

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Объект авторского права

УДК 528.94:338.48(476-21)(043.3)

**ГЕРМАН**

**Анна Рубеновна**

**ТРЕХМЕРНОЕ ХУДОЖЕСТВЕННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ  
ГОРОДОВ-МУЗЕЕВ БЕЛАРУСИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТУРИСТИЧЕСКОЙ ИНДУСТРИИ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата географических наук

по специальности 25.03.10 – картография

Минск, 2023

Работа выполнена в Белорусском государственном университете

Научный руководитель – **Подшивалов Владимир Павлович**,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры геодезии  
и аэрокосмических геотехнологий  
факультета транспортных коммуникаций  
Белорусского национального  
технического университета

Официальные оппоненты: **Волчек Александр Александрович**,  
доктор географических наук, профессор,  
профессор кафедры природообустройства  
учреждения образования «Брестский  
государственный технический университет»;

**Кравчук Людмила Александровна**,  
кандидат географических наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории оптимизации геосистем  
Государственного научного учреждения  
«Институт природопользования  
Национальной академии наук Беларуси»

Оппонирующая организация – Учреждение образования  
«Брестский государственный  
университет имени А. С. Пушкина»

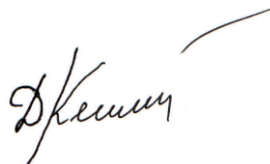
Защита состоится 11 октября 2023 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.01.06 при Белорусском государственном университете по адресу: 220030, г. Минск, ул. Ленинградская, 8 (корпус юридического факультета), ауд. 407.

Телефон ученого секретаря (8-017) 209-55-58, e-mail: kurlovich@bsu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного университета.

Автореферат разослан «06» июля 2023 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций Д 02.01.06,  
кандидат географических наук, доцент



Д. М. Курлович

## **ВВЕДЕНИЕ**

Развитие туристической индустрии в условиях глобализации и цифровизации требует новых подходов к ее информационному обеспечению. Многие города Беларуси, в том числе малые и средние, имеют свой неповторимый облик, определяемый богатой историей, наличием многочисленных памятников архитектуры, исторической застройкой, природными богатствами. Повышение их туристской привлекательности с целью популяризации для экскурсантов и придания импульса развитию этих населенных пунктов может быть достигнуто посредством разработки новых форм картографического сопровождения туризма – трехмерных художественных карт-панорам и картографических веб-приложений.

В настоящее время для составления карт и планов городов используются преимущественно традиционные (2D) методики картографирования – такие картографические произведения обладают математической точностью и определенной степенью наглядности, однако, уступают трехмерным художественным картам, где особое значение придается зрительным иллюзиям объемности. Рукописные трехмерные карты-панорамы характеризуются выразительностью и эргономичностью, особенно для неподготовленного пользователя, однако, их создание требует значительных затрат времени и определенных художественных навыков. В рамках диссертационного исследования предлагаются новые научные подходы трехмерного художественного картографирования и на их основе – единая методика и технология создания и обновления трехмерных художественных карт с использованием информационных систем с целью обеспечения картографической продукцией туристической индустрии Республики Беларусь.

Задачи диссертации соотносятся с государственными приоритетами в области туризма, отмеченными в Концепции Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 г., Государственной программе «Беларусь гостеприимная» на 2016–2020 гг. и 2021–2025 гг., Национальной стратегии развития туризма в Республике Беларусь до 2035 г.

### **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Связь работы с научными программами (проектами), темами.** Исследование соответствует приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 гг. (пункт 5 «Информатика и космические исследования»), а также приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг. (пункт 1 «Цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии, основанные на них производства»).

Диссертационная работа выполнялась на кафедре геодезии и космоаэрокартографии БГУ в рамках НИР «Разработать теоретико-методические основы геоинформационного картографирования и моделирования социально-

экономических и природно-антропогенных объектов, явлений и процессов с учетом природно-хозяйственных условий Беларуси» (2016–2020 гг., № ГР 20162532), а также международного проекта БРФФИ – РФФИ «Демографическое старение России и Беларуси: оценка масштабов и социально-экономических последствий» (2016–2018 гг., № Г16Р-011).

**Цель, задачи, объект и предмет исследования.** *Цель исследования* – создание трехмерных художественных картографических изображений городов-музеев Беларуси посредством использования современных информационных технологий для картографического сопровождения туристической индустрии.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решались следующие задачи:

- систематизировать теоретические принципы и практические подходы к созданию трехмерных картографических изображений, обобщить способы и приемы автоматизации процессов их построения, обосновать научные и практические аспекты совершенствования теоретических основ трехмерного художественного картографирования городской среды;

- сформулировать принципы построения и оценить функциональные возможности использования библиотек автоматизированных условных знаков, текстур и цветов; выполнить сравнительный анализ рукописного и автоматизированного способов создания трехмерной художественной карты-панорамы, сформулировать преимущества и недостатки каждого из них;

- разработать методику создания трехмерных художественных карт городов-музеев Беларуси совмещенным рукописно-автоматизированным способом, для рационализации использования приемов изобразительного искусства и методов графического построения изображения посредством информационных технологий;

- обосновать уровни визуализации элементов городской среды, разработать технологию создания трехмерных художественных карт-панорам рукописно-автоматизированным способом; на основе разработанных методики и технологии построения трехмерных художественных карт-панорам создать образцы новых картографических изображений;

- обобщить перспективные направления практического использования трехмерных художественных карт, спроектировать навигационную структуру и разработать дизайн-макет картографического веб-ресурса.

*Объект исследования* – малые и средние города-музеи Республики Беларусь.

*Предмет исследования* – приемы и способы автоматизации (компьютеризации) процессов построения трехмерных художественных картографических изображений городов-музеев Беларуси.

Информационную базу исследования составляют статистические данные, материалы открытых картографических интернет-сервисов и собственных полевых обследований картографируемых территорий, литературные и картографические источники, электронные ресурсы. Период исследования – 2014–2022 гг.

**Научная новизна** работы состоит в обосновании и разработке теоретико-методологической базы для составления художественных 3D-карт городов-музеев Беларуси, определении их современной классификации. Предложена оригинальная авторская методика и технология создания новых картографических изображений с использованием компьютерных технологий, апробированные, в том числе, при разработке картографической составляющей веб-приложения туристской инфраструктуры города.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. *Совершенствование теоретических основ трехмерного художественного картографирования, включающее разработанную классификацию 3D-изображений, выявленные оптимальные условия трехмерного иллюзорного представления городов (постоянную высоту точки наблюдения, проецирование параллельными лучами под углом 60° к картинной плоскости, ключевое значение линейной и воздушной перспектив), что в совокупности качественно улучшает методику трехмерного художественного картографирования городской среды.*

2. *Методика создания художественных карт-панорам городов-музеев Беларуси совмещенным рукописно-автоматизированным способом, заключающаяся в рациональном сочетании работ, выполненных вручную и с применением графических редакторов, использовании разработанных универсальных библиотек проекций, знаков, текстур и цветов, что, в отличие от традиционного рукописного способа, значительно сокращает технологический цикл при сохранении высокого графического качества изображений и их художественной привлекательности.*

3. *Технология создания трехмерных художественных карт-панорам городской среды рукописно-автоматизированным способом, включающая поэтапную визуализацию картографируемых объектов (трансформирование оцифрованного плана в перспективу, построение каркасов зданий, детализацию изображения с применением библиотек конструктивных элементов и цветовое проектирование), что позволяет до 2,5 раз ускорить процесс построения и обновления трехмерных изображений, который лег в основу создания карты-панорамы Несвижского дворцово-паркового комплекса.*

4. *Спроектированная навигационная структура картографического электронного ресурса – веб-приложения туристской инфраструктуры города Новогрудка, и разработанный на ее основе дизайн-макет, включающий наглядные условные обозначения, план города и трехмерную художественную карту исторического центра, что выступает перспективным направлением цифровизации туристической индустрии в Республике Беларусь.*

**Личный вклад соискателя ученой степени.** Автором выявлены критерии отбора малых и средних городов для включения их в перечень городов-музеев Беларуси с распределением по группам значимости их

историко-культурного потенциала; впервые разработаны классификация 3D-изображений на основе базовой содержательной модели объектов картографирования, содержательная классификационная модель растительного покрова, уровни визуализации при создании 3D-изображений, образцы библиотек знаков, текстур, цветов для последующего их использования в экспериментальных работах; предложены оригинальные совмещенная рукописно-автоматизированная методика и технология создания и обновления художественных карт-панорам; созданы фрагменты трехмерных художественных карт-панорам различными способами (рукописным, автоматизированным, совмещенным); разработаны навигационная структура и дизайн-макет картографического веб-приложения.

**Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов.** Результаты исследований докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях: «Молодежь в науке» (Минск, 2014); «Наука – образованию, производству, экономике» (Минск, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019); Большой географический фестиваль (Санкт-Петербург, 2015, 2020); «Геодезия, картография, кадастр, ГИС – проблемы и перспективы развития» (Новополоцк, 2016); «Национальная картографическая конференция» (Москва, 2018); International Cartographic Conference (Токио, 2019); «Геоматика: образование, теория и практика» (Минск, 2019).

Полученные результаты используются в производственной деятельности издательства «Квадрограф», Фонда развития и поддержки арменоведческих исследований «АНИВ», ГП «Минский метрополитен», ГУ «Историко-культурный музей-заповедник «Заславль», музея «Замковый комплекс «Мир», в образовательном процессе кафедры геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики БГУ.

**Опубликованность результатов диссертации.** Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 16 работах (без соавторов – 9), в том числе: 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий (объемом 2,4 авт. листа); 10 публикаций в сборниках материалов научных конференций, 2 тезисов докладов. Общий объем опубликованных материалов составляет 4,2 авт. листа.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав основной части, заключения, списка использованных источников и приложения. Общий объем диссертации составляет 193 страницы, из которых 1 страницу занимает 1 таблица, 22 страницы – 68 рисунков, 59 страниц – 19 приложений. Список использованных источников включает 160 наименований на 13 страницах, в том числе список работ соискателя из 16 наименований на 2 страницах.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

**В первой главе «Степень изученности трехмерного картографирования на современном этапе»** *представлен аналитический обзор научной литературы и практических разработок в области трехмерного картографирования, моделирования и автоматизации картографических процессов, а также выполнен подробный анализ художественных картографических изображений (с XVI в. до настоящего времени).*

Большой вклад в развитие теории трехмерного картографирования (преимущественно применительно к показу рельефа местности) внесли представители советской (Р.В. Атоян, Т.В. Верещака, О.В. Ковалева, П.А. Скворцов, Л.Е. Смирнов и др.) и зарубежной (Э. Имгофф, З. Козиел, Э. Райс, К. Хаберлинг и др.) научных школ. Автоматизированным и математическим методам в картографии посвящены работы А.С. Васмута, А. Робинсона, В.С. Тикунова и др. В настоящее время большое внимание уделяется трехмерному картографированию местности с целью онлайн-визуализации, использованию карт в мобильных приложениях.

Анализ исторического пути развития 3D-изображений городов был выполнен по периодам: средневековье, новое и новейшее время. Исключительную роль в истории играют средневековые художественные карты-панорамы городов. В контексте предмета исследования под картой-панорамой города нами понимается картографическое изображение городской среды, выполненное с учетом линейной и воздушной перспектив по принципу художественной живописи и создающее иллюзорное ощущение объемности. С середины XX в. картографическое искусство начинает возрождаться: в этот период 3D-картография получила научную основу.

На современном этапе развития художественной картографии популярными становятся рукописные карты-панорамы исторических частей городов, парковых зон, музеев-усадеб, отдельных архитектурных памятников. Помимо того, что они являются сувенирной картографической продукцией, они служат также и практическим целям: ориентированию по городу, планированию экскурсий, изучению историко-культурного наследия. Карты-панорамы не имеют единой теоретико-методологической базы, общих подходов к графическому построению и цветовому решению, поэтому задача диссертационного исследования состоит в совершенствовании научных основ трехмерного художественного картографирования городской среды, разработке методики и технологии создания новых картографических изображений.

**Во второй главе «Города-музеи Республики Беларусь как объект трехмерного художественного картографирования»** *изучен вопрос роли малых и средних городов в системе расселения Беларуси, проанализированы особенности развития туризма в данных группах городов, дана характеристика и обоснование выбора объекта исследования.*

В Республике Беларусь по данным на 2019 год из 201 городского поселения

163 (или 81,1 %) составляют малые города и городские поселки с численностью населения менее 20 000 чел. Многие из них имеют достаточно высокий потенциал развития благодаря сохранившемуся историко-культурному наследию, выгодному транспортному положению, относительно развитой сети общественного обслуживания, благоприятным климатическим и экологическим условиям и др. Малые городские поселения могут рассматриваться как носители традиций белорусского народа, в чем состоит их уникальность.

Особым интересом у туристов пользуются объекты, занесенные в Список всемирного культурного наследия ЮНЕСКО. Также перспективными для использования в сфере туризма являются памятники археологии, архитектуры, истории, градостроительства, включенные в Государственный список историко-культурных ценностей Беларуси. Они подразделяются на четыре категории: «0» – включенные или предложенные для включения в Список всемирного культурного и природного наследия, «1» – представляющие международный интерес, «2» – республиканского значения, «3» – регионального значения. Города с высоким историко-культурным потенциалом подлежат особому регулированию, а объекты наследия – охране в соответствии с документом «Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки» (2009) и Кодексом Республики Беларусь «О культуре» № 413-З от 20 июля 2016 г.

В диссертационном исследовании проведена интерпретация понятия «город-музей», обобщены материалы отечественной и зарубежной литературы. Под «городом-музеем» нами понимается городское поселение, обладающее историко-культурным потенциалом (наличие памятников архитектуры, археологии), позволяющим отнести его к историко-культурному центру и обосновать включение в туристские маршруты в качестве основного или дополнительного объекта показа. Выделение городов-музеев Беларуси из числа малых и средних городских поселений осуществлялось на основании критериев, где главным определено наличие памятников архитектуры, сохранившихся фрагментов древней планировки и застройки поселений, находящихся под защитой государства. В качестве дополнительного критерия выделено наличие музеев различной направленности, памятных мест, связанных с жизнью и деятельностью выдающихся людей, объектов природы. При этом к городам-музеям были отнесены только те населенные пункты, которые имеют минимум один памятник «0», «1» или «2» категории, а также памятники «3» категории на каждые 20 тыс. человек.

Для оценки и картографического представления историко-культурного потенциала городов-музеев использовалось ранжирование объектов наследия по значению в мировой и отечественной культуре (согласно Государственному списку историко-культурных ценностей Беларуси). Таким образом, к городам-музеям Беларуси были отнесены 5 средних городов с численностью населения от 20 тыс. до 100 тыс. человек и 32 малых города с численностью населения до 20 тыс. человек, дифференцированные по группам и подгруппам (таблица 1).



Таблица 1 – Историко-культурная классификация городов-музеев Беларуси

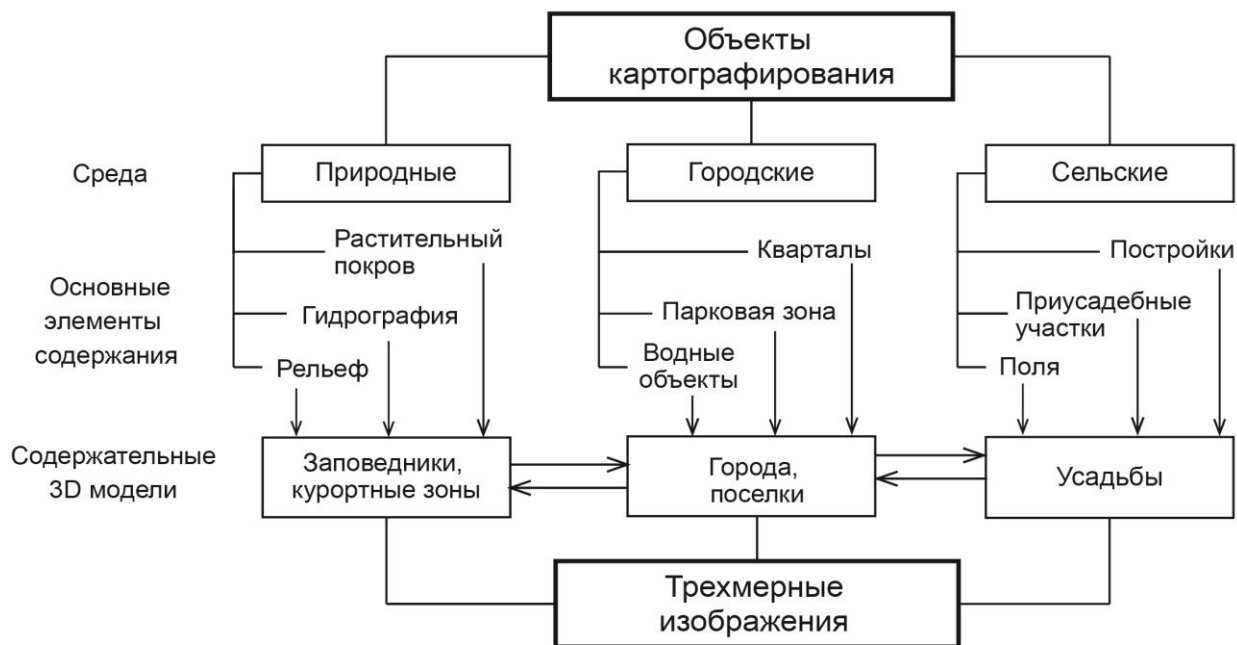
Группа	Критерий	Подгруппа	Населенный пункт	Количество памятников (по категориям)			
				«0»	«1»	«2»	«3»
А	наличие 1 и более объектов «0» категории	А1 – малые города с населением менее 10 тыс. чел. и городские поселки	г.п. Мир	1	1	3	1
			г. Каменец	1	-	-	2
		А2 – малые города с населением от 10 тыс. до 20 тыс. чел.	г. Несвиж	2	4	3	8
		А3 – средние города (с населением от 20 тыс. до 100 тыс. чел.)	г. Полоцк	2	1	12	20
Б	наличие 1 и более объектов «1» категории	Б1 – малые города с населением менее 10 тыс. чел.	г. Чечерск	-	2	-	9
			г. Коссово	-	1	-	4
		Б2 – малые города с населением от 10 тыс. до 20 тыс. чел.	г. Мстиславль	-	1	4	16
			г. Заславль	-	1	1	7
			г. Клецк	-	1	-	5
Б3 – средние города	г. Новогрудок	-	8	5	34		
В	наличие более чем 2 объектов «2» категории или более чем 3 объектов «2» и «3» категории (в совокупности)	В1 - малые города с населением менее 10 тыс. чел. и городские поселки	г.п. Ружаны, г. Воложин	-	-	3	2
			г. Дятлово	-	-	2	2
			г.п. Порозово	-	-	2	1
			г. Ивье, г. Свислочь (Гродненская обл.), г. Славгород	-	-	2	-
			г. Высокое	-	-	1	4
			г. Толочин	-	-	1	3
			г.п. Шерешево, г. Наровля, г.п. Большая Берестовица, г.п. Зельва, г.п. Желудок, г. Мядель, г.п. Свирь	-	-	1	2
	наличие более чем 2 объектов «2» категории или более чем 5 объектов «2» и «3» категории (в совокупности)	В2 – малые города с населением от 10 тыс. до 20 тыс. чел.	г. Быхов	-	-	3	9
			г. Глубокое	-	-	3	5
			г. Поставы	-	-	3	4
			г. Пружаны	-	-	2	5
			г. Столин, г. Щучин	-	-	2	1
			г. Шклов, г. Петриков	-	-	1	5
	наличие более чем 3 объектов «2» категории	В3 – средние города	г. Слоним	-	-	10	18
			г. Кобрин	-	-	9	14
			г. Слуцк	-	-	3	2

Дальнейшее комплексное изучение городов-музеев Беларуси, апробация методики создания трехмерных картографических произведений осуществлялись на примере трех населенных пунктов-ключей: г. Несвиж, г. Слуцк и г. Новогрудок. Их выбор обусловлен следующими факторами: г. Несвиж отнесен к группе «А» в рамках предложенной классификации, является малым городом, на его территории расположен объект Всемирного культурного наследия ЮНЕСКО; г. Новогрудок – средний город, отнесенный к группе «Б», имеет большое число памятников архитектуры, богатое историческое прошлое; г. Слуцк – средний город группы «В», на который отсутствуют карты-панорамы. Анализ картографического обеспечения городов-музеев Беларуси показал, что из 37 выделенных населенных пунктов карты-панорамы были созданы только на 5 (Несвиж, Новогрудок, Полоцк, Мир,

Слоним; автор – художник-картограф Р. Атоян, издательства «Квадрограф» и «Рифтур»). На многие города Беларуси ГП «Белгеодезия» и РУП «Белкартография» в разное время издавали традиционные туристские карты и планы.

**В третьей главе «Теоретические основы трехмерного художественного картографирования»** усовершенствована теоретико-методологическая база для построения карт-панорам: разработана классификация трехмерных изображений на основе содержательных моделей объектов картографирования, определены принципы построения перспективного изображения применительно к городской среде, обобщена и дополнена математическая основа трехмерных карт, оценена роль приемов изобразительного искусства при создании карт-панорам.

Объекты картографирования и соответствующие им основные элементы содержания карт-панорам, присущие природной и антропогенной среде, позволили выделить различные типы трехмерных картографических изображений (рисунок 1). Основными признаками их классификации являются масштаб, территориальный охват, передаваемое содержание и назначение (цель использования), которые определяют степень генерализации отображаемых объектов. Карты-панорамы городов могут охватывать все масштабы в зависимости от картографируемой территории. 3D-изображения замков, монастырей, усадеб, парков создаются только в крупном масштабе. Назначение карт-панорам также может быть различным: они могут использоваться для изучения местности и ориентирования, в качестве основы для информационно-рекламной или сувенирной продукции.



**Рисунок 1 – Классификация 3D-изображений на основе базовой содержательной модели объектов картографирования**

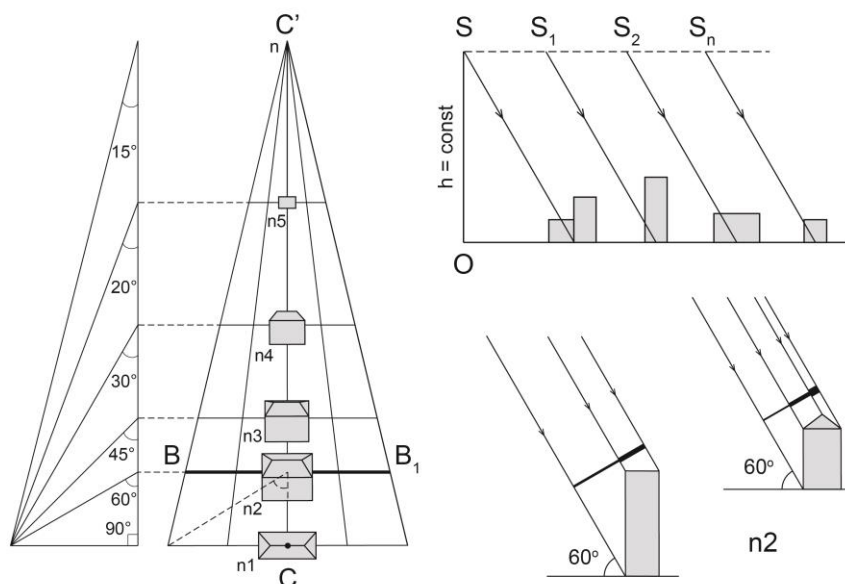
Природные и антропогенные объекты, изображаемые на картах-панорамах, взаимосвязаны в содержательно-временном и пространственном аспектах.

В картографическом изображении различают содержание (сведения о предметах и явлениях природы), элементы содержания (гидрография, рельеф, растительность, населенные пункты, дороги) и форму (изображение указанного содержания). Выявленный на основе логики и содержательного анализа массив данных для наглядного изображения городской среды на карте-панораме был разделен на однородные классы, а внутри класса выделены группы признаков и категорий (род и вид объекта). Таким образом, сформированы понятийно-содержательные классификационные модели в виде направленного граф-дерева. Они служат базой для создания систем картографических условных знаков для карт-панорам со значительным территориальным охватом (область, район и т.д.) и библиотек конструктивных элементов (наглядных знаков, текстур и цветов) применительно к художественным 3D-картам небольших по охвату территорий.

При создании карты-панорамы необходимо получить иллюзию объемного изображения на плоскости, которая достигается при помощи цветовых эффектов и графических приемов. На художественных 3D-картах имеет место переменный масштаб. Многоплановость изображения передается с помощью интерпозиции (перекрывания одних объектов другими) и относительной величины объектов, расположенных на разном расстоянии от точки обзора.

Создание карты-панорамы начинается с определения охвата территории, подлежащей картографированию, и как следствие – с выбора картографической проекции. В качестве математической основы для создания панорамных 3D-карт небольших территорий применяется разновидность внешней перспективной проекции с позитивным изображением – центральная проекция (по Л.Е. Смирнову), ввиду незначительных величин искажений, связанных с кривизной земной поверхности. Экспериментальные работы по определению угла наклона луча проецирования и параметров видимости объектов, расположенных на поверхности, помогли определить условия, наиболее оптимальные при картографировании малых и средних городов: постоянная высота точки наблюдения, проецирование параллельными лучами под углом  $60^\circ$  к картинной плоскости, отображение только переднего и среднего плана (рисунок 2).

Художественная составляющая при создании карт-панорам, включающая известные законы графики и живописи, рассмотрена с позиции получения реалистического панорамного изображения. Сформулирован ряд аспектов, которые необходимо учитывать при живописном оформлении карт-панорам: выбор общей цветовой гаммы, правильного направления освещения, отображение глубины изображения, использование закона контрастов для выделения наиболее значимых объектов, придание объема изображению и др.



$n1 \dots n5$  – условные архитектурные формы,  $CC'$  – центральная ось,  $C'$  – точка схода лучей центральной проекции,  $BB_1$  – линия оптимальных параметров,  $S \dots S_n$  – точки наблюдения

**Рисунок 2 – Оптимальные условия трехмерно-иллюзорного представления городов**

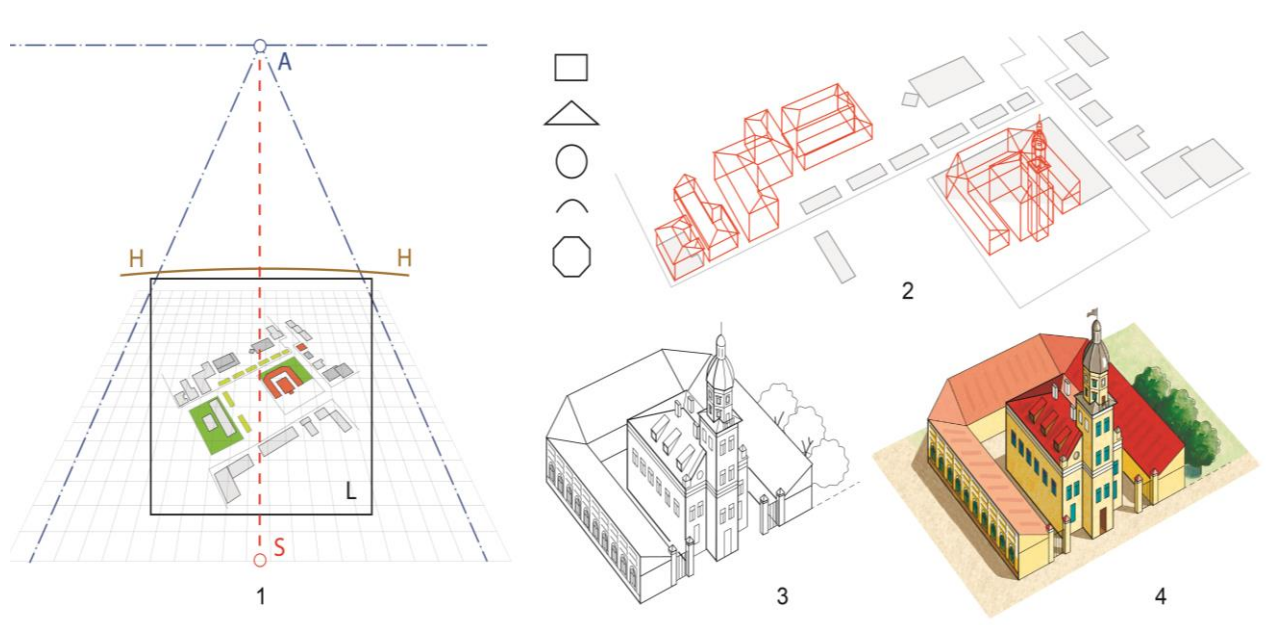
На основе анализа инструментария и особенностей программного обеспечения (Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, CorelDRAW, Autodesk 3DsMax, SketchUp, ESRI CityEngine) выявлены возможности практического использования графических редакторов при трехмерном художественном картографировании городов.

**В четвертой главе «Методика и технология построения трехмерного художественного картографического изображения городской среды» систематизирован рукописный и предложен автоматизированный способы построения трехмерной карты-панорамы центральной части города (на примере г. Слуцка), разработаны совмещенная методика и технология создания и обновления художественной карты-панорамы.**

Эмпирическим путем доказано, что монотонная и трудоемкая ручная работа может быть значительно упрощена при автоматизированном (с частичным участием человека) создании карт-панорам с применением различных библиотек, разработанных в цифровом виде и содержащих отдельные конструктивные элементы объектов городской среды. Наборы архитектурных форм используются для наполнения фасадов и детализации изображения. Варианты элементов растительности создаются вручную и дифференцируются по форме, размеру, контуру, цвету. Библиотека текстур и цветов с некоторыми модификациями применяется для фоновой заливки площадных объектов при цветовом оформлении трехмерных художественных карт-панорам.

С использованием разработанных образцов библиотек осуществляется визуализация объектов. Технология построения картографического 3D-изображения автоматизированным способом предполагает несколько уровней визуализации. Они строятся по принципу от общего к частному, от простого к сложному и отображают постепенный переход от двухмерных карт к трехмерным изображениям.

Методика и технология создания трехмерного художественного картографического изображения с использованием программ векторной и растровой графики апробированы на примере городской ратуши в городе Несвиже (рисунок 3). Особое внимание уделено камеральному этапу, включающему непосредственное построение иллюзорно-художественного 3D-изображения.

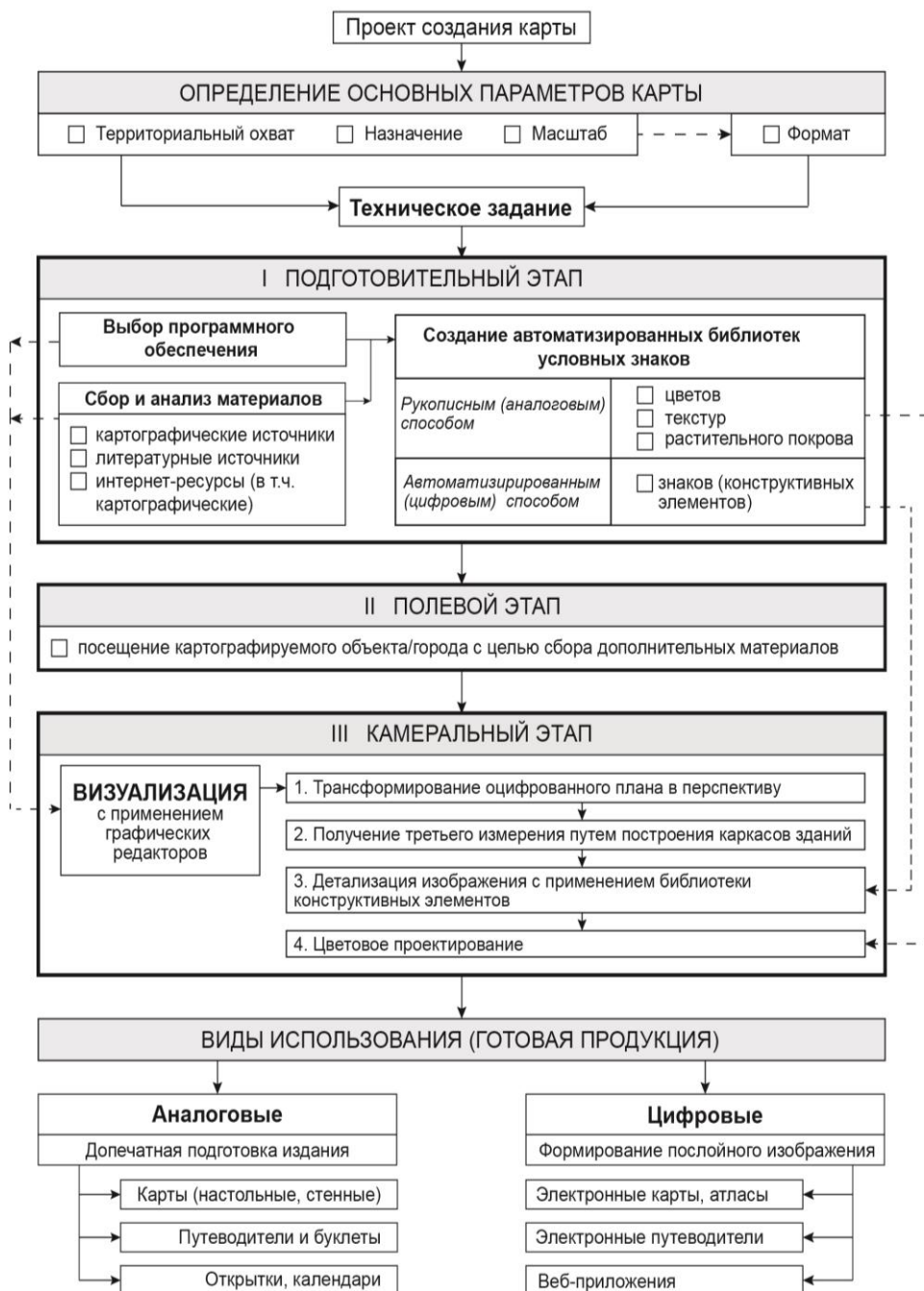


- 1 – трансформирование плана (А – точка схода лучей перспективной проекции; S – точка наблюдения; НН – линия горизонта; L – картинная плоскость);  
 2 – построение каркаса зданий; 3 – наполнение фасадов элементами из библиотеки знаков;  
 4 – цветовое оформление с использованием библиотек текстур и цветов

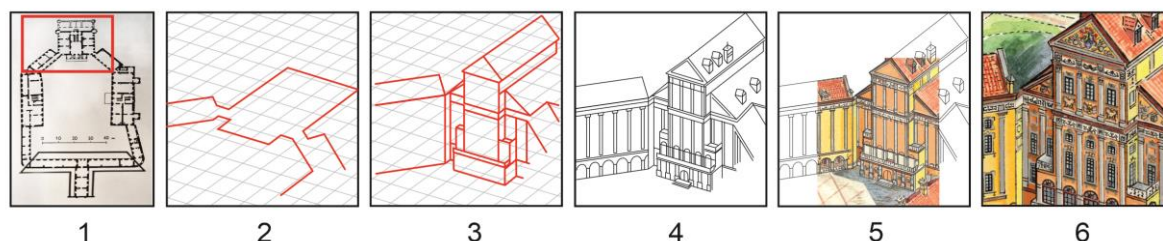
**Рисунок 3 – Уровни визуализации трехмерного объекта на примере городской ратуши города Несвижа**

На примере фрагмента города Слуцка выполнено сравнение методик рукописного и автоматизированного способов создания художественных карт-панорам с целью выявления их преимуществ и недостатков. Хронометраж фактически затраченного времени по отдельным процессам на площади 1 кв. дм показал эффективность использования технических средств автоматизации при составлении, художественном оформлении и дальнейшем обновлении карты-панорамы в целом. Выполненные фрагменты дают возможность объективно сравнить полученные изображения по цветовой гамме, качеству линий, объему ручного труда, возможностям трансформации изображения и скорости его обновления.

Для минимизации недостатков рукописного способа и подчеркивания достоинств автоматизированного предлагается совмещенная рукописно-автоматизированная методика построения трехмерного художественного картографического произведения (рисунок 4), апробированная на четырех различных по виду, содержанию, охвату территории и назначению картах: карте со сложным рельефом, карте-панораме городской среды, карте парка и карте-панораме архитектурного объекта (рисунок 5).



**Рисунок 4 – Технологическая схема создания трехмерной художественной карты городской среды рукописно-автоматизированным способом**



1 – план дворца; 2 – фрагмент плана дворца в перспективной проекции; 3 – построение каркаса в Adobe Illustrator; 4 – наполнение фасадов конструктивными элементами; 5 – первичное цветовое оформление; 6 – детализация рисунка

**Рисунок 5 – Последовательность построения 3D-изображения Несвижского дворца по совмещенной рукописно-автоматизированной методике**

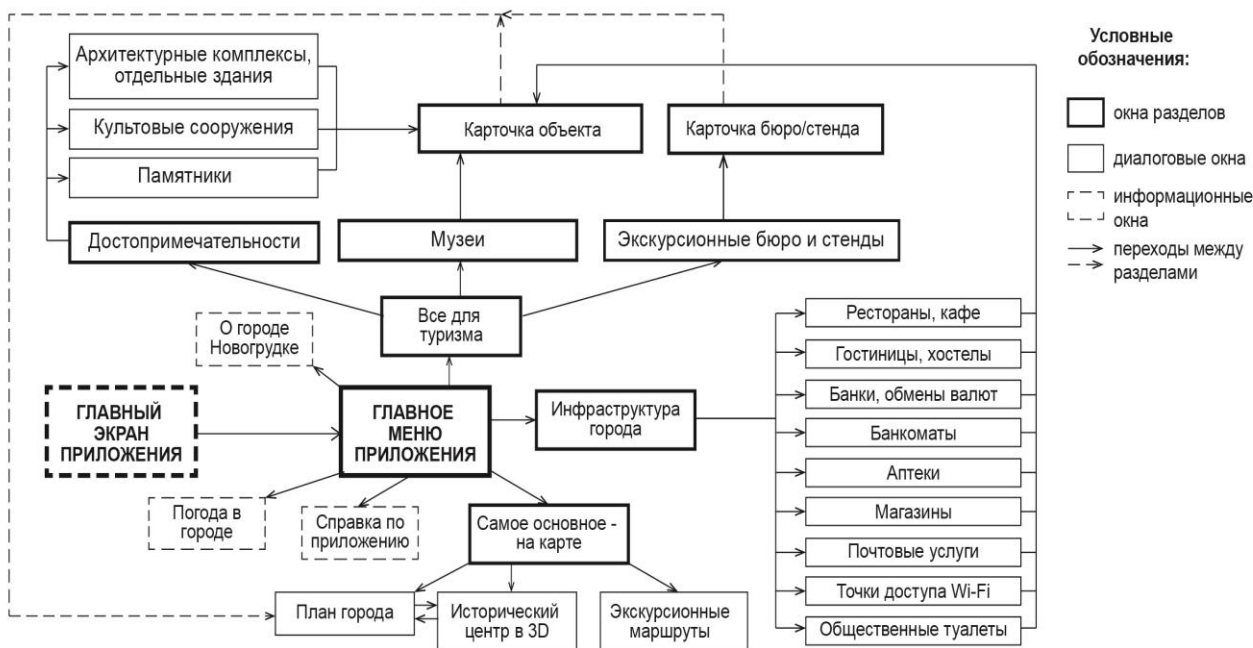
Предложенная методика ускоряет процесс составления карты-панорамы, по сравнению с исключительно рукописным способом. Кроме этого, анализ различных программных продуктов показал, что совместное использование графических редакторов (векторных и растровых) и приемов изобразительного искусства позволяет сделать картографическое изображение более красочным, выразительным и эргономичным, особенно для неподготовленного пользователя. Это достигается искусственным увеличением изображения основных достопримечательностей, что способствует их зрительному выделению на фоне прочих сооружений; расширением основных дорог с целью размещения пояснительных подписей; незначительным смещением зданий относительно друг друга для исключения нежелательных перекрытий разноудаленных объектов; красочным оформлением карты-панорамы с использованием естественных оттенков цветов (акварельных красок).

На примере города Несвижа также представлена технология обновления (актуализации содержания) карт-панорам, включающая рукописное вычерчивание отдельных сооружений, построение элементов в графических редакторах, последующее совмещение рисунков с исходным изображением.

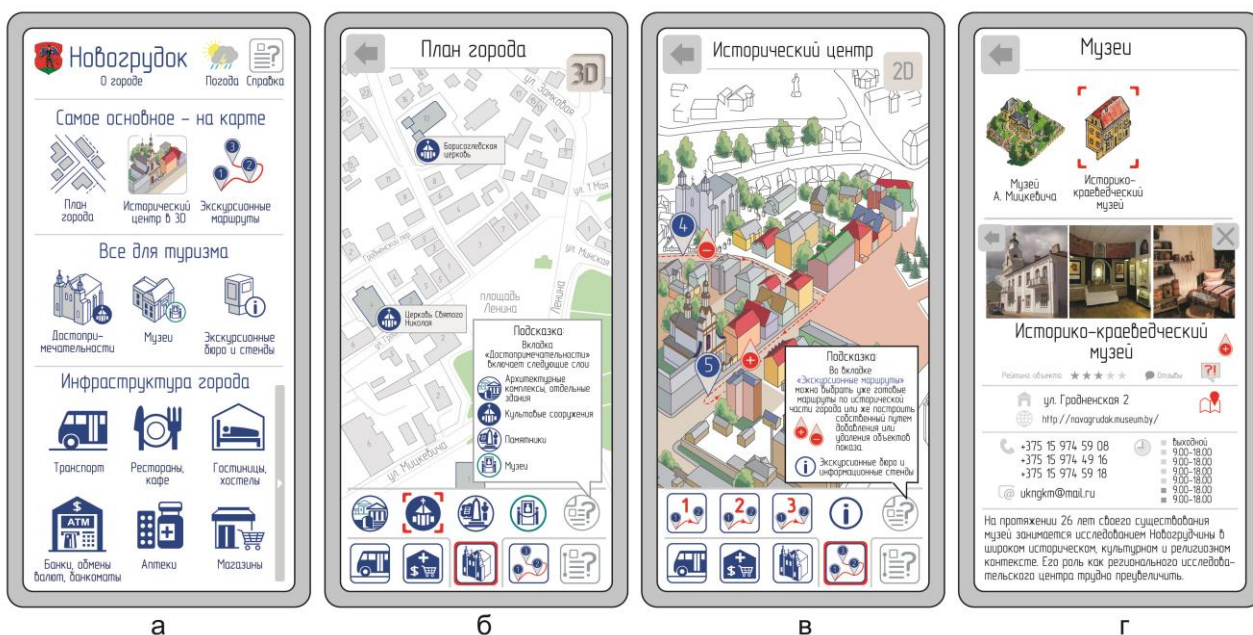
**В пятой главе «Современные и перспективные способы использования трехмерных картографических изображений» проанализирована роль 3D-изображений в современной практической картографии, спроектирована информационная структура и дизайн-макет картографического веб-приложения на примере г. Новогрудка.**

Наиболее популярными в массах, перспективными и динамично развивающимися направлениями сегодня являются навигационная, мобильная, веб-картография и др. Некоторые геоинформационные справочные системы, включающие подробную карту города, информацию о фирмах и компаниях, также содержат элементы трехмерной графики (например, приложение 2GIS).

В главе обобщены особенности разработки картографического веб-приложения: отсутствие универсальных языков и интерфейсов для различных мобильных платформ, наличие нескольких вариантов реализации (веб-сайт, адаптированный под мобильные устройства; «нативное» приложение на основе конкретного языка программирования; совместное использование веб-технологий, веб-браузера и программной оболочки устройства). Отмечен наиболее рациональный вариант для включения картографического изображения в веб-приложение – комбинирование векторных и растровых форматов, обеспечивающее оптимальную производительность и функциональность ресурса. Спроектирована навигационная структура и предложен дизайн-макет картографического веб-приложения на примере туристской инфраструктуры города Новогрудка (рисунок 6, рисунок 7).



**Рисунок 6 – Упрощенная схема-макет навигационной структуры веб-приложения туристской инфраструктуры города Новогрудка**



**Рисунок 7 – Экраны картографического веб-приложения: главное меню (а), план города (б), фрагмент 3D-карты исторического центра (в), карточка объекта (г)**

В разработанном дизайн-макете карта-панорама представляет собой векторный рисунок без детализации зданий, но с сохранением их общего цветового оформления. Такое трехмерное изображение обладает более высокой наглядностью по сравнению с планом города или каркасным отображением сооружений, но при этом небольшим размером ввиду особенностей построения векторного изображения.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации:

1. Совершенствование теоретических аспектов и практических подходов в области трехмерного художественного картографирования городской среды осуществлялось на основе базовой содержательной модели объектов картографирования и разработанной классификации 3D-изображений, имеющих научную и практическую значимость при построении трехмерных картографических изображений. Обоснованные оптимальные условия трехмерно-иллюзорного представления городов (постоянная высота точки наблюдения, проецирование параллельными лучами под углом  $60^\circ$  к картинной плоскости, использование принципов линейной и воздушной перспектив) улучшают методику создания трехмерного художественного изображения [2–А, 4–А, 10–А, 13–А].

2. Совмещенная рукописно-автоматизированная методика создания и обновления трехмерных художественных карт-панорам городов-музеев Беларуси, основанная на принципах построения перспективного изображения применительно к городской среде, имеет ряд преимуществ по сравнению с рукописным и автоматизированным способами составления карт, применяемыми по-отдельности. Она предполагает сокращение технологического цикла за счет универсальных библиотек знаков, текстур и цветов; экономию затраченного времени; существенное сокращение ручного труда посредством использования графических редакторов. Соотношение объемов работ, выполненных рукописным и автоматизированным способами, зависит от масштаба создаваемой карты-панорамы, ее назначения, тематики и др. [1–А–7–А, 9–А, 11–А, 12–А, 15–А, 16–А].

3. Разработанная авторская технология создания трехмерной художественной карты-панорамы, осуществленная на основе совмещенной рукописно-автоматизированной методики, включает четыре уровня визуализации 3D-изображения, представляющие собой поэтапный переход от двухмерного представления к трехмерному (трансформирование плана в перспективную проекцию, получение третьего измерения, детализация изображения и цветовое оформление с использованием разработанных библиотек конструктивных элементов, цветов и текстур). Технология апробирована при создании трехмерной художественной карты-панорамы Несвижского дворцово-паркового комплекса [1–А–6–А, 8–А, 11–А, 12–А, 15–А, 16–А].

4. Картографические веб-приложения являются современным и перспективным направлением цифровизации сферы туризма. На примере г. Новогрудка спроектирована навигационная структура картографического электронного ресурса. Графической основой для его технической реализации выступает дизайн-макет, где, наряду с планом местности, целесообразно использовать и трехмерные художественные карты [1–А, 2–А, 14–А, 16–А].

## **Рекомендации по практическому использованию результатов:**

1. Разработанная совмещенная (рукописно-автоматизированная) методика построения трехмерных художественных картографических изображений является научно обоснованной, прошла апробацию и может служить основой при составлении карт и блок-диаграмм, включающих живописно-художественные элементы содержания и оформления (1) «Создание 3-d изображения Несвижского замка и парка по совмещенной (рукописно-автоматизированной) технологии», акт внедрения в производственную деятельность издательства «Квадрограф» от 09.02.2017; 2) «Создание 3D-карты по совмещенной (рукописно-автоматизированной) технологии», акт внедрения в производственную деятельность Фонда «АНИВ» г. Москва от 11.04.2018).

2. Художественные трехмерные изображения городов, созданные по совмещенной методике, являются новым видом картографической продукции. (1) карта-панорама города Заславля, выполненная по совмещенной рукописно-автоматизированной методике, акт внедрения в производственную деятельность ГУ «Историко-культурный музей-заповедник «Заславль» от 01.12.2022; 2) панорама Мира и разрез Мирского замка, акт внедрения в производственную деятельность учреждения «Музей «Замковый комплекс «Мир» от 20.12.2022; 3) «Рисованное изображение центральной части города Минска («Панорама Минска»)), акт внедрения в производственную деятельность ГП «Минский метрополитен» от 22.12.2022).

3. Принципы и этапы визуализации с применением графических редакторов, представленные в рамках методики, используются в образовательном процессе кафедры геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики БГУ при преподавании учебной дисциплины «Компьютерная графика и оформление карт» (акт внедрения в образовательный процесс БГУ от 22.04.2022 № 2.4/123).

4. Историко-культурная классификация городов-музеев Беларуси в соответствии со значимостью их историко-культурного потенциала может быть рекомендована при планировании экскурсионных маршрутов.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

*Статьи в рецензируемых научных изданиях, соответствующих п. 19  
Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий*

1–А. Атоян Л., Герман А. О методике построения и компьютерного дизайна трехмерного картографического изображения // Земля Беларуси. – 2015. – № 4. – С. 36–40.

2–А. Герман А.Р., Атоян Л.В. Автоматизированный способ получения живописного трехмерного картографического изображения // Журнал Белорусского государственного университета: География. Геология. – 2017. – № 2. – С. 114–123.

3–А. Атоян Р., Герман А. Отображение растительности на картах. Обзор исторических и разработка современных автоматизированных способов художественного изображения элементов растительного покрова // Земля Беларуси. – 2017. – № 4. – С. 42–48.

4–А. Atoyan R., German A. New Technologies in 3-D Mapping // Bulletin of Geography. Physical Geography Series. – 2017. – Vol. 12. – P. 31–40.

### *Материалы конференций*

5–А. Атоян Л.В., Атоян Р.В., Герман А.Р. Компьютерный дизайн живописного картографического изображения // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 12-й Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 29–31 мая 2014 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2014. – Т. 3. – С. 58.

6–А. Герман А.Р. Технические аспекты обновления 3D-карты города Несвижа // Молодежь в науке – 2014 : материалы XI Междунар. науч. конф., Минск, 18–21 ноября 2014 г. / Национальная академия наук Беларуси; [Электронное издание]. – Минск, 2014. – С. 278.

7–А. Герман А.Р. Автоматизированное обновление трехмерных карт городского ландшафта // Географы в годы войны и мира : материалы Междунар. науч.-практ. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках XI Большого географического фестиваля, Санкт-Петербург, 9–12 апреля 2015 г. / Санкт-Петербургск. гос. ун-т; редкол.: С.С. Лачининский [и др.] [Электронное издание]. – СПб, 2015. – С. 437–440.

8–А. Герман А.Р., Атоян Л.В. 3D-карты городов. История и перспективы их создания // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 14-й Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 29–30 мая 2016 г.: в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б. М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2016. – Т. 3. – С. 191.

9–А. Герман А.Р. Способы и приемы наглядного отображения элементов растительного покрова на картах // Геодезия, картография, кадастр, ГИС – проблемы и перспективы развития : материалы Междунар. науч.-техн. конф.,

Новополоцк, 9–10 июня 2016 г. : в 2 ч. / Полоцк. гос. ун-т; редкол.: Г.А. Шароглазова [и др.]. – Новополоцк, 2016. – Ч. 2. – С. 3–8.

10–А. Атоян Л.В., Герман А.Р. Способы картографирования историко-архитектурных памятников Беларуси // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 15-й Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26–28 января 2017 г.: в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б. М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2017. – Т. 3. – С. 268.

11–А. Герман А.Р. Эффективность использования материалов дистанционного зондирования Земли и графических редакторов при создании 3D-карты города Слуцка // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 16-й Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 25 января 2018 г.: в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: С.В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2018. – Т. 1. – С. 438.

12–А. Герман А.Р. Техничко-графические возможности использования программы Adobe Illustrator при создании 3D-изображений городского ландшафта // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 17-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24–25 января 2019 г. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: С.Е. Кравченко [и др.]. – Минск, 2019. – С. 98.

13–А. Герман А.Р. Отображение элементов архитектурных форм при создании перспективных картографических изображений // Геоматика: образование, теория и практика: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–22 ноября 2019 г. / БГУ; редкол.: А.П. Романкевич [и др.]. – Минск, 2019. – С. 43–46.

14–А. Герман А.Р. Художественная 3D карта города Минска: история и перспективы использования // XVI Международный Большой географический фестиваль : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 3–5 апреля 2020 г. / Санкт-Петербургск. гос. ун-т; редкол.: А.И. Краснов [и др.] [Электронное издание]. – СПбГУ, 2020. – С. 713–717.

#### *Тезисы докладов*

15–А. Герман А.Р. Картографические панорамы городов: новые аспекты их создания // Национальная картографическая конференция – 2018 : тезисы докладов Всероссийской науч. конф., Москва, 16–19 октября 2018 г. / Географический факультет МГУ; редкол.: И.К. Лурье [и др.]. – М.: 2018. – С. 23–24.

16–А. German A. 3D art cartography in Belarus: The historical development and achievements in the modern period // Abstracts of the International Cartographic Conference, 15–20 July 2019 [Electronic resource]. – Vol. 1. – ICA, Tokyo, 2019. – Mode of access: <https://www.abstr-int-cartogr-assoc.net/1/94/2019/>

## РЕЗЮМЕ

Герман Анна Рубеновна

### **Трехмерное художественное картографирование городов-музеев Беларуси для информационного обеспечения туристической индустрии**

*Ключевые слова:* город-музей, историко-культурный потенциал, художественная картография, карты-панорамы, библиотеки знаков, текстур и цветов, совмещенная рукописно-автоматизированная методика и технология, веб-приложение.

*Объект исследования:* малые и средние города-музеи Республики Беларусь.

*Цель исследования:* создание трехмерных художественных картографических изображений городов-музеев Беларуси посредством использования современных информационных технологий для картографического сопровождения туристической индустрии.

*Методы исследования:* системный подход, картографический, сравнительный, синтеза.

*Полученные результаты и их научная новизна:* усовершенствованы теоретические основы трехмерного художественного картографирования; предложена классификация 3D-изображений на основе базовой содержательной модели объектов картографирования, оптимальные условия картографирования городской среды. Разработаны совмещенная рукописно-автоматизированная методика и технология создания и обновления трехмерных художественных карт-панорам городов-музеев. Проанализированы сферы применения трехмерных картографических изображений, спроектирована навигационная структура и разработан дизайн-макет картографического веб-приложения.

*Рекомендации по использованию:* разработанные совмещенная методика и технология могут быть использованы при создании карт, включающих живописно-художественные элементы содержания и оформления.

*Степень использования:* теоретические положения и практические результаты работы внедрены в технологический процесс картоиздательского дела при создании карт-панорам городов и 3D-изображений отдельных архитектурных памятников и парковых зон, используются в образовательном процессе.

*Область применения:* художественная картография, проектирование и составление карт-панорам, туризм, экскурсионный менеджмент.

## РЭЗІЮМЭ

Герман Ганна Рубенаўна

### **Трохмернае мастацкае картаграфаванне гарадоў-музеяў Беларусі для інфармацыйнага забеспячэння турыстычнай індустрыі**

*Ключавыя словы:* горад-музей, гісторыка-культурны патэнцыял, мастацкая картаграфія, карты-панарамы, бібліятэкі знакаў, тэкстур і каляроў, сумешчаная рукапісна-аўтаматызаваная методыка і тэхналогія, вэб-прыкладанне.

*Аб'ект даследавання:* малыя і сярэднія гарады-музеі Рэспублікі Беларусь.

*Мэта работы:* стварэнне трохмерных мастацкіх картаграфічных малюнкаў гарадоў-музеяў Беларусі праз выкарыстанне сучасных інфармацыйных тэхналогій для картаграфічнага суправаджэння турыстычнай індустрыі.

*Метады даследавання:* сістэмны падыход, картаграфічны, параўнальны, сінтэзу.

*Атрыманыя вынікі і іх навуковая навізна:* удасканалены тэарэтычныя асновы трохмернага мастацкага картаграфавання; прапанавана класіфікацыя 3D-малюнкаў на аснове базавай змястоўнай мадэлі аб'ектаў картаграфавання, аптымальныя ўмовы картаграфавання гарадскога асяроддзя. Распрацаваны сумешчаная рукапісна-аўтаматызаваная методыка і тэхналогія стварэння і абнаўлення трохмерных мастацкіх карт-панарам гарадоў-музеяў. Прааналізаваны сферы прымянення трохмерных картаграфічных малюнкаў, спраектавана навігацыйная структура і распрацаваны дызайн-макет картаграфічнага вэб-прыкладання.

*Рэкамендацыі па выкарыстанні:* распрацаваныя сумешчаная методыка і тэхналогія могуць быць выкарыстаны пры стварэнні карт, якія ўключаюць маляўніча-мастацкія элементы зместу і афармлення.

*Ступень выкарыстання:* тэарэтычныя палажэнні і практычныя вынікі працы выкарыстоўваюцца ў тэхналагічным працэсе картавыдавецкай справы пры стварэнні карт-панарам гарадоў і 3D-малюнкаў асобных архітэктурных помнікаў і паркавых зон, выкарыстоўваюцца ў навучальным працэсе.

*Галіна ужывання:* мастацкая картаграфія, праектаванне і складанне карт-панарам, турызм, экскурсійны менеджмент.

## SUMMARY

German Anna

### **Three-dimensional artistic mapping of Belarusian cities-museums for information support of the tourism industry**

*Keywords:* city-museum, historical and cultural potential, art cartography, panoramic maps, libraries of symbols, textures and colors, combined handwritten-automated methodology and technology, web application.

*Object of the research:* small and medium-sized cities-museums of the Republic of Belarus.

*Objectives of the research:* creation of three-dimensional artistic cartographic images of the cities-museums of Belarus via modern information technologies for cartographic support of the tourism industry.

*Research methods:* system approach, cartographic, comparative, synthesis.

*The results and scientific novelty:* the theoretical foundations of three-dimensional artistic mapping have been improved; a classification of 3D-images based on the basic content model of mapping objects, optimal conditions for mapping of the urban environment are proposed. A combined handwritten-automated methodology and technology for creating and updating three-dimensional art maps-panoramas of cities-museums have been developed. The spheres of application of three-dimensional cartographic images are analyzed, the navigation structure is designed and the design layout of the cartographic web application is developed.

*Recommendations for use:* the developed combined methodology and technology can be used to create maps that include pictorial and artistic elements of content and design.

*Degree of use:* theoretical thesis and practical results of the work are introduced into the technological process of the map publishing in the sphere of creating panoramic maps of cities and 3D-images of individual architectural monuments and park areas, are used in the educational process.

*Application fields:* art cartography, design and compilation of panoramic maps, tourism, excursion management.

