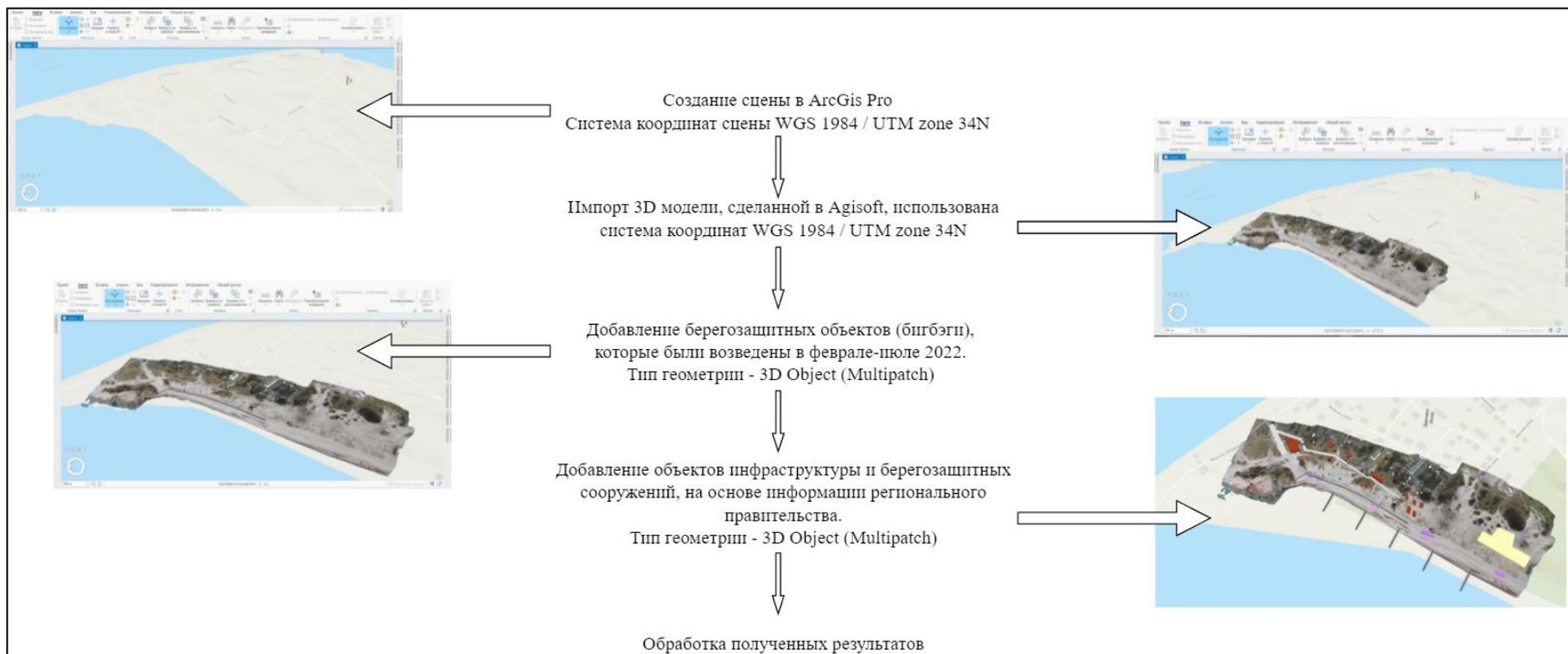
При позитивном сценарии (рис. 11) можно смоделировать выставление/постройку пескоудерживающих сооружений, таких как буны и биг-бэги, для увеличения пляжной зоны. Развитие первой линии от моря предусматривает строительство гармоничных и вписывающихся по высоте и архитектурному решению зданий и сооружений. Каждое инженерное решение проходит процедуру общественного обсуждения для гармонизации и общественного принятия в развитии этой территории. Вместе с тем, развитие пляжной инфраструктуры рассчитывает выставление нестационарных объектов, которые наносят минимальный вред ландшафту косы. Данные работы привлекут внимание туристов к природно-историческому ландшафту, а также к охране и восстановлению. Стоимость работ для данного сценария условно можно оценить в примерно 130–200 млн руб.

Ход работ представлен на рис. 12.



*Рис. 11. Прототип цифрового двойника побережья около пос. Коса (развитие территории с учетом природоохранных мероприятий)*

*Fig. 11. Prototype of the digital twin of the coastline near Kosa settlement (development of the area taking into account environmental protection measures)*



*Рис. 12. Ход работ*  
*Fig. 12. Progress of work*

## ВЫВОДЫ

Природно-исторические ландшафты представляют собой ценное сочетание природных и культурных элементов, отражающее долгую историю взаимодействия человека с окружающей средой. Сохранение и охрана этих ландшафтов является важной задачей, поскольку они не только представляют историческую и культурную ценность, но также способствуют развитию туризма, образования и научных исследований. Для успешного сохранения природно-исторических ландшафтов необходим комплексный подход, включающий в себя законодательные меры, образование и просвещение, а также научные исследования. Использование инновационных методов, таких как создание цифровых двойников, позволяет эффективно моделировать и сохранять уникальные природно-исторические ландшафты. Эти работы позволят сохранить и восстановить ландшафты для будущих поколений и обогатить культурное наследие человечества, подчеркивая важность устойчивого развития и охраны окружающей среды.

Применение цифровых технологий и моделей для прогнозирования экологических ситуаций играет ключевую роль в обеспечении устойчивого развития и охраны окружающей среды. Цифровые двойники позволяют собирать и анализировать большие объемы данных, создавать точные прогностические модели и предсказывать возможные изменения в экосистемах. Это помогает принимать обоснованные решения в области охраны окружающей среды, предотвращать негативные последствия для природы и обеспечивать устойчивое использование природных ресурсов. Таким образом, цифровые двойники становятся мощным инструментом для прогнозирования экологических ситуаций и обеспечения экологической безопасности нашей планеты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Баикатов А. Н.* Гуманитарно-географические исследования в Саратовском регионе. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле, 2011. Т. 11. № 2. С. 3–7.

*Белкина С. В.* Основные подходы к изучению культурных и природно-культурных ландшафтов. Культура и цивилизация, 2020. Т. 10. № 2А. С. 89–98.

*Белов Н. С., Белова А. В., Шаплыгина Т. В., Данченко А. Р.* Применение новых технологий для формирования цифровых двойников уникальных и редких природных и культурных объектов. Балтийский регион — регион сотрудничества: Материалы V международной научно-практической конференции, Калининград, 20–22 октября 2021 г. Т. 5. Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2021. С. 55–62.

*Бубнова Е. С., Шлюбская К. Г.* Научное обоснование организации геопарка в поселке Донское Калининградской области. XXIX Береговая конференция: Натурные и теоретические исследования — в практику берегопользования. Калининград: Издательство БФУ им. И. Канта, 2022. С. 359–361.

*Галкова О. В.* Культурный ландшафт как часть всемирного наследия (по документам ЮНЕСКО). Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета, 2008. № 4. С. 156–159.

*Дизендорф Л. О.* К вопросу о создании национального парка на Балтийской косе. Балтийский регион — регион сотрудничества: Материалы V международной научно-практической конференции, Калининград, 20–22 октября 2021 г. Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2021. Т. 5. С. 222–227.

*Дизендорф Л. О., Сукманова Т. В., Мерковская Е. В.* Трансформация природных комплексов Балтийской косы под влиянием неконтролируемой реакционной деятельности.

Ландшафтные и экологические исследования природных и антропогенных геосистем. Материалы IV Общероссийской (с международным участием) научно-практической конференции (заочной), посвященной 85-летию высшего географического образования в Тамбовской области. Тамбов: Издательский дом «Державинский», 2022. С. 138–146.

*Довыденко Л.* Тайны Пиллау. Очерки из истории города. Калининград: Янтарный сказ, 2004. 120 с.

*Кривошеева Т. М.* Усиление роли туристско-краеведческой деятельности в просвещении и патриотическом воспитании населения. Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса, 2020. Т. 14. № 2–2. С. 12–18.

*Кулешова М. Е.* Формы охраны природно-культурного наследия и категория культурного ландшафта. Горизонты гуманитарного знания, 2017. № 4. С. 31–43.

*Сафьянов Г. А.* Геоморфология морских берегов. М.: Издательство Московского университета, 1996. 406 с.

*Сукманова Т. В., Дизендорф Л. О.* Изменение рекреационно-туристической нагрузки на природную систему в условиях COVID-19. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки, 2022. № 4. С. 44–52. DOI: 10.5922/gikbfu-2022-4-4.

*Шаплыгина Т. В.* Анализ рекреационного природопользования на Вислинской косе. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки, 2009. № 1. С. 107–110.

*Hutson J., Weber J., Russo A.* Digital Twins and Cultural Heritage Preservation: A Case Study of Best Practices and Reproducibility in Chiesa dei SS Apostoli e Biagio. Art and Design Review, 2023. V. 11. DOI: 10.4236/adr.2023.1111003.

*Jones D., Snider C., Nassehi A., Yon J., Hicks B.* Characterizing the Digital Twin: A systematic literature review. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2020. V. 29. P. 36–52. DOI: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.

## REFERENCES

*Bashkatov A. N.* Humanitarian-geographical research in the Saratov region. Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2011. V. 11. No. 2. P. 3–7 (in Russian).

*Belkina S. V.* Main approaches to the study of cultural and natural-cultural landscapes. Culture and Civilization, 2020. V. 10. No. 2A. P. 89–98 (in Russian).

*Belov N. S., Belova A. V., Shaplygina T. V., Danchenko A. R.* Application of new technologies for the formation of digital twins of unique and rare natural and cultural objects. Baltic region — region of cooperation: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference, Kaliningrad, 20–22 October 2021. V. 5. Kaliningrad: Immanuel Kant Baltic Federal University, 2021. P. 55–62 (in Russian).

*Bubnova E. S., Shlyubskaya K. G.* Scientific substantiation of geopark organization in Donskoye settlement of Kaliningrad region. XXIX Coastal Conference: Natural and theoretical research into the practice of coastal management. Kaliningrad: Immanuel Kant Baltic Federal University, 2022. P. 359–361 (in Russian).

*Dizendorf L. O.* To the question of creating a national park on the Baltic Spit. Baltic region — region of cooperation: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference, Kaliningrad, 20–22 October 2021. Kaliningrad: Publishing House of the Immanuel Kant Baltic Federal University, 2021. V. 5. P. 222–227 (in Russian).

- Dizendorf L. O., Sukmanova T. V., Merkovskaya E. V.* Transformation of natural complexes of the Baltic Spit under the influence of uncontrolled reaction activity. Landscape and ecological studies of natural and anthropogenic geosystems. Proceedings of the IV All-Russian (with international participation) scientific and practical conference (in absentia) dedicated to the 85th anniversary of higher geographical education in the Tambov region. Tambov: “Derzhavinsky Publishing House”, 2022. P. 138–146 (in Russian).
- Dovydenko L.* Secrets of Pillau. Essays from the history of the city. Kaliningrad: Publishing House “Amber Tale”, 2000. 120 p. (in Russian).
- Galkova O. V.* Cultural landscape as part of the World Heritage (according to UNESCO documents). Vestnik Saratov State Socio-Economic University, 2008. No. 4. P. 156–159 (in Russian).
- Hutson J., Weber J., Russo A.* Digital Twins and Cultural Heritage Preservation: A Case Study of Best Practices and Reproducibility in Chiesa dei SS Apostoli e Biagio. Art and Design Review, 2023. V. 11. DOI: 10.4236/adr.2023.111003.
- Jones D., Snider C., Nassehi A., Yon J., Hicks B.* Characterizing the Digital Twin: A systematic literature review. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2020. V. 29. P. 36–52. DOI: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.
- Krivosheeva T. M.* Strengthening the role of tourism and local history activities in education and patriotic education of the population. Universities for Tourism and Service Association Bulletin, 2020. V. 14. No. 2–2. P. 12–18 (in Russian).
- Kuleshova M. E.* Forms of protection of natural and cultural heritage and the category of cultural landscape. Horizons of Humanitarian Knowledge, 2017. No. 4. P. 31–43 (in Russian).
- Safyanov G.A.* Geomorphology of sea shores. Moscow: Moscow University Press, 1996. 406 p. (in Russian).
- Shaplygina T. V.* Analysis of recreational nature use on the Vistula Spit. IKBFU’s Vestnik. Series: Natural and Medical Sciences, 2009. No. 1. P. 107–110 (in Russian).
- Sukmanova T. V., Dizendorf L. O.* Change of recreational and tourist load on the natural system under COVID-19. IKBFU’s Vestnik. Series: Natural and Medical Sciences, 2022. No. 4. P. 44–52 (in Russian). DOI: 10.5922/gikbfu-2022-4-4.
-