

На правах рукописи

Батырова Каршия Сериковна



Разработка методики создания и использования
картографической продукции с элементами дополненной реальности

1.6.20. Геоинформатика, картография

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Новосибирск – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Пошивайло Ярослава Георгиевна.

Официальные оппоненты:

Ступин Владимир Павлович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии.

Крылов Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии», доцент кафедры картографии.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (г. Санкт-Петербург).

Защита диссертации состоится 16 декабря 2025 г. в 15-00 на заседании диссертационного совета 24.2.402.02 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий».

<https://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/batyrova-karshiya-serikovna/>

Автореферат разослан 30 октября 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Дубровский Алексей Викторович

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 09.10.2025. Формат 60 × 84 1/16.

Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 123.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время геоинформатика и картография находятся на новом витке своего развития благодаря использованию «сквозных» цифровых технологий, основанных на достижениях 4-й промышленной революции. К таким новейшим технологиям относят: искусственный интеллект, интернет вещей, большие данные, иммерсивные технологии, машинное обучение, аддитивные технологии и др. Наряду с этим наблюдается тенденция расширения спектра решаемых задач, рост объемов и тиражей, востребованности аналоговых (на бумаге или пластике) карт.

Существуют отрасли, функционирование которых подразумевает широкое использование аналоговых карт, например, пожарная служба и МЧС, лесная отрасль, туризм, строительство, военное дело, образование и т. д. При этом аналоговые карты имеют существенные ограничения их использования, обусловленные в первую очередь лимитом их информационной ёмкости, большим интервалом между их обновлениями и др. Устранить указанные и другие недостатки можно путем внедрения современных цифровых технологий, одной из которых является дополненная реальность.

Дополненная реальность – одна из перспективных на сегодняшний день технологий для картографии, с помощью которой можно расширить возможности визуализации, обновить и дополнить информацию, содержащуюся на аналоговой карте и придать ей новый функционал, используя смартфоны, планшеты и другие электронные устройства.

Актуальность исследования обусловлена следующими факторами:

– необходимостью снижения влияний известных ограничений аналоговой карты, таких как инвариантность структурных элементов, отсутствие интерактивности, ограниченная информативность, двумерность и др. на ее использование;

– потребностью в разработке новых методов визуализации пространственной информации, направленных на упрощение восприятия карты широким кругом пользователей;

– необходимостью разработки научно-методических решений по реализации методов дополненной реальности в комплексе с аналоговой картой.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что на сегодняшний день необходима разработка научно-методического обоснования применения технологии дополненной реальности для расширений функционала аналоговых карт, что позволит отобразить дополнительную информацию на мобильных устройствах, связанных с картами, обеспечивая пользователей новыми интерактивными возможностями.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в развитие цифровой картографии, геоинформационного картографирования внесли отечественные ученые: Берлянт А. М., Бешенцев А. Н., Карпик А. П., Колесников А. А., Крылов С. А., Лисицкий Д. В., Лурье И. К., Майоров А. А., Матерухин А. В., Николаева О. Н., Присяжнюк С. П., Пьянков С. В., Савиных В. П., Самсонов Т. Е., Ступин В. П., Тикуннов В. С., Хлебникова Т. А., Цветков В. Я. и зарубежные исследователи: Alehiya V., Chandra A. M., Coulson M. R., Huang C. Y., Lakhanpal S., Mohammad K., Pol S., в области мультимедийных и иммерсивных технологий – Добрынин А. П., Azuma R. T., Chen G., Chen S., Chen Y., Dong H., Kraak J., Landa M., Ma C., Ormeling F., Pavelka K. Jr., Qi Y., Zhang C.

Цель научного исследования – разработка методики создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности.

Задачи исследования:

– выполнить анализ и систематизацию существующих методических приемов, технических средств и технологий дополненной реальности и их применимости в картографии;

– обосновать аналого-цифровой картографический комплекс дополненной реальности как средство создания и использования картографической продукции

с элементами дополненной реальности и предложить критерии для выбора его компонентов;

– разработать методические решения по созданию и использованию картографической продукции с элементами дополненной реальности;

– в рамках апробации разработанной методики выполнить прототипирование мобильных приложений дополненной реальности и произвести оценку полученных результатов исследования.

Объект исследования – иммерсивные технологии представления геопространственных данных.

Предмет исследования – методика создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности.

Научная новизна диссертационной работы:

– предложен и обоснован аналого-цифровой картографический комплекс дополненной реальности (АЦКДР) как средство создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности и разработаны критерии для выбора его компонентов;

– разработаны алгоритм обработки пространственных данных для последующего использования их в качестве маркера ДР и алгоритм воспроизведения пространственных данных в мобильном приложении ДР;

– разработана методика создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности.

Теоретическая значимость работы. Исследования вносят вклад в развитие теории создания виртуальных геоизображений на основе пространственных данных, заключающийся в разработке научно обоснованных методических решений, обеспечивающих усовершенствование процессов аналого-цифрового картографирования посредством применения технологий ДР.

Практическая значимость работы. Разработанная методика может быть использована в различных сферах деятельности, где применяется аналоговая картографическая продукция для ее виртуального обновления, а также расширения содержания и функционала.

Методология и методы исследования. При проведении диссертационного исследования использовались базовые понятия и применены методы цифровой картографии, системный подход, методы картографического и геоинформационного анализа, методы сбора и обработки информации, методы компьютерной графики, алгоритмизации, моделирования, метод картографического исследования. Экспериментальная часть работы проводилась с использованием геоинформационной системы Next GIS, программного обеспечения трехмерной графики Blender, набора средств разработки для трекинга Vuforia Engine (Vuforia) и средства разработки приложений ДР Unity Engine. Применен экспериментальный метод. Проведен анкетный онлайн-опрос респондентов методом их случайного отбора.

В работе использовались аналоговые и цифровые карты и атласы, изданные в разное время; литературные и статистические источники и другие материалы (видеосюжеты, музыка, звуковые эффекты среды обитания, фотографии, рисунки, графики и т.п.), в том числе из сети Интернет; современные учебные программы по курсам высшей школы; результаты экспериментальной работы в Сибирском государственном университете геосистем и технологий.

Положения, выносимые на защиту:

- новый вид средства создания и использования картографической продукции – аналого-цифровой картографический комплекс дополненной реальности (АЦКДР), представляющий собой комплекс взаимосвязанных элементов: аналоговой карты, программно-аппаратных средств разработки дополненной реальности, мобильного приложения дополненной реальности и мобильного устройства, позволяет усовершенствовать способы визуализации геопространственных данных в виде объектов дополненной реальности, повысить интерактивность процесса взаимодействия с аналоговыми картами и объем получаемой информации;
- количественные и качественные критерии для выбора компонентов АЦКДР повышают корректность отображаемых геоданных при их визуализации как объектов дополненной реальности, унифицируют процесс отбора компонентов АЦКДР, исключая субъективность оценок;

– разработанная методика создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности позволяет реализовывать технологию ДР при аналого-цифровом картографировании с учетом вариативности технических условий.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Тематика соответствует следующей области исследования: 12 – Методы и технологии визуализации пространственных данных. Создание анимационных, виртуальных геоизображений и других мультимедийных продуктов на основе пространственных данных. Геоинформационное картографирование паспорта научной специальности 1.6.20. Геоинформатика, картография, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России, по техническим наукам.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались, обсуждались и получили положительный отклик на Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» (2021–2025 гг., СГУГиТ, г. Новосибирск); научно-методической конференции с международным участием «Актуальные вопросы образования. Трансформация системы высшего образования в новом технологическом укладе» (2023–2025 гг., СГУГиТ, г. Новосибирск); международной конференции «Инновации в технологиях и образовании» (2024 г., в филиале Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева, г. Белово); молодежной научно-практической конференции «Инженерная графика и трехмерное моделирование» (2024 г., СГУГиТ, г. Новосибирск), научно-практической конференции «Технологии дополненной и виртуальной реальности» (2025 г., МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва).

Результаты исследования внедрены в учебный процесс федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» при преподавании дисциплины «Цифровые технологии визуализации пространственных

данных», а также в производственный процесс филиала ППК «Роскадастр» «Балтийское АГП».

Публикации по теме диссертации. Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в 14 публикациях, 4 из которых – в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук; 1 – свидетельство о регистрации программ для электронных вычислительных машин.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 130 страниц машинописного текста. Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка литературы, содержит 11 таблиц, 26 рисунков, 6 приложений. Список литературы включает 153 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы ее цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, приведены сведения о достоверности и апробации полученных результатов, а также структура диссертации.

В первом разделе диссертации выполнен анализ современного состояния цифровой картографии и геоинформационного картографирования, развития и становления технологии дополненной реальности в целом и в картографической отрасли, в частности. Определены методические приемы дополненной реальности с подразделением по способу определения объекта (точки) привязки для использования их в картографии (рисунок 1).

При изучении отечественных и зарубежных источников автором сформулировано обобщающее определение: «дополненная реальность – это программно-аппаратный механизм, совмещающий слой виртуальной реальности с физическим окружением и/или объектом в реальном времени при помощи ЭВМ, при этом дополняющая информация может быть представлена в виде текста, изображения, видео,

звуча, трехмерных объектов». В выполненном исследовании в качестве физического объекта принята аналоговая карта.



Рисунок 1 – Методические приемы применения технологий ДР в картографии с подразделением по способу определения объекта (точки) привязки

Проанализированы технологии и платформы разработки элементов дополненной реальности, применяемые при составлении карт, выявлены их особенности, достоинства и недостатки, определены минимальные системные требования к техническим характеристикам устройства, реализующего функции дополненной реальности в специализированном ПО.

На основании проведенного анализа сделан вывод о том, что внедрение технологий дополненной реальности в картографии может в значительной степени решить проблему ограничения информационной емкости аналоговых карт и улучшить читаемость карты за счет новых визуальных эффектов.

Во втором разделе диссертации сделан вывод о том, что не существует установленных технологий при реализации описанных в первом разделе методических приемов, при этом используются разнородные аппаратно-программные средства.

Предложена классификация аппаратных и программных средств, которые могут использоваться для реализации технологий дополненной реальности для целей картографии, представленная в виде схемы (рисунок 2).



Рисунок 2 – Классификация аппаратно-программных средств, применяемых при реализации технологий ДР в картографии

Результаты классификации аппаратно-программных средств дополненной реальности, применяемых в картографии, легли в основу проектирования состава АЦКДР. Группируя выделенные классы объектов по их функциям, свойствам и назначению, произведено их обобщение в компоненты АЦКДР (таблица 1).

АЦКДР включает четыре компонента: аналоговая карта, мобильное устройство, программно-аппаратные средства разработки ДР, приложение ДР (рисунок 3).



Рисунок 3 – Схема компонентов АЦКДР

Таблица 1 – Критерии выбора компонентов для включения в АЦКДР

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ	КАЧЕСТВЕННЫЕ
Аналоговая карта	
Коэффициент контрастности картографического изображения не менее 4,5	Физическая сохранность (экспертная оценка от 1 до 5; где 1 – критическое состояние, а 5 – отличное)
Мобильное устройство	
<ul style="list-style-type: none"> – объем оперативной памяти не менее 1 Гб; – производительность процессора не менее 1,2 ГГц; – внутренняя память не менее 16 ГБ 	<ul style="list-style-type: none"> – наличие сенсорного экрана; – наличие камеры; – наличие Wi-Fi, 2G/3G (либо 3G/4G); – возможность установки ПО; – поддержка карт памяти; – согласованность типа и версии ОС с инструментами разработки мобильного приложения
Программно-аппаратные средства разработки дополненной реальности	
<p>Требования к программе разработки:</p> <ul style="list-style-type: none"> – версия программы Unity Engine 2021.3.14f1 и выше. <p>Требования к ПК:</p> <ul style="list-style-type: none"> – процессор: многоядерный Intel или AMD с поддержкой набора инструкций SSE; – видеокарта: с поддержкой DX10, DX11, или DX12; – операционная система: Windows 7 (SP1+) / 10 64-разрядная. <p>Требования к ГИС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – версия программы QGIS 3.24 и выше 	<p>Требования к программе разработки:</p> <ul style="list-style-type: none"> – наличие функции конвертации пользовательских фотографий/изображений для использования в качестве метки; – наличие встроенной библиотеки меток; – возможность загрузки трехмерных моделей, созданных в сторонних программах; – возможность работы без доступа к сети Интернет. <p>Требования к ПК:</p> <ul style="list-style-type: none"> – подключение к интернету для скачивания обновлений и ресурсов; – звуковое оборудование для работы с аудиоэффектами; – возможность подключения внешних устройств (например, VR/AR гарнитур) для тестирования. <p>Требования к ГИС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – конвертация пространственной информации в растровые форматы; – разбивка на листы; – генерация цифровой модели рельефа и преобразование данных GeoTIFF в 3D-объекты
Мобильное приложение	
<ul style="list-style-type: none"> – время отклика 60 fps и более; – скорость распознавания метки до 5 с; – доля видимой части метки для продолжения распознавания 70 процентов 	<ul style="list-style-type: none"> – наличие функции отслеживания пользовательских меток; – возможность загрузки и отображения трехмерных моделей; – наличие встроенных алгоритмов распознавания поверхностей, отслеживание положения; – возможность доступа к внешним ресурсам сети Интернет

Определены три уровня функциональности мобильного приложения дополненной реальности: минимальный, базовый, профессиональный (таблица 2).

Таблица 2 – Уровни функциональности мобильного приложения дополненной реальности

<i>Доступные функции</i>	<i>Минимальный</i>	<i>Базовый</i>	<i>Профессиональный</i>
Отображение единичной сцены (двумерный, трехмерный и анимированный контент)	+	+	+
Наличие элементов управления (иконки/сенсорные кнопки), воспроизводимых на основе специальных алгоритмов и запрограммированных скриптов	–	+	+
Подключение к онлайн-сервисам	–	–	+
Возможность производства измерений по карте путем нажатия/касания на экране мобильного устройства	–	–	+

Предлагаются научно обоснованные технические решения, представленные в виде технологической схемы создания мобильного приложения дополненной реальности, проиллюстрированной на рисунках 4 и 5.

Ниже даны этапы технологической схемы.

1 Этап создания технического проекта на разработку мобильного приложения дополненной реальности (МПДР) (см. рисунок 4) начинается с проектирования дополнений к аналоговой карте на основе технического задания на разработку МПДР. При этом определяются целевая аудитория, тематика МПДР, и проводится анализ актуальности аналоговой карты. В результате создается перечень дополнений к аналоговой карте. Далее разрабатывается структура каталога объектов ДР. Для этого производятся поиск и отбор источников информации; выявление изменений, произошедших на территории (при необходимости); формирование структуры каталога объектов.

Далее производится проектирование технического обеспечения для разработки МПДР, состоящее из проектирования функционала МПДР, определения аппаратно-программных требований к МПДР, проектирования дизайна

МПДР, проектирования структуры локального хранилища данных ДР, проектирования связи с внешними хранилищами данных, определения параметров преобразования объектов ГИМ в пространство сцен ДР. Результатом описанных выше процессов является технический проект мобильного приложения дополненной реальности.

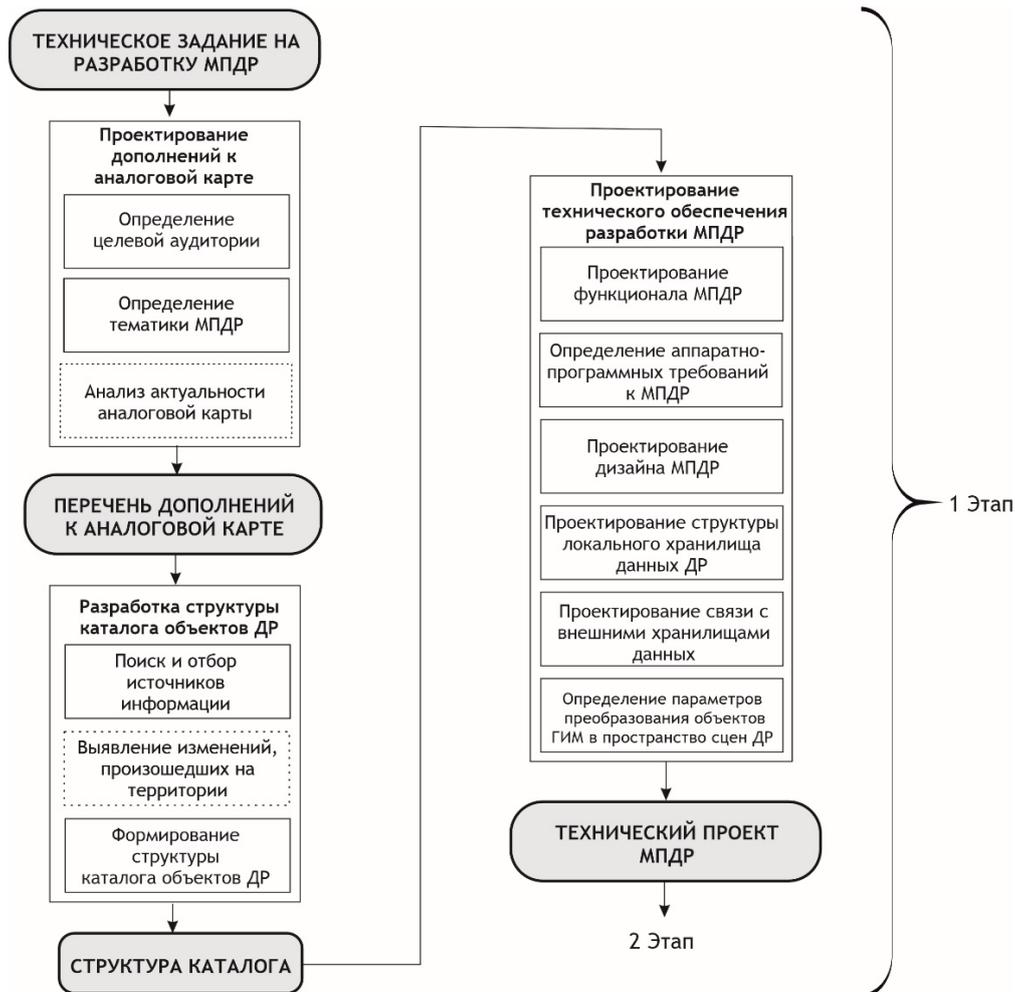


Рисунок 4 – Этап 1 «Создания технического проекта на разработку мобильного приложения дополненной реальности (МПДР)»

2 Этап разработки каталога объектов ДР и программного кода мобильного приложения (рисунок 4)

Выбранная на основе 1-го этапа аналоговая карта преобразуется в электронный вид (сканируется). Затем создается ГИМ ДР, на основе данных локального

и внешнего хранилищ пространственных данных, источником которых становятся Интернет-ресурсы, двумерные и трехмерные условные знаки, а также фото- и видеоматериалы. Далее объекты геоинформационной модели преобразуются в пространство сцен ДР, связанное с настройкой параметров отображения и привязкой функций интерактивности к объектам ДР. Разработка правил отображения объектов ДР в ряде случаев сопровождается добавлением мультимедийной информации. В результате последовательных действий получается каталог объектов дополненной реальности.

Одновременно на основе электронной карты создается проект на платформе разработки, установленной на компьютере, и в нем устанавливается иерархия отображения объектов дополненной реальности. Сначала в проект загружается карта (маркер), а далее настраиваются параметры отображения и привязки функций интерактивности к объектам ДР, непосредственно связанные с авторской картой, и параметры проекта. На данном этапе выполняются компоновка (размещение) данных и привязка графической информации к маркеру, затем производится настройка отображения элементов дополненной реальности в среде разработки. Далее происходит выбор дизайна интерфейса и программирование иконок/сенсорных кнопок. Результатом является программный код мобильного приложения.

3 Этап создания мобильного приложения дополненной реальности (см. рисунок 5).

На основании программного кода мобильного приложения генерируется тестовый установочный файл мобильного приложения. После запуска файла на мобильном устройстве осуществляется проверка работы МПДР, включающая тестирование отображения объектов ДР и работы МПДР.

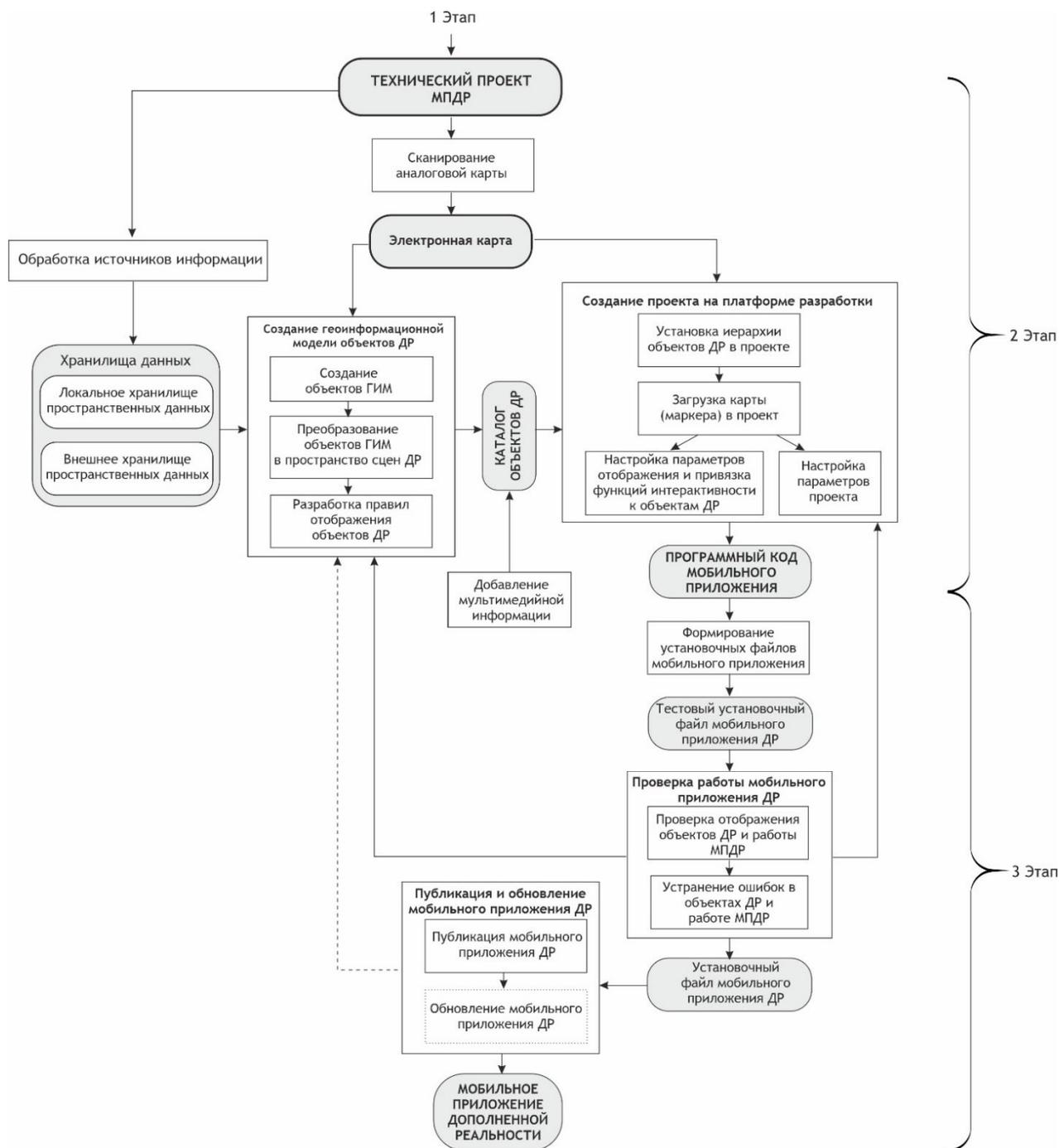


Рисунок 5 – Этап 2 «Разработка каталога объектов ДР и программного кода мобильного приложения», Этап 3 «Создание мобильного приложения ДР»

При выявлении ошибок в процессе тестирования они идентифицируются на предмет того, на каком этапе необходимо их устранить. Если в процессе тестирования не выявлено существенных недостатков, то формируется установочный файл мобильного приложения ДР. Далее он публикуется в сети Интернет для

широкого круга пользователей. Далее, по мере необходимости, производится обновление МПДР.

На основании выполненного исследования разработан алгоритм обработки пространственных данных средствами ГИС для использования в среде разработки приложений ДР, представленный на рисунке 6. В качестве пространственных данных могут служить аэрокосмические снимки, цифровые и электронные карты, цифровые модели рельефа и др.

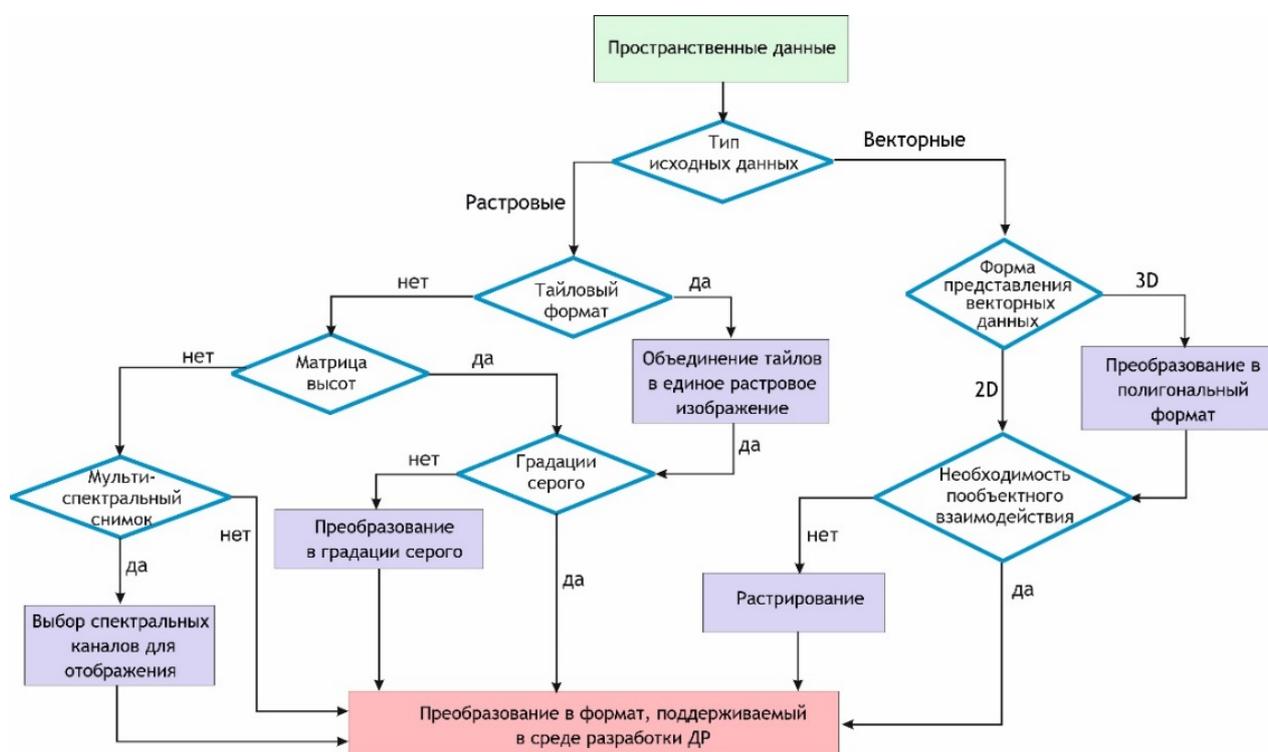


Рисунок 6 – Алгоритм обработки пространственных данных средствами ГИС для использования в среде разработки приложений ДР

Алгоритм воспроизведения пространственных данных в приложении ДР разработан для организации процессов связывания аналоговой картографической информации и объектов ДР (рисунок 7).

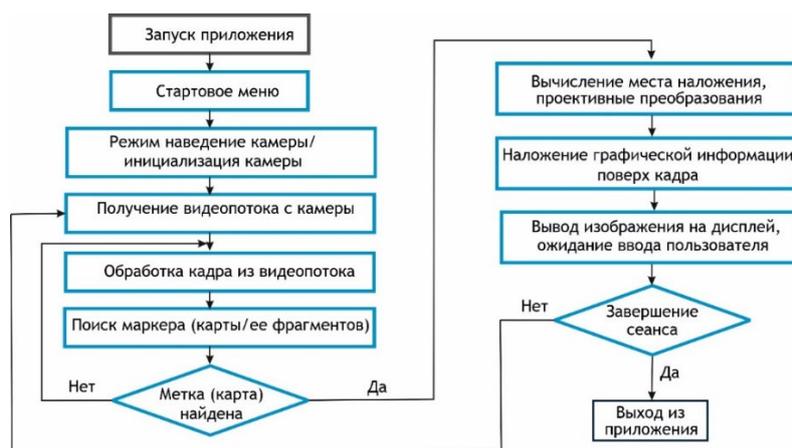


Рисунок 7 – Алгоритм воспроизведения пространственных данных в приложении дополненной реальности

Таким образом, методика создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности включает:

- 1 Количественные и качественные критерии выбора компонентов АЦКДР.
- 2 Технологическую схему создания и использования АЦКДР.
- 3 Алгоритм обработки пространственных данных средствами ГИС для использования в среде разработки приложений ДР.
- 4 Алгоритм воспроизведения пространственных данных в приложении ДР.

Третий раздел диссертации посвящен экспериментальному исследованию, целью которого являлась апробация разработанной методики. В соответствии с разработанными критериями к компонентам АЦКДР были проведены следующие экспериментальные работы:

- выбраны аналоговые карты и их объекты, для использования в качестве маркеров дополненной реальности;
- средствами ГИС и программ 3D-графики выполнено моделирование объектов ДР для дополнения топографической и тематической карт;
- разработан интерфейс мобильных приложений и сценарии их работы для решения задач по топографической и тематической картам;
- разработаны прототипы мобильных приложений дополненной реальности для тематических и топографической карт.

Объектами эксперимента были выбраны:

1 «Калининград. План города в административных границах» масштаба 1 : 20 000.

2 Топографическая карта масштаба 1 : 200 000, Андриюшино.

3 Учебная карта «Политическая карта мира», атлас для 7-го класса.

4 Учебная карта «Размещение населения», атлас для 8-го класса.

5 Цифровая модель объекта ул. Народная г. Новосибирска масштаба 1 : 1 000, а также ортофотоплан данного участка местности.

Прототип МПДР для аналоговой карты «Калининград. План города в административных границах» масштаба 1 : 20 000.

В качестве объектов ДР были использованы разработанные цифровые модели новостроек за период, прошедший после выхода карты. Модели новостроек созданы в ПО трехмерной графики Blender, интегрированные в среду разработки трехмерных интерактивных приложений Unity Engine. Воспроизведение приложения ДР на экране мобильного устройства с визуализацией новых объектов представлено на рисунке 8.



Рисунок 8 – Визуализация новостроек в АЦКДР

Прототип МПДР для топокарты карты «Андриюшино», масштаба 1 : 200 000.

Созданы элементы ДР на основе матрицы высот SRTM, с использованием стандартной библиотеки шаблонов Unity Engine (рисунок 9). Предварительно

проведена обработка ЦМР в Next GIS: выбор необходимого фрагмента матрицы высот, визуализация фрагмента в 2D, построение профиля по заданным точкам.

После наложения маркера на участок карты, соответствующий фрагмент матрицы высот был отсечен по границе и визуализирован в двумерном виде средствами ГИС Next GIS. Далее средствами Unity Engine был создан управляющий элемент в виде кнопки (рисунок 9, б), позволяющий отображать следующий фрагмент (сцену) наполнения мобильного приложения – топографический профиль (рисунок 9, в), который создается вдоль линии, показанной на рисунке 9, а.



Рисунок 9 – Процесс отображения матрицы высот SRTM с переключением на топографический профиль средствами ДР:

а) топографическая карта с маркером; б) отображение матрицы высот в 2D и кнопки переключения между сценами; в) топографический профиль

Прототипы МПДР для учебных карт.

На основе карты «Политическая карта мира» школьного атласа созданы элементы ДР в 3D и 2D. На основе карты «Размещение населения» школьного атласа были визуализированы элементы ДР на основе статистических данных.

Прототипы МПДР для ортофотоплана.

На основе ортофотоплана на участок территории ул. Народная г. Новосибирска масштаба 1 : 1 000 создан прототип МПДР с визуализацией трехмерной модели проектируемого здания.

Использование элементов дополненной реальности представляет собой инновационное направление, которое объединяет традиционную картографию с современными технологиями. По результатам апробации разработанной методики были сформулированы выводы о новых возможностях АЦКДР.

1 *Интерактивное взаимодействие с аналоговой картой.* Через элементы интерфейса приложения дополненной реальности АЦКДР позволяет управлять взаимодействием пользователя с аналоговой картой.

2 *Визуализация на экране электронного устройства актуальной картографической информации.* АЦКДР позволяет актуализировать и дополнять информацию о территории в рамках границ аналоговой карты.

3 *Графическая реализация принципов использования публичного и секретного ключей.* В данном случае аналоговая карта выступает публичным ключом, а мобильное приложение ДР хранит (либо получает извне по закрытым каналам) секретный ключ в виде отображаемых объектов ДР, визуализируемых только в сочетании с определенными маркерами на аналоговой карте.

Эти новые возможности позволяют расширить функционал аналоговых карт и сделать процесс использования картографической информации более интерактивным для пользователей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования была достигнута его цель – разработана методика создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности.

Основные результаты исследования заключаются в следующем:

– выполнена классификация методических приемов, технических средств и технологий дополненной реальности с точки зрения их применимости в картографии, в результате которой сформулирована возможность разработки многокомпонентного картографического комплекса дополненной реальности;

– предложен и обоснован аналого-цифровой картографический комплекс дополненной реальности как средство создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности, включающий аналоговую карту, мобильное устройство, программно-аппаратные средства разработки дополненной реальности и мобильное приложение дополненной реальности. Комплекс позволяет дополнять информацией существующую аналоговую карту, обеспечивает интерактивное взаимодействие пользователя с аналоговой картой, расширяет ее функционал. Разработаны количественные и качественные критерии для выбора компонентов аналого-цифрового картографического комплекса с элементами дополненной реальности;

– разработана методика создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности, включающая в себя технологическую схему создания МПДР, а также алгоритм обработки пространственных данных средствами ГИС, позволяющий подготовить разнородные пространственные данные и преобразовать их в формат, поддерживаемый в среде разработки в качестве маркера, и алгоритм воспроизведения пространственных данных в приложении дополненной реальности, позволяющий распознать карту или ее элемент как маркер ДР и визуализировать элементы ДР;

– результатом апробации предложенных методических и технологических решений стало разработанное специализированное программное обеспечение для мобильного устройства для использования в комплексе с аналоговой картой и реализующее технологию ДР – прототипы мобильных приложений дополненной реальности для тематических и топографической карт.

Результаты диссертационного исследования рекомендуются к использованию в области геоинформатики, картографии и в других областях науки и производства, требующих визуализацию картографической информации на аналоговых картах путем применения технологии дополненной реальности. Также АЦКДР является средством виртуального обновления картографической продукции.

Перспективы дальнейших исследований по данной тематике заключаются в проектировании и реализации специализированных отечественных ГИС, поддерживающих реализацию иммерсивной визуализации в геоинформационных системах. Это приведет к существенному улучшению методов и техник ГИС за счет возможности визуализации большого объема данных, обновления картографических материалов в режиме реального времени.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Батырова, К. С. История дополненной реальности и перспективы ее применения в картографии. / К. С. Батырова, Я. Г. Пошивайло. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 5. – С. 99–107. – DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-5-99-107.

2 Пошивайло, Я. Г. Анализ и систематизация технических средств и технологий дополненной реальности в картографии / Я. Г. Пошивайло, К. С. Батырова. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, № 3. – С. 154–162. – DOI 10.18799/24131830/2024/3/4237.

3 Батырова, К. С. Методика расширения содержания и функционала аналоговых карт с применением технологии дополненной реальности / К. С. Батырова. – Текст : непосредственный. // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30. – № 1. – С. 88–95. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-88-95.

4 Разработка аналого-цифровой картографической продукции с применением технологии дополненной реальности / Я. Г. Пошивайло, Ю. Н. Андрюхина, К. С. Батырова, А. В. Пономарев. – Текст : непосредственный // Информация и космос. – 2025. – № 2. – С. 137–146.

5 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025665390 Программа визуализации профиля рельефа на основе данных дистанционного зондирования Земли с применением иммерсивных технологий:

№ 2025661897/69 : заявл. 15.05.2025 : опубл. 17.06.2025 / Я. Г. Пошивайло, К. С. Батырова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий». – Текст : электронный.

6 Батырова, К. С. Технология дополненной реальности как инструмент для гибридных форматов обучения в высших учебных заведениях / К. С. Батырова, Я. Г. Пошивайло. – Текст : непосредственный. // Актуальные вопросы образования. Формирование механизмов системы высшего образования в России : сборник материалов Национальной научно-методической конференции с международным участием, 14–16 марта 2023 года, Новосибирск. В 3 ч. Ч. 3. – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. – С. 12–16.

7 Батырова, К. С. Разработка картографического AR-приложения: основные этапы и возникающие проблемы / К. С. Батырова, Я. Г. Пошивайло. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс, 17–19 мая 2023 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. № 2. – С. 111–116. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-2-111-116.

8 Батырова, К. С. Технология дополненной реальности и ее роль в устойчивом развитии территории / К. С. Батырова, О. В. Федорова. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс, 15–17 мая 2024 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – С. 194–201. – DOI 10.33764/2618-981X-2024-1-194-201.

9 Батырова, К. С. Использование технологии дополненной реальности в высшей школе / К. С. Батырова. – Текст : непосредственный. // Актуальные вопросы образования. Трансформация системы высшего образования в новом технологическом укладе : сборник материалов Национальной научно-методической конференции с международным участием, 19–21 марта 2024 года, Новосибирск. В 2 ч. Ч. 2. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – № 2. – С. 11–18.

10 Батырова, К. С. Технология дополненной реальности в картографии и геоинформатике / К. С. Батырова, А. А. Нестерчук, И. А. Никулин. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс, 15–17 мая 2024 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – С. 216–221. – DOI 10.33764/2618-981X-2024-1-216-221.

11 Батырова, К. С. Технология дополненной реальности в картографии / К. С. Батырова. – Текст : непосредственный // Инновации в технологиях и образовании: сб. ст. XVII Международной научно-практической конференции, 19 апреля 2024 г., Филиал КузГТУ в г. Белово. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2024. – Т. 2. – 2024. – С. 243–246.

12 Визуализация геоданных с помощью технологии дополненной реальности / К. С. Батырова, А. А. Нестерчук, И. А. Никулин, К. А. Есипова. – Текст : непосредственный // Молодежная научно-практическая конференция : сборник научных докладов (19 ноября 2024 г., Новосибирск). – Новосибирск : СГУГиТ, 2025. – С. 14–17.

13 Мурзинцева, М. В. Иммерсивные технологии в обучении студентов в геодезии и картографии / М. В. Мурзинцева, К. С. Батырова, Н. М. Рябова – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы образования. Современное высшее инженерное образование. Содержание, качество, технологии, кадры : сборник материалов Национальной научно-методической конференции с международным участием, 11–13 марта 2025 года, Новосибирск. В 2 ч. Ч. 1. – Новосибирск : СГУГиТ, 2025. – С. 139–146. – DOI 10.33764/2618-8031-2025-1-139-146.

14 Минченко, Е. В. Применение технологии дополненной реальности для визуализации инженерных коммуникаций / Е. В. Минченко, М. В. Мурзинцева, К. С. Батырова – Текст : непосредственный. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XXI Международный научный конгресс, 21– 22 мая 2025 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – С. 81–85. – DOI 10.33764/2618-981X-2025-1-1-81-85.