

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»  
(СГУГиТ)

На правах рукописи

Батырова Каршия Сериковна



Разработка методики создания и использования  
картографической продукции с элементами дополненной реальности

1.6.20. Геоинформатика, картография

Диссертация на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Научный руководитель –  
кандидат технических наук, доцент  
Пошивайло Ярослава Георгиевна

Новосибирск – 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 АНАЛИЗ ВОПРОСОВ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В КАРТОГРАФИИ .....	11
1.1 Развитие научных исследований в области цифровой картографии и геоинформатики .....	11
1.2 Понятие и определение дополненной реальности .....	16
1.3 История дополненной реальности и перспективы ее развития .....	19
1.4 Применение дополненной реальности в различных отраслях .....	23
1.5 Дополненная реальность в картографии .....	25
1.6 Программные средства и технологии, применяемые при разработке приложений дополненной реальности .....	37
1.7 Выводы по первому разделу .....	46
2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО СОЗДАНИЮ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ .....	49
2.1 Средства создания аналого-цифрового картографического комплекса дополненной реальности .....	49
2.1.1 Исследование и классификация аппаратно-программных средств для реализации технологии дополненной реальности в картографии .....	49
2.1.2 Критерии оценки платформ разработки мобильных приложений с функцией дополненной реальности .....	52
2.2 Разработка аналого-цифрового картографического комплекса дополненной реальности .....	55
2.2.1 Классификация компонентов аналого-цифрового картографического комплекса дополненной реальности .....	55
2.2.2 Уровни функциональности мобильного приложения дополненной реальности .....	63

2.2.3	Разработка алгоритма обработки пространственных данных средствами геоинформационных систем для использования в среде разработки приложений дополненной реальности .....	64
2.2.4	Разработка системы условных знаков для использования на аналоговых картах посредством мобильного приложения дополненной реальности .....	66
2.2.5	Технологическая схема создания мобильного приложения дополненной реальности .....	69
2.2.6	Разработка алгоритма воспроизведения мобильного приложения дополненной реальности .....	73
2.2.7	Методика создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности .....	75
2.3	Выводы по второму разделу .....	76
3	<b>РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО АПРОБАЦИИ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ.....</b>	<b>79</b>
3.1	Экспериментальные работы по созданию прототипов мобильных приложений дополненной реальности .....	79
3.2	Анализ возможностей аналоговых карт с элементами дополненной реальности .....	90
3.3	Выводы по третьему разделу .....	97
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>98</b>
	<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....</b>	<b>100</b>
	<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>101</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) ПРИМЕР КОДА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ МЕЖДУ СЦЕНАМИ, ЗАПУСКАЕМОГО ПРИ НАЖАТИИ ИКОНКИ .....</b>	<b>121</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) АКТ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС</b>	

	ФИЛИАЛА ППК «РОСКАДАСТР» «БАЛТИЙСКОЕ АГП» .....	122
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное)	АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС ФГБОУ ВО «СГУГиТ» .....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ Г (обязательное)	РЕЗУЛЬТАТЫ АНКЕТИРОВАНИЯ .....	124
ПРИЛОЖЕНИЕ Д (обязательное)	ПРИМЕР КОДА СОЗДАНИЯ ТРАЕКТОРИИ УЗЛОВЫХ ТОЧЕК .....	128
ПРИЛОЖЕНИЕ Е (обязательное)	ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ «ПРОГРАММА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОФИЛЯ РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИММЕРСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ» .....	130

## ВВЕДЕНИЕ

*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. [6, 49]. 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. [31, 51]. Устранить указанные и другие недостатки можно путем внедрения современных цифровых технологий, одной из которых является дополненная реальность [135].

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 влияния 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., Тикунов 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.

# 1 АНАЛИЗ ВОПРОСОВ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В КАРТОГРАФИИ

## 1.1 Развитие научных исследований в области цифровой картографии и геоинформатики

С каждым годом общество развивается все более динамично, при этом закономерно возрастает информационная нагрузка на человека [53]. Для облегчения восприятия увеличивающихся потоков информации применяются цифровые технологии, одной из которых является технология дополненной реальности (ДР).

Внедрение технологий дополненной реальности в процесс использования традиционных картографических материалов открывает новые возможности визуализации, виртуального обновления, интерактивности [50, 51].

Рассмотрим развитие и современное состояние цифровой картографии, геоинформационного картографирования, мультимедийных [129] и иммерсивных технологий и их отражение в научных публикациях.

На рубеже XX–XXI вв. в нашей стране происходили революционные изменения в картографической отрасли, связанные с внедрением цифровых технологий.

Еще в 2001 г. Берлянт А. М. в научном труде «Виртуальные геоизображения» [12, 13] рассуждает о виртуальном моделировании и картографировании с позиций технических возможностей того времени. В 2014 г. он же в учебнике «Картография» [14] формулирует следующие понятия: «интерактивная виртуальная реальность – программно-управляемая виртуальная реальность, позволяющая пользователю интерактивно взаимодействовать с ней как с реальным миром», а также «мультимедиа – сумма компьютерных технологий, интегрирующих разные среды и средства хранения, обмена и интерактивного воспроизведения информации...».

Основными цифровыми инструментами в картографии к этому времени становятся геоинформационные системы. Лурье И. К. в 2010 г. в учебнике «Геоинформационное картографирование» [34] сформулировала основные положения и методы геоинформатики и геоинформационного картографирования, этим же автором

позднее в статье [35] дана хронология развития методов и средств картографии в цифровую эпоху от автоматизации к картографическим сервисам.

Развитие и становление геоинформатики в России связано с именем Тикунова В. С., исследования которого посвящены, в том числе, расширению знаний в области пространственного моделирования, использованию искусственного интеллекта в науках о Земле [64, 65].

В исследованиях Лисицкого Д. В. раскрываются основополагающие принципы, положения и базовые технологические решения цифрового картографирования местности, выполнена формализация и сформулированы базовые аксиомы технологического процесса создания цифровых моделей и карт, рассмотрен переход к системе виртуальной геореальности [32]. Также в работе Лисицкого Д. В., Комиссаровой Е. В. [31] поднимаются вопросы расширения функционала аналоговых карт, предлагается аналого-цифровой метод картографирования, подразумевающий использование аналоговых карт и смартфонов. Акцент ставится на способах увеличения объема картографической информации, при этом на традиционные карты наносятся специальные маркеры, при наведении смартфона на которые подгружается мультимедийная информация.

Бешенцев А. Н. впервые обосновал основные положения информационной концепции картографического метода исследования. В его работах освещаются основы картографического мониторинга геосистем на основе обработки геоинформации с помощью ГИС-программ для целей картографического обеспечения территориальной деятельности общества [15, 16, 25].

Николаевой О. Н. [41, 42, 66] рассматриваются вопросы создания и проектирования тематического содержания цифровых картографических моделей с использованием геоинформационных систем.

В работах Цветкова В. Я. [69] освещены вопросы информационного взаимодействия в человеко-машинной системе, их использования при решении разнообразных задач, а также высказывается мнение о сходстве дополненной реальности и мультимасштабной карты [68].

В исследованиях Матерухина А. В. и Майорова А. А. [27] рассматриваются вопросы удовлетворения потребностей общества в пространственных данных в условиях цифровой экономики. Вместе с тем указывается, что для создания точных и производительных систем определения и отслеживания местоположения используются разработки в области дополненной и виртуальной реальностей наравне с трехмерным моделированием, миниатюризацией сенсоров и Интернета вещей, которые могут применяться для навигации и позиционирования. Дается описание специализированных нейросетевых моделей, активно и успешно развивающихся для применения в персональных мобильных устройствах – смартфонах и планшетах, в том числе для решения задач дополненной реальности [37].

В работах Карпика А. П. раскрываются перспективы развития геодезического и картографического производства [23, 24], сформулированы шесть ключевых моментов, которые задают вектор формирования современной геопространственной индустрии за счет новых идей, потенциальных возможностей и структурных преобразований. На базе СГУГиТ под его руководством разработан справочно-информационный сервис [57] на базе технологии дополненной реальности, оснащенной функцией информирования о туристических пешеходных маршрутах.

В исследовании [43, 52] Присяжнюком С. П., Филатовым В. П. рассматриваются современное состояние и направления развития геоинформационных систем.

В работах Ступина В. П. [33, 60] рассматривается создание цифровых двойников местности с использованием геопространственных знаний и данных дистанционного зондирования Земли, обработка данных дистанционного зондирования Земли с помощью ГИС.

В монографии Пьянкова С. В., Шихова А. Н. [54, 71] практическое применение теории и практики геоинформационных систем показано на примере моделирования гидрологических процессов и явлений.

Самсонов Т. Е. в своих работах рассматривает вопросы координатной привязки геоизображений на основе алгоритмов компьютерного зрения, а также картографические методы визуализации и генерализации цифровой модели рельефа

[56], что важно для реализации технологий дополненной реальности в картографии.

Исследования Крылова С. А. посвящены методике автоматизированного согласования информации в картографической базе данных [30], а также процессам проектирования мультимасштабных карт [1].

В числе зарубежных исследователей, внесших значительный вклад в развитие ГИС, выделяются Chandra A. M. [93], в исследованиях которого рассматриваются основы дистанционного зондирования совместно с обработкой в ГИС. Coulson M. R. [96] изучал применение опытными и неопытными пользователями ГИС по широкому кругу задач.

В монографии [38] Лисицким Д. В. и группой авторов рассматриваются мультимедийные средства и технологии в картографии, описаны методы и технологии, а также их возможности, упоминается виртуальная и дополненная реальность как новая форма представления информации об объектах и территории, дополняющая традиционные картографические изображения.

Добрынин А. П. в своих работах [44, 70] освещает тематику цифровых двойников, а также рассматривает различные пути к эффективному применению технологий в цифровой экономике: BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA и других. Дополненная реальность в связке с BIM и ГИС-технологиями рассматривается как высокотехнологичное явление, проникающее в физическую суть предметов и явлений во всех аспектах жизни.

Зарубежные ученые, занимающиеся изучением иммерсивных технологий в геопространственной отрасли, высказывают мнение, что геоданные в синтезе с такими технологиями существенно расширят возможности картографической визуализации.

Koller D. и другие ученые в публикации, посвященной 3D-ГИС в реальном времени [148], сосредоточились на виртуальной ГИС, то есть на связывании известных ГИС-данных, таких как растровые слои и цифровая модель рельефа (ЦМР).

На основе исследования Краак J. и др. [81] делают вывод о том, что особой формой виртуальной реальности является дополненная реальность, в которой сгенерированная компьютером информация накладывается или сливается с реальной информацией (например, для маркировки объектов и зданий и отображения информации о них). ДР может быть реализована либо с помощью оптического, либо с помощью видеопросмотрового HMD (head-mounted display – дисплей, крепящийся на голове), и она требует такой же высокой частоты обновления, как и стандартный HMD. ДР представляет особый интерес для мобильного использования.

В статье [147] описан проект для центра города Инсбрук, созданный с помощью приложения GEARViewer, поддерживающий поэтапное планирование и реализацию трамвайной линии в течение нескольких лет на основе виртуального 3D-просмотра.

В исследованиях виртуальной и дополненной реальности выделяются примеры комбинирования материалов дистанционного зондирования и ГИС [138], описывающие генерирование 3D-рельефа на основе космических снимков высокого разрешения и цифровых моделей рельефа земной поверхности.

В публикации [91] продемонстрирован пример использования виртуальной и дополненной реальности в системе «умного» города, визуализирующий обобщенную информацию о состоянии и управлении городом.

Таким образом, тематика цифровой картографии, геоинформационного картографирования, аналого-цифрового картографирования обширна, актуальна и вызывает интерес у исследователей.

Интересные практические результаты применения технологий дополненной реальности в ГИС, демонстрирующие примеры визуализации цифровой модели рельефа с текстурой в приложении Esri AR, растительного покрова и др., описаны в [80, 132]. Современный взгляд на использование больших наборов данных о рельефе в приложении виртуальной реальности изложен в статье [149]. В исследовании представлены материалы виртуальной визуализации залива Клайд на основе цифровой модели рельефа и батиметрических данных.

Анализ научных исследований в цифровой картографии и геоинформатике показывает, что совершенствование техники и технологий приводит к изменению подходов к созданию и использованию картографической продукции.

## 1.2 Понятие и определение дополненной реальности

Начнем рассмотрение вопроса применимости виртуальных изображений в картографии с понятия «иммерсивность», которое означает погружение в определенные, искусственно сформированные условия [92, 128]. Иммерсивность включает в себя дополненную реальность (augmented reality, AR), виртуальную реальность (virtual reality, VR), смешанную реальность (mixed reality, MR).

Виртуальная реальность создает свой мир с погружением в него пользователя, а дополненная реальность добавляет виртуальные составляющие в реальный мир. Становление дополненной реальности неразрывно связано с разработками и изучением виртуальной реальности [86].

Дополненная реальность является одной из составляющих частей смешанной реальности, объекты реального мира интегрируются в виртуальную среду, в которой совмещаются виртуальные сцены и объекты. Пространство может быть как виртуальным, так и реальным [89].

Технология дополненной реальности помогает сформировать человеку наглядное представление о явлениях и процессах окружающего мира, мысленно воссоздать особенности размещения, взаимного расположения объектов и установить взаимосвязи между различными формами их представления.

В период пандемии коронавируса началось активное развитие целого ряда областей информационных технологий, в частности, дополненной реальности, которая стала применяться при организации дистанционной работы, удаленном обучении и оказании помощи сотрудникам в работе. Таким образом, рыночный потенциал технологии дополненной реальности весьма значителен. Лидерами рынка на сегодняшний день являются: Apple, Google, Facebook, PTC, Atheer, Microsoft, Lenovo, Teamviewer [84, 92, 121].

Применяя технологию дополненной реальности в образовании, можно обеспечить визуальные эффекты, практически невозможные для привычных способов визуализации, что, в свою очередь, делает обучение более эффективным. Эта технология позволяет добавить выразительную анимацию на страницы книг, дополняя видео- и аудиоинформацию книжного носителя.

Одной из перспективных областей применения дополненной реальности является картография. Карта как инструмент отображения и анализа геопространства с внедрением элементов дополненной реальности приобретает новые свойства и функции.

Зарубежные и отечественные ученые опубликовали множество трудов, дающих сведения об использовании дополненной реальности в различных видах человеческой деятельности. По опубликованным работам в области аналого-цифрового картографирования выделены аспекты применения технологии дополненной реальности, в исследованиях авторов Amorim F. [79], Alekhyu V. [109], Azuma R. T. [89] и др.

В ранее опубликованных работах [4–11, 17, 36, 39] автором проанализированы основные направления использования дополненной реальности в картографии, представлены разработки приложения ДР на основе маркерной технологии и алгоритм воспроизведения такого приложения. Важным ограничением для повсеместного внедрения технологии дополненной реальности становится отсутствие научно обоснованных методических подходов создания и использования картографических произведений с элементами дополненной реальности.

Рассмотрим определения дополненной реальности, встречающиеся в публикациях.

По утверждению ученого Azuma R. T. [89], «технология дополненной реальности – система, объединяющая виртуальное и реальное, взаимодействующие в настоящем времени работающая в 3D».

Группа авторов в работе [137] дают следующее определение: «Дополненная реальность – это перспективная технология, которая переносит цифровой контент,

включая изображения, видеофайлы или данные, в реальный мир. Использование технологии дополненной реальности улучшает восприятие пользователя за счет плавного включения виртуальных элементов в реальную среду, что приводит к динамичному взаимодействию, которое обладает как познавательными, так и увлекательными качествами...».

В источнике [86] предлагается следующее определение: «Дополненная реальность – это технология, которая улучшает человеческое восприятие с помощью дополнительных сенсорных данных, генерируемых компьютером, для создания нового пользовательского опыта».

У Motunrayo O. [125]: «Дополненная реальность накладывает цифровые данные в реальном времени на физические ситуации, чтобы улучшить понимание и предоставить контекст. Эта технология в сочетании с искусственным интеллектом может динамически анализировать и понимать большие геопространственные наборы данных, делая сложные ландшафты, городскую среду или географические явления более простыми для визуализации и более точными».

В статье [63, с. 119] группой белорусских авторов дано следующее определение: «дополненной реальностью можно назвать неполное погружение человека в виртуальный мир, когда на реальную картину мира накладывается дополнительная информация в виде виртуальных объектов. В современном мире дополненная реальность может стать хорошим помощником как в повседневной жизни, так и в профессиональной деятельности».

Кравченко Ю. А. и соавторы в [29, с. 49] дают следующее определение: «Дополненная реальность предстает как инновационная интерактивная технология, которая позволяет накладывать компьютерную графику или текстовую информацию на реально существующие объекты в реальном времени, это совмещение на экране двух изначально независимых пространств: мира реальных объектов вокруг человека и виртуального мира, созданного с помощью компьютера».

«Дополненная реальность – это технология, позволяющая совмещать слой виртуальной реальности с физическим окружением, а также в реальном времени при помощи компьютера соприкоснуться с миром 3D. Дополняющая информация

может быть в виде текста, изображения, видео, звука, трехмерных объектов. С помощью специальных программ-браузеров планшетов или смартфонов сканируются метки, чтобы потом получить дополненный контент» – такое определение содержится в работе Черкасова К. В. и др. [72, с. 40].

Кравцов А. А. [28] сформулировал такое определение: «Дополненная реальность – это феномен пространственно-временного континуума, совмещающий в себе объективную и виртуальную реальности и обладающий рядом специфических качеств и свойств, недоступных в объективной и виртуальной реальности по отдельности».

На основании проанализированных определений авторами Пошивайло Я. Г., Батыровой К. С. дано следующее определение. «Дополненная реальность – это программно-аппаратный механизм, совмещающий слой виртуальной реальности с физическим окружением в реальном времени при помощи ЭВМ, при этом дополняющая информация может быть представлена в виде текста, изображения, видео, звука, трехмерных объектов» [49].

### 1.3 История дополненной реальности и перспективы ее развития

Тема применения технологий дополненной реальности (ДР) в различных сферах человеческой деятельности широко освещается в научной литературе [28, 29, 59, 62, 67, 77, 84, 86, 88, 105, 142, 144].

История технологии ДР началась в 50-х гг. XX в., когда Мортон Хейлинг запатентовал симулятор Sensorama, названный им самим театром погружения. Изобретатель также сконструировал специальную 3D-камеру, чтобы осуществлять съемку фильмов для Sensorama [86].

Первым устройством дополненной реальности считается, разработанная в 1968 г. профессором Гарварда Айваном Сазерлендом система на основе головного дисплея (названного «Дамоклов Меч»). Устройство крепилось к потолку из-за тяжелого веса очков со стереоэффектом, на которые транслировалось изображение

с компьютера. Перспектива наблюдения за объектами менялась в зависимости от движения головы пользователя.

В 1974 г. Майрон Крюгер создал лабораторию искусственной реальности Videoplace, основной идеей при этом было избавление пользователей от специальных шлемов, очков и других приспособлений, позволяющих взаимодействовать с виртуальной реальностью. В 1978 г. Стив Манн изобрел первое носимое приспособление ДР – EyeTap. Первым термин «дополненная реальность» в 1990 г. сформулировал ученый Том Коделл, который разработал специальные шлемы для инженеров завода Боинг [86].

Технология описания реальных и виртуальных объектов с помощью маркеров была внедрена в 1966 г., Джуном Рекимото и Южди Аятцука, что позволило добавить виртуальные вещи в реальный мир, просто перенося метки.

Можно выделить еще ряд важных событий в становлении технологий ДР (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Хронология развития технологий дополненной реальности

В 1993 г. Loral WDL провела первую демонстрацию, сочетающую реальные автомобили с дополненной реальностью и пилотируемые симуляторы. Впервые

внесла дополненную реальность в общественную жизнь Джули Мартин в 1994 г., запустив проект «Танцы в киберпространстве».

2000 г. примечателен разработкой первой игры дополненной реальности. В том же году Хироказу Като расширил возможность создания программ дополненной реальности, разработав программную библиотеку – ARToolKit. В печатных СМИ дополненную реальность начали использовать в 2009 г., разместив маркеры на обложке журнала Esquire. В том же году появился браузер с функцией дополненной реальности.

Отправной точкой развития массового сегмента технологии дополненной реальности можно считать презентацию компанией Google продукта «умные очки» в 2012 г. Потребительская версия данного продукта потерпела неудачу, и компания переключила свои усилия на производственную версию Glass Enterprise Edition. Уже в 2014 г. Google презентовала очки ДР Google Glass [103], в 2017 г. появился инструмент для разработки ARKit [99] от компании Apple, позволивший создавать мобильные приложения. В этом же году появилось приложение IKEA Place, для применения ДР в торговле.

Первым полноценно работающим образцом очков смешанной реальности стали в 2017 г. очки смешанной реальности HoloLens, разработчиком которых является компания Microsoft, основанные на совместном использовании оптических и лидарных систем [124].

Одной из новых разработок являются смарт-очки от компании Xiaomi под названием Smart Glasses, представленные на рынке в 2021 г., вес которых составляет 51 грамм [151]. При презентации устройства были продемонстрированы функции, доступные смарт-очкам, среди которых – уведомления и навигация, перевод текста и иностранной речи в режиме реального времени, а также съемка и производство звонков. Разработчики поместили монохромные дисплеи с MicroLED-подсветкой в линзы, максимальная яркость которых составляет порядка двух миллионов нит. По утверждениям разработчиков, изображение отчетливо просматривается даже при ярком солнечном освещении. Устройство оснащено двойными микрофонами с динамиками для взаимодействия с голосовым ассистентом, а также камерой

возле дужки слева. Операционная система, на которой работают очки – Android, они также оснащены Wi-Fi и Bluetooth модулями [86, 150].

Таким образом, в последнее десятилетие технологии ДР получили массовое применение, что было простимулировано развитием компьютерных технологий и повсеместным использованием смартфонов.

Следующим этапом развития технологии, судя по публикациям, станут контактные линзы с дополненной реальностью. Таким образом, в доступе будут три варианта устройств: шлем (ориентирован на работу со смешанной реальностью), очки и линзы (для дополненной реальности) [84, 86, 150].

Следует отметить преимущества использования дополненной реальности перед виртуальной. Один из разработчиков первой системы дополненной реальности Луи Розенберг считает, что использование системы виртуальной реальности в повседневной жизни весьма сомнительно. Напротив, технологии дополненной реальности при соответствующем развитии в дальнейшем могут быть встроены в обычные очки и стать весьма оптимальным решением для потребителей. Технологии ДР предлагают наиболее естественный опыт взаимодействия в системе восприятия человека. При использовании виртуальной реальности человеческому мозгу приходится затрачивать больше ресурсов для поддержания двух миров: виртуального и реального окружения. При текущем рассмотрении вопроса, дополненная реальность выглядит перспективнее виртуальной реальности, даже при низком уровне точности воспроизведения. Просмотр цифровой информации на небольшом дисплее перед глазами физиологически естественнее, нежели просмотр информации на экране смартфона.

Для сравнения, исключительное количество пользователей смогут провести в виртуальной реальности больше 30 минут. По ощущениям самого Розенберга, при тестировании 3D-очков виртуальной реальности ему всегда хотелось снять очки и переместить виртуальный мир на реальное физическое окружение.

## 1.4 Применение дополненной реальности в различных отраслях

Исходя из публикаций по тематике исследования, дополненная реальность – востребованный метод визуализации, который может использоваться во многих областях, таких как навигация, образование, туризм, медицина, городское планирование и архитектура, военное дело, индустрия развлечений, торговля и т. д. [83, 94, 95, 108, 110, 114, 115, 121, 123, 153].

В современном мире технологии достигли высокого уровня, что, в свою очередь, дает возможность внедрить электронную среду в процесс образования или гибридного обучения. Использование информационных технологий в сфере образования показало положительные результаты [72, 77, 78, 95, 115, 118, 142]. Благодаря этому активно происходит создание новых форм и методов обучения, а также совершенствуются методики преподавания. Применение информационных технологий на занятиях с обучающимися является основой качественного образовательного процесса. ДР совмещает виртуальные объекты с реальностью, трансформируя опыт обучающихся и обеспечивая их новыми знаниями, навыками и компетенциями в выбранной области [123]. Эта технология предлагает действенный способ визуализации некоторых определений и понятий, а также поддерживает взаимодействие между реальной и виртуальной средами [98, 127, 133, 134, 143, 146]. Приложения с дополненной реальностью, используемые в процессе обучения: Elements 4D, Anatomy, Human Heart 3D, LandscapAR, Google Expeditions, Space 4D+, Layar, Modly, Geometry101, Chemisty101 [20, 87, 97].

За последние годы со стороны бизнеса возрос спрос на очки ДР, применяющиеся при проведении инспекций и ремонта оборудования, при фото- и видеофиксации дефектов, при контроле качества и т. д. В нашей стране смарт-очки используют для работы компаниями «Газпромнефть», «Славнефть-Мегионнефтегаз», Heineken в Петербурге и Нижнем Новгороде [21].

Приложение Civilisations AR разработано BBC (Британской вещательной корпорацией) для изучения артефактов китайской, индийской, греческой цивилизаций,

цивилизаций ольмеков, майя, Древнего Египта, Древней Месопотамии. Приложение дополненной реальности позволяет заглянуть внутрь саркофага фараона, сделать древнее оружие, прокатиться на колеснице, побывать на гладиаторских боях, познакомиться с памятниками культуры.

Существуют так называемые браузеры дополненной реальности, популярными из них являются Layar, Aurasma, Metaio, Wikitude и др. [10]. Подобные браузеры позволяют сканировать не только картинки, но и пространство вокруг, а маркерами для них являются координаты в пространстве. Сканируя окружающий мир с помощью этих браузеров, пользователь по GPS-координатам может получать информацию об объектах, находящихся поблизости: локациях, достопримечательностях, организациях, памятниках и т. п. Разработчики браузеров нередко предоставляют возможность пользователям создавать собственные метки, которые затем распознаются этими приложениями.

Туризм становится более интеллектуальным и увлекательным, просто накладывая интуитивно понятные данные на экран пользователя. Vlahakis et al. представили первый локальный путеводитель по культурному наследию на основе дополненной реальности (ARCHEOGUIDE), чтобы предоставить туристам реконструированный вид культурного объекта и связанную с ним археологическую информацию [100]. Аналогичным образом использовали ДР, чтобы обеспечить захватывающий опыт исторической сцены, отражающий потребности туристов, улучшая качество культурного тура. В обзорной статье, посвященной 20-летней истории иммерсивных технологий в туризме [120], приводятся следующий пример: чтобы свести к минимуму время на посещение крупномасштабного музея или выставки, Ли и Парк [117] предложили систему навигации на основе ДР, чтобы направлять пользователя с помощью относительной ориентации, расстояния и визуальных подсказок для поиска конкретных экспонатов и мультимедийной информации. На этой выставке Zoellner et al. представили слои культурного наследия, подход к визуализации исторических медиа, таких как картины, фотографии зданий и исторические сцены из архивов, и плавное наложение на реальность в нужном месте.

Технологические инновации в сфере туризма, представляют собой не только важный источник экономического роста, но и средство удовлетворения постоянно растущего спроса на уникальные туристические впечатления. Потенциал систем дополненной реальности для получения нового опыта туристами во время поездки еще недостаточно исследован.

В военном деле дополненная информация в реальном сценарии боя с НМД может использоваться с ДР [98]. Компания Liteye исследовала и использовала НМД в военных целях. Благодаря инновационному прогрессу в области дополненной реальности программа Land Warrior (LW) армии США представила интеллектуальную агентную систему поддержки принятия решений на носимом компьютере LW, обеспечивающую перспективный вид в прицел оружия. Система ночного видения для вертолетов была разработана Канадским институтом аэрокосмических исследований (NRC-IAR) с использованием дополненной реальности для расширения рабочего диапазона винтокрылых летательных аппаратов и повышения способности пилотов ориентироваться в ухудшенных визуальных условиях [98].

### 1.5 Дополненная реальность в картографии

В картографию технологии дополненной реальности начали внедряться не так давно, при этом сформировались два основных направления применения ДР: расширение содержание аналоговых карт и усовершенствование навигационных приложений [5, 6].

На сегодняшний день накоплено огромное количество картографического материала в аналоговом виде, созданного на протяжении многих десятилетий и даже столетий. Рациональным решением в сложившейся ситуации является преобразование имеющихся архивов в цифровой вид. Естественно, большинство карт в процессе оцифровки обновляются и актуализируются в соответствии с текущей ситуацией.

В свою очередь, стоит отметить большой потенциал технологии дополненной реальности, которая способна обеспечить обновление карт и атласов в аналоговом виде принципиально новым способом – «виртуальное обновление».

Наибольшее развитие технологии ДР получили в сфере навигационной картографии, при этом используется электронная карта, в которую интегрируется ряд виртуальных объектов (цифровое изображение дополняется виртуальными объектами). Ряд приложений для автонавигации успешно используют возможности дополненной реальности. Также весьма велик вклад многофункциональных (комбо) устройств, которые начали появляться на рынке несколько лет назад.

В качестве примера приведем использование компанией Яндекс технологии дополненной реальности в приложении Яндекс.Карты, что позволяет пользователям увидеть виртуальные метки, наложенные на панораму местности и обозначающие проложенный маршрут и ознакомиться с дополнительной информацией (рисунок 1.2) [22, 45].

Приложение Gaode, разработчиком которой является китайская компания AutoNavi [2], успешно совмещает навигацию с дополненной реальностью. Ожидается спрос со стороны водителей, не имеющих возможность приобрести автомобили премиум-класса с продвинутой навигационными системами и проекционными дисплеями. Интерфейс напоминает популярное во всем мире приложение Google Maps [26, 97].

В транспортных средствах уже применяется дополненная реальность в навигационных системах путем наложения направляющих стрелок на видеоряд пути движения. Существуют также разработки, позволяющие проецировать на лобовом стекле навигационные подсказки. Программа Навител Навигатор в одном из своих последних обновлений реализовала функцию HUD (Head-up Display), позволяющую всю необходимую информацию отображать на лобовом стекле автомобиля в прямую зону видимости водителя. Благодаря этому пользователь, быстрее обрабатывая информацию, получает возможность сфокусировать внимание на вождении. Доступ к этой опции осуществляется после дополнительной оплаты [126].

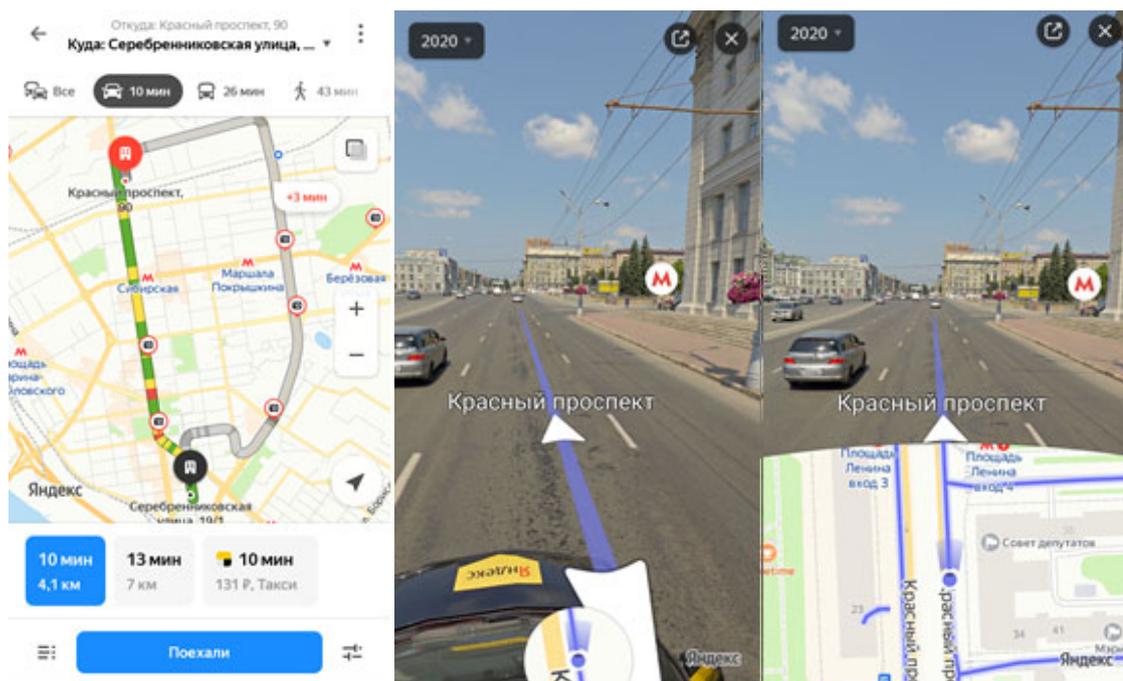


Рисунок 1.2 – Пример построения маршрута и его отображение в режиме дополненной реальности в приложении Яндекс.Карты

Одним из устройств ДР является многофункциональное устройство NAVITEL RE900, использующее технологию дополненной реальности при выборе видеорегистратора в качестве основного режима работы устройства. Навигационные подсказки (местоположение, скорость движения, направление движения, расчетное время прибытия и др.) появляются на экране при запуске режима видеорегистратора. Стоит отметить, что устройство работает одновременно в двух режимах: видеорегистратор и навигатор.

Современный рынок устройств готов предложить большое количество моделей с HUD-функцией. В линейке подобных устройств выделяется легкое крепление HUDWAY Glass, использующиеся для работы смартфона в качестве проекционного дисплея. Благодаря этому устройству водителю доступны подсказки без отвлечения от дороги. На сайте производителя доступен список приложений, с которыми устройство может взаимодействовать (HUDWAY GO, Navmii GPS и другие). HUDWAY Glass можно использовать в любое время суток [106].

Конкуренция среди производителей программных средств для обеспечения работы с дополненной реальностью предполагает постоянное и своевременное развитие и совершенствование программного обеспечения, внедрение нового функционала, поддержку имеющегося функционала и расширение картографического покрытия.

Были исследованы и проанализированы навигационные функции, которые представлены в специализированном ПО, которое поддерживает дополненную реальность.

Навител Навигатор [40]: поддерживает GPS и содержит предустановленные карты 47 стран Европы и Казахстана.

Яндекс Карты [22, 45]: поддерживает GPS, А-GPS, ГЛОНАСС, подробнее всего отражены Россия, Армения, Беларусь, Грузия, Казахстан, Латвия, Турция, Украина и Эстония.

Google Карты [26, 104]: поддерживает GPS, ГЛОНАСС, содержит карты большей части Азии, Африки, Латинской Америки и Европы, а также Соединенные Штаты и Канада.

AutoNavi [2, 61]: поддерживает GCJ-02, БД-09 Байдю, ориентирован на Китай.

Следующие функции есть во всех приложениях:

- возможность загрузки дополнительных карт;
- бесплатное обновление карт;
- три альтернативных маршрута;
- голосовые подсказки;
- сервис Пробки [5].

Большинство навигационных приложений, использующих дополненную реальность, имеют схожие возможности, выявленные отличия проанализированного программно-аппаратного обеспечения представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Использование технологий дополненной реальности  
в картографических сервисах

Критерий	Google карты	Яндекс Карты	Навител Навигатор	AutoNavi
Отображение подсказок на лобовом стекле автомобиля	Отсутствует	Отсутствует	Функционал поддерживается. Обязательна оплата и получение ключа	Отсутствует
Подписи	Направление движения указывают динамические графические подсказки	Направление движения указывают динамические графические подсказки	Визуализируются: скорость движения, расстояние до следующего поворота, оставшееся время в пути, название улиц. Реализовано только в Navitel RE900	Визуализируются указания поворотов и дистанции, которые накладываются на дорогу
Курсор направления движения	Направление показывается с помощью стрелки	Курсор присутствует в нижней части экрана	При выборе режима видеорегистратора устройство с дополненной реальностью Navitel RE900 не отображает курсор	Курсор накладывается прямо на изображение дороги
Дорожные знаки, информация о последующем маневре	Выводит на экран информацию о ближайшем маневре	Выводит информацию о следующем маневре	Выводит на экран информацию о ближайшем маневре	Подсвечивает дорожные знаки в режиме реального времени
Безопасность при использовании	Экран периодически гаснет, что обезопасит движение пользователя	Информация отсутствует	Информация отсутствует	Функционал не реализован

Проанализировав минимальные системные требования программного обеспечения, представленного на рынке РФ и реализующего функции дополненной реальности, к техническим характеристикам устройств, мы свели полученную информацию в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Минимальные системные требования к техническим характеристикам устройства, реализующего функции дополненной реальности в специализированном ПО

Характеристики устройств Technical specifications		Навител Навигатор Navitel Navigator	Яндекс Карты Yandex Maps	Google Карты Google Maps	AutoNavi
Экран/Screen	Тип экрана Screen Type	IPS			
	Диагональ экрана Screen size	5 дюймов/5"			
	Интерактивность экрана Screen interactivity	Сенсорный/Sensory			
	Разрешение экрана Screen resolution	1024×600			
Производительность/ Performance	Операционная система Operating system	Android 6.0 (функция доступна только для NAVITEL RE 900)	Android 8.1 (Яндекс.Смартфон)	Android 6.0 и выше, iOS 13.4 и выше	Android 6.0 и более поздние, iOS 10.0 и выше
	Процессор Central processing unit	MTK8382 Cortex-A7 Quad Core	Qualcomm Snapdragon SDM630	4-х ядерный ARM 64-битный процессор	4-х ядерный ARM 64-битный процессор
	Частота процессора, ГГц CPU frequency Procesor, GHz	1,3	2,2	1,2	1,2
	Внутренняя память, ГБ Storage memory GB	16	64	16	16
	Оперативная память, ГБ Random access memory (RAM), GB	1 ГБ/GB	4	2	2

Характеристики устройств Technical specifications		Навител Навигатор Navitel Navigator	Яндекс Карты Yandex Maps	Google Карты Google Maps	AutoNavi
Питание/Power	Тип аккумулятора Type of battery1	встроенный литий-ионный Built-in lithium-ion	Li-pol	встроенный литий-ионный Built-in lithium-ion	встроенный литий-ионный Built-in lithium-ion
	Емкость аккумулятора, мА·ч Battery capacity, mA	800	3050	3000	3000
	Подключение внешнего источника питания (12 В) Working current (12V)	Есть/Yes			
Разъемы и подключения/ Connectors and connection	Интерфейсы Interfaces	Mini-USB, 2 microSD	Bluetooth 4.1, 3G/ 4G, NFC	USB 2.0, Bluetooth, Wi-Fi, 2G/3G	USB 2.0, Bluetooth, Wi-Fi, 2G/3G
	SIM-карты SIM cards	Нет/No	2	1	1
	Поддержка microSD-карт microSD card capacity	до 64 ГБ/GB	до 128 ГБ/to 128 GB		

Оценивая минимальные технические требования к современным навигационным приложениям с функцией дополненной реальности, можно отметить, что они удовлетворяются большинством современных смартфонов.

Рассматривая технические характеристики устройств с функцией дополненной реальности применительно к задачам картографии, можно сформулировать итоговый перечень минимальных характеристик данных устройств:

- тип экрана – IPS;
- объем оперативной памяти не менее 1 Гб;
- операционная система Android 6.0. и выше;
- производительность процессора не менее 1,2 ГГц;
- разрешение экрана 1024×600 dpi;

- внутренняя память 16 ГБ;
- емкость аккумулятора 800 мА·ч и выше;
- поддержка microSD-карт до 128 ГБ;
- наличие Wi-Fi, 2G/3G (либо 3G/4G).

Согласно типовым системным требованиям разработчиков, можно сделать следующий вывод: разработчики отдают предпочтение собственному оборудованию, поддерживая при этом приложения, установленные на сторонних устройствах (навигаторы, смартфоны, мультимедийные системы в автомобилях и др.). Отсюда следует, что помимо обновления навигационного приложения с функциями дополненной реальности, они также выпускают новые устройства под собственным брендом либо совершенствуют имеющиеся (внутреннее ПО, комплектующие). Как правило, сначала доступны обновления навигационного приложения для устройств под собственным брендом, а затем для остальных (не является обязательным условием). Картографическое покрытие разнится и ориентировано на конечного пользователя цифрового продукта.

Наглядно представить направления применения дополненной реальности в картографии можно, обратившись к авторской схеме (рисунок 1.3), на которой приводятся методические приемы дополненной реальности с подразделением по способу определения объекта (точки) привязки.

Можно выделить три направления применения ДР в картографии с подразделением по способу определения объекта (точки) привязки [5]:

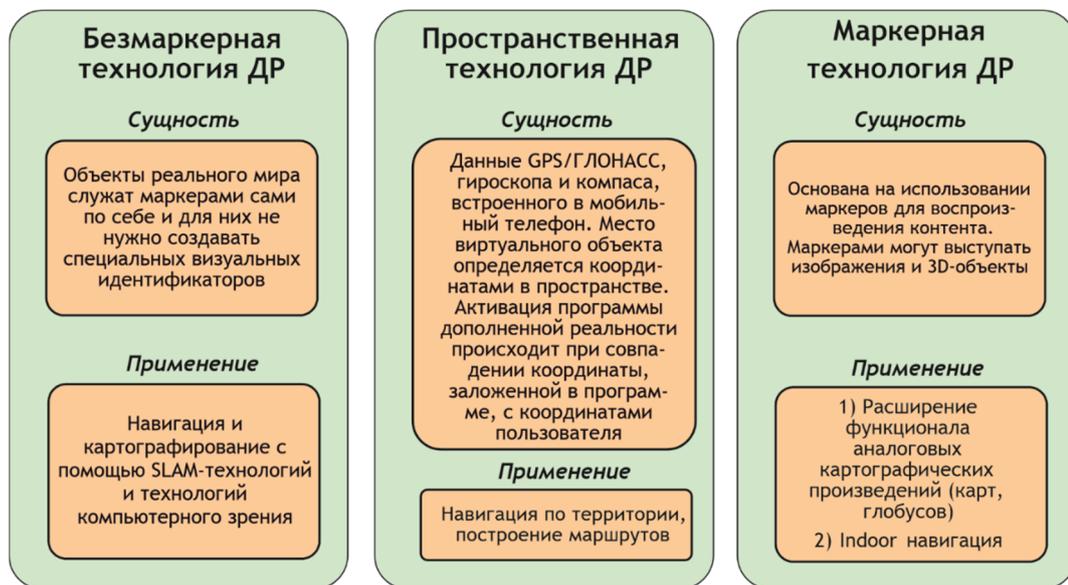
- 1) безмаркерная технология ДР;
- 2) пространственная технология ДР;
- 3) маркерная технология ДР.

*Безмаркерная технология ДР* базируется на объектах реального мира, которые сами служат маркерами и для них не нужно создавать специальных визуальных идентификаторов. Применяется в навигации и картографировании с помощью SLAM-технологий и технологий компьютерного зрения. SLAM-технологии – это одновременная локализация и построение карты [113, 131].

*Пространственная технология ДР* реализуется на основе данных GPS/ГЛОНАСС, гироскопа и компаса, встроенных в мобильное устройство [122].

Место виртуального объекта определяется координатами в пространстве. Активация программы ДР осуществляется при совпадении координаты, заложенной в программе, с координатами пользователя. Применяется в навигации по территории построении маршрутов.

*Маркерная технология ДР* основана на использовании маркеров для воспроизведения внутреннего наполнения приложения ДР. Маркерами могут выступать изображения и 3D-объекты. Используются для расширения функционала аналоговых картографических произведений (карт, глобусов), Indoor-навигация – навигация внутри помещения [141].



SLAM – одновременная локализация и построение карты  
 Indoor – навигация внутри помещения

Рисунок 1.3 – Методические приемы применения технологий ДР в картографии с подразделением по способу определения объекта (точки) привязки

В безмаркерной технологии ДР важно качество подготовленной базы данных (БД) для идентификации объектов реального мира. Здесь на первый план выходят качество основной камеры мобильного устройства, обеспечивающей высокое разрешение, а также наличие камеры глубины. Безмаркерные технологии в настоящее время развиваются очень активно и существенно различаются в зависимости от производителя и ПО.

Пространственная технология ДР опирается на ГНСС-данные и предустановленные навигационные приложения. Кроме БД большую роль в ней играют алгоритмы обработки спутниковых навигационных данных.

Маркерная технология на данный момент наиболее хорошо проработана, в том числе для целей картографии и геоинформатики как с точки зрения алгоритмов распознавания маркеров, так и с точки зрения развитых инструментов разработки приложений дополненной реальности (в том числе и бесплатных). Эта технология не является ресурсоемкой, поскольку алгоритмы распознавания маркеров хорошо оптимизированы и требуют небольших затрат ресурсов процессора устройства. Таким образом, на первый план выходит качество камеры устройства.

Информационное пространство сегодня очень динамично и изменчиво. Бумажная картографическая продукция довольно быстро устаревает. Многие пользователи также испытывают трудности с ориентированием на местности с помощью традиционных аналоговых карт [102, 107, 130]. Одним из возможных решений данной проблемы является нанесение на карту в процессе ее составления и печати маркера (маркеров) дополненной реальности, наводясь на который камерой мобильного устройства, пользователь будет получать полную и актуальную информацию по тематике карты [82, 131, 132].

Анализируя существующие и предполагаемые направления применения технологии ДР в картографии, стоит отметить, что объединяющей константой является геопространственная информация, точнее, ее визуализация или отслеживание объектов [136].

В публикации [3] представлена технологическая схема создания картографических произведений с дополненной реальностью и методика использования туристских карт (рисунок 1.4).

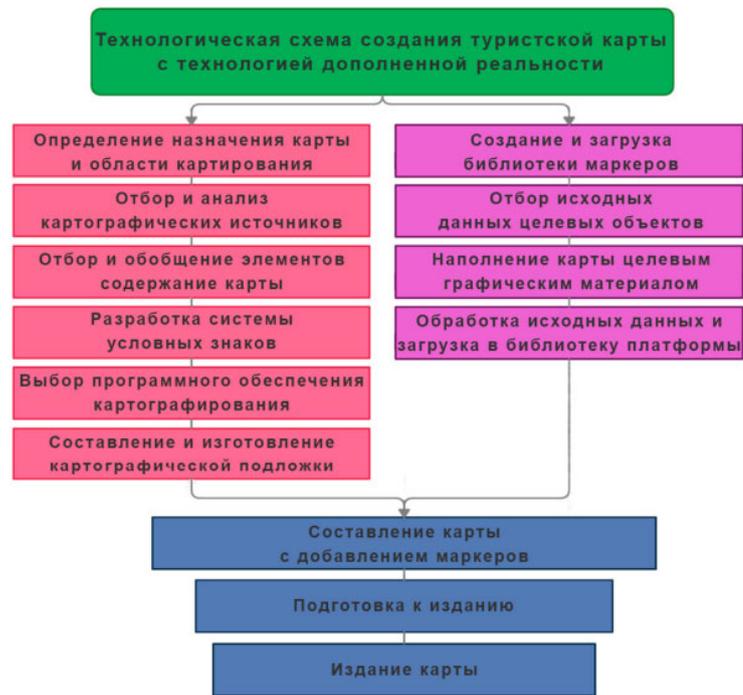


Рисунок 1.4 – Технологическая схема создания карты [3]

В источнике [94] описано сочетание ДР и географии (рисунок 1.5), различающееся в зависимости от изображений и физических пространств. В зависимости от рабочей среды АGR также можно классифицировать как внутреннюю или внешнюю. Эти методы классификации с точки зрения технической реализации и физического пространства не подходят для исследований в области картографии.

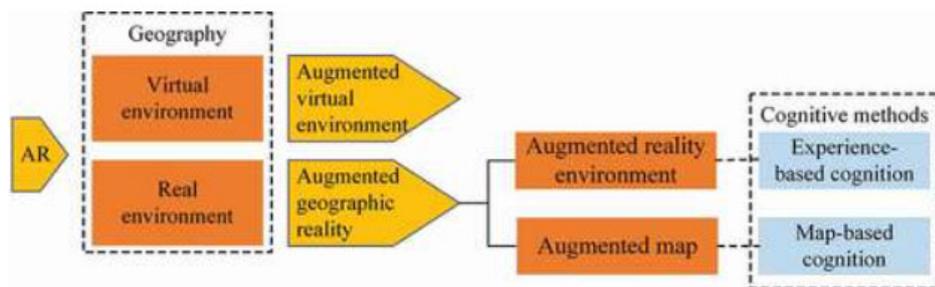


Рисунок 1.5 – Сочетание ДР и географии [94]

Согласно теории, описанной в источнике [94], карты подразделяют на реальные (бумажные или глобусы) и виртуальные (цифровые карты, просматриваемые

через экран устройства, пространственные базы данных и др.). Пожалуй, перечисленные виды карт находятся в конкурентных отношениях, но на самом деле дополняют друг друга. Интегрируя реальные (физические) карты и дополнительную информацию, содержащуюся на виртуальных картах, согласно определенным правилам, была построена модель куба ДР, чтобы подчеркнуть картографическую перспективу, познание и дизайн для коммуникации, рассматриваемые в этом исследовании как основные исследования ДР в области картографии, как показано на рисунке 1.6.

Модель куба ДР раскрывает следующие вопросы: цель, содержание, интерактивные средства ДР. Она представляет собой основной путь развития исследований в области ДР и показывает направления их развития в картографической сфере (рисунок 1.6).

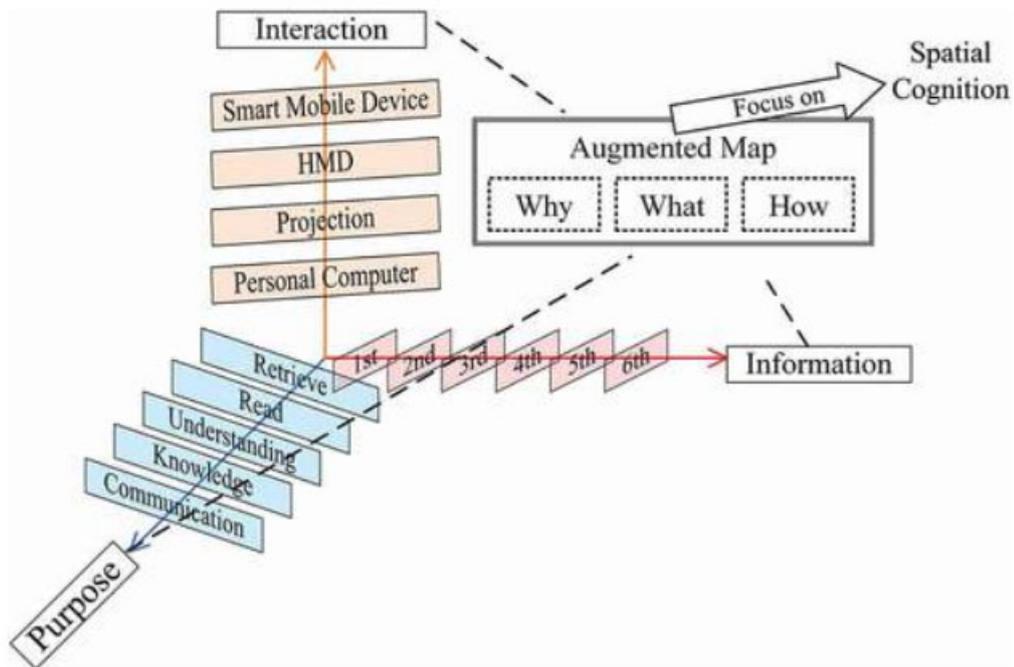


Рисунок 1.6 – Модель куба дополненной карты [94]

Таким образом, существуют разработки по применению дополненной реальности при аналого-цифровом картографировании, однако отсутствует единая мето-

дика по созданию и использованию элементов дополненной реальности в картографии и геоинформатике, учитывающая разрозненность существующих разработок, конфликт между традиционной картографией и подходами ДР, геоинформационные аспекты, особенности традиционного и геоинформационного картографирования.

### 1.6 Программные средства и технологии, применяемые при разработке приложений дополненной реальности

В зависимости от направления применения ДР в картографии [49], меняется подход к выбору программного и аппаратного обеспечения. Необходимо учитывать такие характеристики программного обеспечения, как качество визуализации пространственных объектов, функциональность, производительность, легкость в освоении, цена, техническая поддержка и др. Однако данный аспект применительно к технологии дополненной реальности в картографии требует дальнейшего исследования.

Развитие современной картографии основывается на широком использовании геоинформационных технологий. На сегодняшний день на геоинформационном рынке представлено множество геоинформационных систем (ГИС), осуществляющих обработку пространственных данных. Рынок программных и технических средств предлагает инструменты для создания картографических и геоинформационных продуктов, анализа пространственных данных, решения прикладных задач, выдачи рекомендаций и прогнозов. Однако в ГИС отсутствует полноценный инструментарий для разработки элементов дополненной реальности и реализации мобильного приложения, что свидетельствует о существующей необходимости интеграции разнородных программных продуктов для реализации технологий ДР в картографии.

Рассмотрим основные компоненты для разработки приложений ДР.

*Программные платформы для разработки приложений* (англ. software development kit, SDK) дополненной реальности. Существуют специализированные наборы инструментов, такие как ARKit [99] (для операционной системы (ОС) iOS) и ARCore (для ОС Android), позволяющие разработчикам создавать приложения с

использованием технологии ДР. Они предоставляют инструментарий для распознавания местоположения устройства, отслеживания объектов и создания виртуальных объектов в реальном мире.

*Устройства для восприятия окружающей среды.* Для создания элементов дополненной реальности необходимо иметь устройства, способные воспринимать окружающую среду и взаимодействовать с ней. К ним относятся смартфоны, планшеты, очки дополненной реальности и другие устройства.

*Технологии распознавания и отслеживания.* При разработке дополненной реальности специалисты полагаются на технологии распознавания и отслеживания объектов в реальном мире. Сюда могут входить методы компьютерного зрения, машинного обучения, сенсоры и другие технологии.

*Виртуальная графика и анимации.* В основе отображения виртуальных объектов в реальном мире лежит применение технологии виртуальной графики и анимации. Разработчики используют инструменты, осуществляющие проектирование функций трехмерного моделирования, текстурирования, освещения и другие методы для создания реалистичных элементов дополненной реальности.

Моделирование окружающего мира при помощи карты является привычным, но в то же время сравнительно сложным для восприятия способом отображения пространства, который имеет свои ограничения. Реализация связи картографического представления объектов, процессов и явлений с их реалистичными моделями увеличит наглядность карты, упростит ориентирование на местности, расширит арсенал изобразительных средств картографии, особенно это актуально для детской аудитории.

Технологический подход к реализации функций дополненной реальности подразумевает применение специализированного мобильного приложения ДР – программного продукта, реализующего технологии дополненной реальности для различных целей (обучение, навигация, развлечения, туризм и др.). Проект такого мобильного приложения состоит из аппаратной, программной части, под определенный сценарный план реализации ДР. Рассмотрим каждый из этих компонентов с точки зрения применения в картографии.

Порядок воспроизведения мобильного приложения с элементами дополненной реальности различается в зависимости от способа определения объекта (точки) привязки. Представим последовательность работы с дополненной реальностью в виде сценарных планов для трех направлений применения ДР в картографии.

*Сценарий для маркерной технологии.*

Если камера устройства направлена на картографическое изображение, то программное обеспечение опознает его по предварительно определенному маркеру (характерному объекту карты) или после анализа его формы. В процессе идентификации программа соединяется с ГИС-сервером, облаком или локальным хранилищем, где находится цифровой двойник объекта. Далее в мобильное устройство загружают требуемую информацию и накладывают ее на изображение объекта на карте. Результатом является изображение на экране смартфона или линз очков иммерсивной реальности.

Трехмерная модель картографического объекта интегрируется в среду разработки посредством выбора из числа предложенных шаблонов на сайте разработчика, либо ее можно создать в сторонних программах и затем импортировать в проект. Предложенные в качестве шаблонов трехмерные объекты, как правило, можно редактировать – задавать текстуру, цвет, прозрачность, закреплять их за определенной меткой.

Если трехмерный картографический объект создается в сторонних программах (Blender, AutoCAD и др.), то формат сохраняемого файла модели должен входить в перечень поддерживаемых в ПО ДР, либо необходимо предварительно производить его конвертацию [46, 145].

Таким образом, порядок реализации технологии дополненной реальности для расширения функций аналоговой карты следующий.

1 Камера устройства (смартфона, планшета или смарт-очков) фиксируется на картографическом изображении.

2 Приложение ДР, установленное на устройстве, опознает полученное изображение и подбирает подходящий маркер из библиотеки.

3 Приложение ДР совмещает реальное (карту) и виртуальное изображение и воссоздает сцену дополненной реальности на устройстве [75, 140].

*Сценарий для пространственной технологии.*

В навигации процесс реализации технологии дополненной реальности выглядит следующим образом.

1 В навигационном приложении определяется местоположение пользователя, по его запросу прокладывается маршрут, запускается процесс отслеживания перемещения по маршруту.

2 Включается функция дополненной реальности (алгоритм действий в разных навигационных приложениях может отличаться), при этом происходит процесс совмещения виртуальных объектов с реальными на основе данных датчиков устройства.

*Сценарий для безмаркерной технологии [113, 152].*

1 Камера устройства наводится на окружающее пространство, из объектов реального мира формируется трехмерная модель окружающей обстановки.

2 Происходит распознавание контуров и характерных элементов объектов местности. С помощью специальных программных алгоритмов производится выбор опорных точек, относительно которых определяется точное расположение объектов дополненной реальности.

3 В зависимости от направления камеры устройства воспроизводится соответствующий контент дополненной реальности.

Как видно из рисунка 1.7, важное место в аппаратном комплексе занимают датчики. В источнике [121] дан прогноз относительно развития технологий иммерсивной реальности. По мнению экспертов, в ближайшем будущем применение датчиков расширит рынок периферийных устройств в 10–20 раз. Поскольку дополненная реальность основана на постоянном взаимодействии объектов виртуального и реального мира, роль датчиков невозможно переоценить.



Рисунок 1.7 – Датчики для реализации функций иммерсивной реальности [121]

Систематизируем виды датчиков, которые обеспечивают решение геоинформационных и картографических задач.

1 Датчики на теле – это инструменты для отслеживания и идентификации пользователей и объектов вокруг них. Позволяют отслеживать манипуляции в виртуальной среде (например, портативные устройства или устройства, размещенные в носимых устройствах).

Непосредственное манипулирование – это модель ввода, которая предполагает имитацию прикосновения к виртуальным трехмерным моделям непосредственно руками. Непосредственное манипулирование основано на возможностях интерфейса, и оно удобно для пользователей [76, 112, 135]. В картографии эти возможности контента ДР могут быть использованы для перемещения трехмерного объекта в виртуальном пространстве, для получения атрибутивной и мультимедийной информации (текста, фото, видео, ссылки на геопорталы).

2 Датчики вне тела позволяют точнее воссоздавать элементы физического мира в виртуальных пространствах. Они монтируются таким образом, чтобы обеспечить беспрепятственный обзор для устройства ДР. Внешние камеры или датчики могут быть теоретически сколь угодно большими и не иметь жестких ограничений

в вычислительных ресурсах. Получение преимущества в функциональности означает одновременно потерю мобильности. Такие датчики служат для улучшения качества интеграции виртуальных объектов в объем реально существующего помещения за счет их равномерного распределения по его периметру.

3 Тактильные устройства (например, тактильные перчатки или жилеты) передают пользователю ощущение осязания с помощью вибраций для усиления виртуального опыта. Например, виртуальный объект можно «захватывать», «перемещать» с помощью тактильных перчаток. Очевидно, что такие тактильные устройства помогут пользователю управлять объектами, визуализированными в приложении ДР. Тактильные ощущения дополняют сенсорные экраны, позволяя имитировать взаимодействие с виртуальными объектами. На данный момент стоимость тактильных устройств высока, а их эффективность недостаточно исследована [90, 121, 139].

К тактильным датчикам можно отнести те, которые используют метод электромиографии – метод исследования биоэлектрической активности мышц человека. В картографической индустрии электромиография (ЭМГ) может применяться по принципу тактильных устройств для людей с ограниченными возможностями передвижения (церебральным параличом), так как потенциальным пользователям стоит только подумать о движении и послать электрический сигнал конечностям [101].

4 Микроэлектромеханические системы (МЭМС) используются для сбора данных об окружающей среде и основаны на комбинации миниатюрных механических и электронных элементов. Существуют как минимум три вида МЭМС:

- инерциальные датчики и датчики, относящиеся ко всем видам движения;
- датчики, контролирующие состояние окружающей среды;
- датчики, содержащие оптические элементы.

5 Датчики внутри мобильных устройств. Стандартом для современного мобильного устройства является наличие инерциальных датчиков, таких как гироскоп и акселерометр. Также используются механизмы идентификации (сканирование лица, считыватель отпечатков пальцев) на основе датчиков и оптических систем,

выполненных по технологии МЭМС [49]. В картографии эти датчики служат для определения местоположения пользователя и дальнейшего воспроизведения контента с координатной привязкой.

Рассмотренные выше типы датчиков позволяют реалистично представить виртуальные объекты, корректировать изображение в реальном режиме времени, чтобы перемещения наблюдателя, изменение положения устройства, изменение освещенности и другие действия не нарушали эффект погружения.

Формирование дополненной реальности происходит на устройствах, которые можно подразделить на следующие виды:

- *мобильные*, к которым относятся смартфоны, планшеты, очки (в будущем будут добавлены линзы дополненной реальности);
- *стационарные* (экран монитора, телевизор);
- *специальные инструменты* (например, специализированные шлемы).

В диссертационном исследовании акцент ставится на способы создания дополненной реальности на основе маркерной технологии.

Существует два основных инструмента создания приложений дополненной реальности:

- веб-сервисы по созданию дополненной реальности (Arvizer и др.) [18];
- платформы (программные среды) разработки (Unity, Unreal Engine и др.) [18, 47, 145].

*Веб-сервисы по созданию дополненной реальности* выполняют роль конструктора, который позволяет загрузить свои изображения (маркеры) и контент для дальнейшего воспроизведения в мобильном приложении Arvizer [18].

*Платформы разработки.* Для реализации интерактивных функций разработка картографических произведений с элементами дополненной реальности может осуществляться в различных средах разработки, имеющих в свободном доступе в сети Интернет. Большое количество сред для разработки объясняется рядом пользовательских предпочтений, понятным и интуитивным интерфейсом, функциональностью, стоимостью и другими факторами. Большинство из них бесплатны и

имеют библиотеку для выбора изображений в качестве меток, шаблонов трехмерных объектов в ограниченном количестве. Для создания индивидуальных приложений потребуется регистрация и дальнейшая загрузка своих данных на сайт программных платформ [17].

Существуют различные платформы, позволяющие разрабатывать сложные трехмерные интерактивные приложения, наиболее распространенные из них представлены на рисунке 1.8.

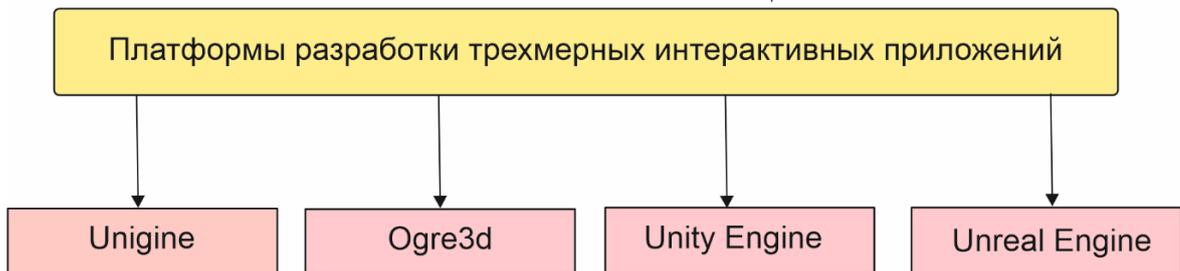


Рисунок 1.8 – Платформы разработки трехмерных интерактивных приложений

В качестве необходимых элементов создания приложений ДР, в платформы разработки трехмерных интерактивных приложений встраиваются дополнительные модули, реализующие технологии ДР.

Под платформами реализации технологий ДР (рисунок 1.9) понимаются программы отслеживания, такие как Vuforia и ARCore, которые используются для создания дополненной реальности в приложениях. Программы отслеживания (трекинга) используют камеру устройства для анализа окружающей среды. Они распознают маркеры (например, изображения, QR-коды) или характерные элементы реальных объектов (геометрию, текстуру и др.) с помощью методов компьютерного зрения. После распознавания объекта или поверхности система отслеживает их положение и ориентацию в реальном времени, что позволяет на экране устройства разместить виртуальные объекты к реальным объектам или поверхностям. На основе данных трекинга виртуальные объекты (3D-модели, анимации, текст) отображаются на экране устройства, создавая эффект дополненной реальности. Пользователь может взаимодействовать с виртуальными объектами через экран устройства.

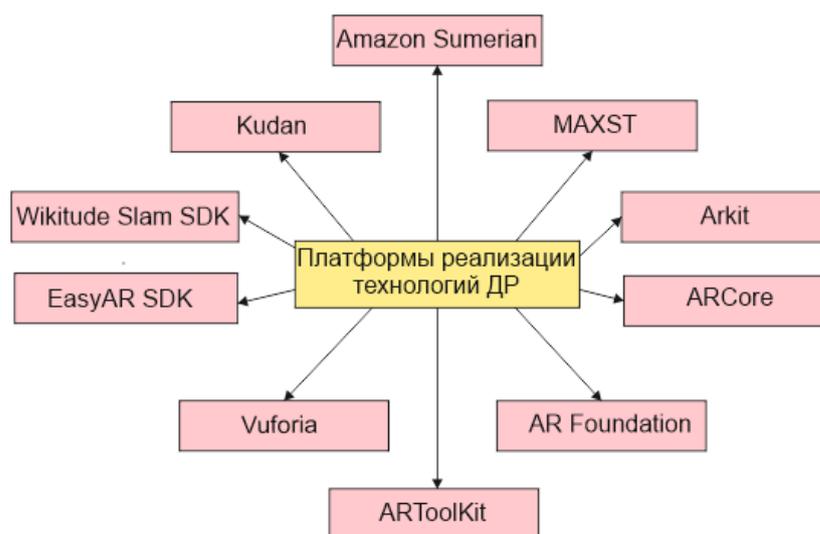


Рисунок 1.9 – Платформы реализации технологий дополненной реальности

Одной из таких платформ реализации технологий ДР является Vuforia, предлагающая поддержку большинства актуальных операционных систем [140]. Vuforia характеризуется функциональностью и производительностью, необходимыми для удовлетворения потребностей пользователей. Vuforia расширила поддержку операционных систем за пределы iOS и Android, выпустив обновление для планшетных устройств UWP следующего поколения, включая устройства Microsoft Surface Pro и Surface Book. Кроме этого, распространенными платформами для реализации ДР являются Kudan, ARCore (с поддержкой Android и iOS), ARKit (исключительно для iOS-устройств) [99, 116].

*Принципы управления отображением дополненной информацией.* Управление отображением дополняющей информации с помощью мобильных устройств требует комплексного подхода, учитывающего потребности пользователей, особенности представляемых данных и специфику использования мобильных устройств для обеспечения удобства и эффективности взаимодействия с картой.

Ravelka K. Jr. считает [132], что управление отображением объектов ДР осуществляется согласно нескольким ключевым принципам, которые обеспечивают точность, стабильность и удобство взаимодействия пользователя с интерфейсом ДР.

В таблице 1.3 представлены систематизированные принципы отображения картографической и иной информации посредством мобильного приложения дополненной реальности на основе маркерной технологии.

Таблица 1.3 – Принципы отображения объектов дополненной реальности на основе маркерной технологии

Принцип	Описание принципа
Точность позиционирования	Объекты ДР должны быть точно привязаны к картографическому маркеру
Стабильность	Объекты не должны смещаться при движении устройства
Ситуационное отображение	Объекты ДР появляются только в запрограммированное время и заданном месте
Интерактивность	Пользователь должен иметь возможность взаимодействовать с объектами ДР (например, масштабировать, вращать, перемещать)
Адаптивность и оптимизация	Необходимо учитывать различные характеристики мобильных устройств, такие как разрешение экрана и производительность, для обеспечения оптимального отображения дополненной реальности на аналоговой карте

### 1.7 Выводы по первому разделу

Проведен анализ развития научных исследований в области цифровой картографии и геоинформатики, истории развития и перспектив применения технологии ДР, а также способов визуализации картографической информации средствами ДР. Проанализированы основные понятия и определения ДР в отечественной и зарубежной литературе, на основе которых было сформулировано авторское определение. Систематизированы методические приемы применения технологий ДР в картографии с подразделением по способу определения объекта (точки) привязки, сценарные планы для каждого вида определенных видов. Рассмотрены виды датчиков, задействованных в реализации технологии иммерсивной реальности, в том числе ДР. Проанализированы способы создания приложения ДР.

По результатам анализа были сформулированы выводы:

– технология дополненной реальности – относительно новое направление в современной картографии, которое стало активно развиваться в последнее десятилетие;

– современные исследования в области ДР для аналоговых картографических произведений взаимосвязаны с достижениями метода картографического исследования и геоинформационного картографирования: геоинформационными системами, ГИС-анализом, веб-картографией, данными дистанционного зондирования Земли, технологиями трехмерного моделирования, компьютерной графики и алгоритмизации;

– развитие иммерсивных технологий, и, в частности, технологии дополненной реальности в разных странах находится на разных уровнях, значительных результатов в данной области достигли США, Япония, Китай, Германия и ряд других стран;

– отечественные исследования в сфере иммерсивных технологий, в том числе дополненной реальности, неразрывно связаны с развитием и совершенствованием подобных разработок и за рубежом, потому что идея применения ДР на аналоговых картах впервые была предложена и реализована за пределами нашей страны;

– в настоящее время в Российской Федерации широкое применение нашли несколько видов продукции, включающие в себя элементы дополненной реальности – навигационные мобильные приложения с функцией ДР, а также традиционные аналоговые (бумажные) картографические произведения с использованием мобильного приложения;

– на текущий момент отсутствует единая методика создания и использования аналоговой картографической продукции с элементами ДР, учитывающая особенности современного геоинформационного картографирования, картографических источников и др.;

– использование картографической продукции с элементами дополненной реальности важно для решения научных и прикладных задач. С помощью картографической продукции с элементами ДР могут быть решены следующие задачи:

устранение известных ограничений аналоговых карт; визуализация актуальной ситуации на картографируемой территории, что является подручным средством до выхода последующего тиража карты.

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО СОЗДАНИЮ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

В данном разделе предлагаются научно обоснованные методические решения по созданию и использованию картографической продукции с элементами дополненной реальности на основе аналого-цифрового картографического комплекса дополненной реальности (АЦКДР). Обосновывается важность качественной и количественной оценки его компонентов: аналоговой карты, программно-аппаратных средств разработки ДР, мобильных устройств, мобильного приложения ДР для последующего их включения в состав АЦКДР [6].

### 2.1 Средства создания аналого-цифрового картографического комплекса дополненной реальности

#### 2.1.1 Исследование и классификация аппаратно-программных средств для реализации технологии дополненной реальности в картографии

При реализации рассмотренных в первом разделе сценарных планов работы с дополненной реальностью используется комплекс аппаратно-программных средств. Рассмотрим детально составные части такого комплекса, с учетом специфики картографии (рисунок 2.1).

Аппаратные средства:

- датчики состояния мобильного устройства;
- устройства отображения;
- устройства слежения.

Программные средства:

- хранилище данных;
- API операционной системы;
- платформы разработки мобильных приложений;
- платформы реализации технологий ДР;

- программы графического дизайна;
- геоинформационные системы и сервисы;
- мобильные приложения дополненной реальности.

В предложенной классификации особое место занимает система рендеринга, которая относится как к аппаратной части (видеопроцессор), так и к программной (3D-приложение с определенными алгоритмами преобразования трехмерной сцены в двумерное изображение на устройстве отображения).



Рисунок 2.1 – Классификация аппаратно-программных средств, применяемых при реализации технологий ДР в картографии

На основе предложенной классификации были рассмотрены платформы реализации технологий ДР для выявления возможностей их использования при создании картографических произведений и элементами ДР. С этой целью были отобраны три платформы реализации на основании их финансовой доступности, наличия видеоуроков, поддержки маркерной привязки, возможности загрузки трехмерных объектов, созданных в других приложениях.

В таблице 2.1 представлены минимальные требования платформ реализации технологий ДР к операционным системам.

Таблица 2.1 – Минимальные требования платформ реализации технологий ДР к операционным системам

Операционная система	Vuforia	Kudan	ARKit
Android	Android 6.0	Последняя протестированная версия Android – 10.0.0 Минимальная поддерживаемая версия – Android 4.0.2 (уровень API 15)	отсутствует
iOS	Требуется iOS 14.0 или более поздние версии	Минимальная поддерживаемая версия – iOS 9, последняя протестированная версия iOS – iOS 13.6	iOS 11 или новее и процессором A9 или новее
Linux	отсутствует	отсутствует	отсутствует
Lumin OS	поддерживается	отсутствует	отсутствует
UWP	поддерживается	отсутствует	отсутствует
Windows	32- и 64-разрядная универсальная платформа Windows 1809 (10.0.17763) или более поздняя версия; Intel 32 и 64-бит, ARM 64-бит	Windows - V1.0.	отсутствует

В результате анализа и исследования платформ реализации технологий дополненной реальности были сформулированы минимальные технические характеристики, необходимые для их работы:

– программное обеспечение Vuforia поддерживает следующие операционные системы (ОС): Android 6.0, iOS 14.0 и более поздние, Lumin OS, Windows 1809 (10.0.17763) или более поздняя (32- и 64-разрядная универсальная платформа, Intel 32 и 64-бит, ARM 64-бит);

– для Kudan минимальные поддерживаемые версии: iOS 9, Android – 10.0.0, Windows – V1.0;

– ARKit является продуктом Apple, последняя поддерживаемая версия которого – iOS 11 или новее, процессор A9 или новее.

Следует отметить, что Vuforia и Kudan, рассмотренные выше, поддерживают кроссплатформенную среду для разработки Unity Engine, позволяющую создавать приложения, работающие на более чем 25 различных платформах. Широкий спектр возможностей данных платформ позволяет ускорить создание приложений дополненной реальности.

### 2.1.2 Критерии оценки платформ разработки мобильных приложений с функцией дополненной реальности

Процесс создания мобильного приложения дополненной реальности (МПДР) начинается с выбора программной платформы разработки, подходящей для реализации поставленных задач. Этот этап является ключевым, так как от выбора платформы зависят функциональность, производительность и масштабируемость будущего приложения. Выбор платформы разработки и детальное планирование этапов создания МПДР позволяют создать эффективное и востребованное мобильное приложение дополненной реальности, интегрированное с аналоговой картой. В этой связи потребуется анализ платформ разработки МПДР и выбор наиболее подходящего программного продукта, удовлетворяющего потребностям картографии.

Разработанная система критериев включает:

- 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.

Ниже раскроем содержание сформулированных выше критериев.

Функция «конвертация пользовательских фотографий/изображений для использования в качестве метки» значительно расширяет сферу применения программного обеспечения за пределы игровой индустрии. По сути разработчики из разнообразных сфер деятельности могут воспользоваться ими для создания своих информационных продуктов и последующего решения прикладных задач. Данная функция не относится к картографическим, но ее прикладное значение весьма велико.

Следующий критерий – *наличие встроенной библиотеки меток* – позволяет воспользоваться подготовленными разработчиками метками (встроенные в ПО или доступные на официальном сайте разработчика). Принятие решения по использованию в качестве метки границы географического объекта зависит от размера аналоговой карты или атласа, используемых в качестве основы, на поверхности которой отображаются элементы дополненной реальности.

*Возможность загрузки трехмерных моделей, созданных в сторонних программах*, позволит увеличить количество и улучшить качество создаваемых трехмерных моделей.

Данная система критериев не является окончательной. В процессе модернизации и введения новых функций в программные продукты, а также усовершенствования технических возможностей устройств, критерии могут изменяться и дополняться.

Далее в табличной форме представлены проанализированные программные продукты в соответствии с вышеописанными критериями (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Оценка платформ разработки МПДР в соответствии с критериями

Критерий	Unity Engine	Unreal Engine	Unigine	Ogre3D
Конвертации пользовательских фотографий/изображений для использования в качестве метки	Поддерживается через ARKit/ARCore, Vuforia	Поддерживается через ARKit/ARCore, Vuforia	Требуется интеграция с OpenCV, ARToolKit	Требуется интеграция с OpenCV, ARToolKit

Критерий	Unity Engine	Unreal Engine	Unigine	Ogre3D
Используемая библиотека меток	Встроенная поддержка: ARKit, ARCore Библиотеки меток: Vuforia, AR Foundation	Встроенная поддержка: частично ARKit, ARCore Библиотеки меток: Vuforia, OpenCV	Встроенная поддержка: нет Библиотеки меток: ARToolKit, Vuforia	Встроенная поддержка: нет Библиотеки меток: ARToolKit, Vuforia
Загрузка 3D-моделей	Поддерживает FBX, OBJ, GLTF и другие форматы	Поддерживает FBX, OBJ, GLTF и другие форматы	Поддерживает FBX, OBJ, DAE, 3DS и другие форматы	Поддерживает FBX, OBJ, DAE, 3DS (через плагины)

По результатам оценки сделаны выводы:

– Unity Engine более удобен для специалистов-картографов при создании приложений ДР с поддержкой пользовательских меток и 3D-моделей. Он прост в освоении и имеет развитую экосистему инструментов;

– Unreal Engine наиболее подходит для проектов, где требуется высокая графическая точность и визуализация, но требует значительных усилий для настройки функций ДР;

– Unigine лучше подходит для проектов, где требуется высокая производительность и качественная визуализация. Однако для реализации функций ДР требуется интеграция сторонних библиотек;

– Ogre3D имеет гибкие настройки, но требует значительных усилий для настройки и интеграции функций ДР.

Платформы разработки МПДР Unity Engine и Unreal Engine поддерживают оффлайн-работу и интеграцию с платформами реализации ДР, но для расширенных функций (например, библиотеки меток) может потребоваться использование сторонних SDK, таких как Vuforia.

Unigine и Ogre3D не имеют встроенной поддержки ДР и требуют использования сторонних библиотек (например, ARToolKit или OpenCV) для работы с маркерами. Они поддерживают оффлайн-работу и импорт 3D-моделей, но Unigine предлагает более мощные инструменты для визуализации и оптимизации.

Из перечисленных платформ для реализации интерактивных функций наиболее функциональным, с точки зрения создания дополненной реальности, является Unity Engine с поддержкой Vuforia [119, 145].

Программная среда разработки Unity Engine [17, 85, 145] работает 3D-моделями любой формы, создаваемыми в приложениях для моделирования. Однако, существует ряд геометрических примитивов, создаваемых прямо в Unity Engine: Куб (Cube), Сфера (Sphere), Капсула (Capsule), Цилиндр (Cylinder), Плоскость (Plane) и Квад (Quad). Эти объекты часто применяются стандартно (плоскость обычно используется в качестве поверхности рельефа). Любой из шаблонов может быть добавлен в сцену с помощью соответствующего пункта в меню.

Рассмотренные платформы разработки значительно различаются по функционалу и процессу реализации. Возможности платформ разработки совершенствуются с каждым новым обновлением.

## 2.2 Разработка аналого-цифрового картографического комплекса дополненной реальности

### 2.2.1 Классификация компонентов аналого-цифрового картографического комплекса дополненной реальности

По результатам выполненной классификации аппаратно-программных средств дополненной реальности, применяемых в картографии (см. рисунок 2.1), автором предлагается средство создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности – аналого-цифровой картографический комплекс дополненной реальности (АЦКДР) [6].

В состав АЦКДР входят четыре основных компонента (рисунок 2.2):  
– аналоговая карта;

- мобильное устройство;
- программно-аппаратные средства разработки дополненной реальности;
- мобильное приложение дополненной реальности.

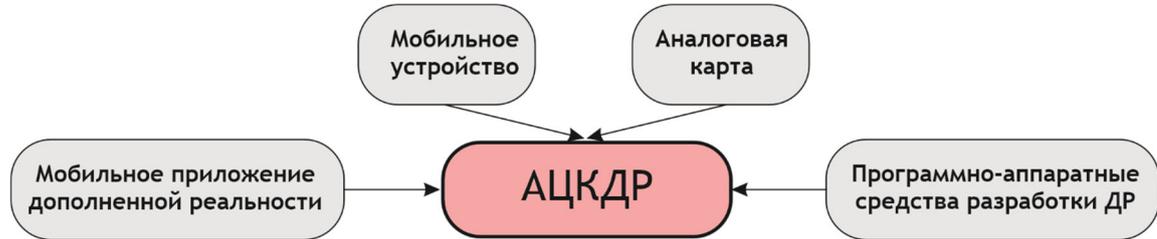


Рисунок 2.2 – Схема компонентов АЦКДР

АЦКДР позволяет создавать и визуализировать, в том числе в интерактивном режиме, подготовленные материалы в виде трехмерных и двумерных изображений, различных анимаций, текстовой информации и др. в режиме реального времени при наведении электронного мобильного устройства на карту или ее фрагмент.

Классификация компонентов аналого-цифрового картографического комплекса дополненной реальности производится на основе качественных и количественных критериев, разработанных автором в зависимости от их влияния на работу всего АЦКДР (таблица 2.3).

1 *Аналоговая карта* является источником информации и одновременно выступает в качестве маркера. При этом должны учитываться следующие параметры: коэффициент контрастности картографического изображения и физическое состояние карты.

В исследованиях [73, 74] рассматриваются количественная оценка и контроль качества дизайна картографического изображения, основанные на достижениях современной квалиметрии. Данная методика показывает возможность оценки качества картографического изображения.

Приемлемым значением является коэффициент контрастности картографического изображения не менее 4,5.

2 *Мобильное устройство* выполняет функцию слежения и отображения, а также оснащено датчиками состояния. Распознавание изображений опорных элементов (маркеров) выполняется при помощи встроенной камеры, затем виртуальные объекты демонстрируются на дисплее.

Мобильные устройства играют ключевую роль в реализации дополненной реальности. Они сочетают в себе необходимые аппаратные и программные компоненты, которые позволяют пользователям взаимодействовать с виртуальными объектами, наложенными на реальный мир и отображаемыми на экране устройства.

В настоящее время мобильные устройства оснащены камерами, гироскопами, акселерометрами и GPS, которые необходимы для отслеживания положения устройства и взаимодействия с реальным миром. Мобильные устройства являются основой для массового внедрения технологии ДР благодаря своей доступности и функциональности. Для успешной реализации ДР важно, чтобы устройство обладало достаточной производительностью, качественной камерой, точными датчиками.

Чтобы эффективно использовать мобильные устройства для АЦКДР, они должны удовлетворять следующим требованиям:

- объем оперативной памяти не менее 1 Гб;
- производительность процессора не менее 1,2 ГГц;
- внутренняя память не менее 16 Гб.

Также в качестве мобильных устройств могут использоваться очки дополненной реальности. Ввиду их ограниченного предложения на рынке и высокой стоимости, в рамках данного исследования экспериментальные работы с ними не производились.

3 *Программно-аппаратные средства разработки ДР* позволяют разработать внутреннее наполнение МПДР. К программно-аппаратным средствам разработки ДР относятся: программа разработки, персональный компьютер, геоинформационные системы и сервисы, редакторы трехмерной графики, программы графического дизайна. Согласно проведенной ранее классификации современных программно-

аппаратных средств сформулированы требования к программно-аппаратным средствам разработки ДР с учетом специфики каждого программного продукта.

При создании мобильного приложения пользователь формирует набор маркеров [28] и сохраняет их в библиотеку исходных изображений [72]. Система трекинга (отслеживания) Vuforia при помощи алгоритмов компьютерного зрения анализирует эти исходные (референсные) маркеры и извлекает их характерные признаки. Эти признаки записываются в специальную базу данных изображений дополненной реальности на официальном сайте Vuforia. Затем во время работы приложения дополненной реальности сканируется окружающая среда через камеру мобильного устройства и находит среди картинок реального мира запомненные признаки. Соответственно, по распознанным признакам программа отслеживания Vuforia находит исходные маркеры, после чего проводит оценку их положения, ориентации и размеров для правильного позиционирования проецируемых 3D-объектов. В Vuforia также можно настроить отслеживание сразу нескольких целей и отображение на них разных трехмерных моделей. Для этого на сайте [140] вместо одного изображения нужно подгрузить несколько – от двух и больше. Размер одного файла не более 2,25 МВ. Размер цели должен быть в том же масштабе, что и контент. В качестве шкалы измерений по умолчанию Vuforia и Unity Engine используют метрическую систему. Можно установить любое значение, а затем в самой программе разработки Unity Engine увеличить масштаб маркера до необходимого.

Обилие картографической информации, малый или слишком большой размер маркера дает зрительную нагрузку на картографическое произведение. Для достижения оптимального баланса необходимо учитывать масштаб карты, тип данных и целевую аудиторию, подбирая размеры и количество маркеров так, чтобы обеспечить упрощение восприятия информации. Также важно использовать различные визуальные средства, такие как цвета, формы и символы, чтобы разгрузить карту и сделать ее более понятной и удобной для пользователя.

После добавления сканированного изображения аналоговой карты сервис Vuforia ее оценивает и выставляет баллы в соответствии с качеством маркера. От 3 до 5 баллов является приемлемым значением, если ниже, то маркер лучше

заменить. Причем, даже если маркер на короткое время выйдет из области видимости камеры мобильного устройства, трекинг не нарушится, поскольку в таком случае система посчитает, что положение и ориентация маркера за это время не изменились.

В результате проведенного анализа были сформулированы критерии к платформам разработки:

- версия программы Unity Engine 2021.3.14f1 и выше.

Требования к ПК:

- 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.

Требования к ГИС:

- версия программы NextGIS 24.02.01 и выше.

4 *Мобильное приложение ДР* позволяет интегрировать картографическую продукцию с видеороликами, фотогалереями, движущимися фигурами, 3D-объектами и т. д.

Для корректной работы АЦКДР производительность аппаратного обеспечения при использовании мобильного приложения должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать время отклика 100–200 мс и более;
- обеспечивать скорость распознавания маркера до 5 с;
- заполнять не менее 70 % площади кадра камеры при первом обнаружении;
- быть хорошо освещенным и не иметь сильного наклона относительно камеры.

Отсюда можно сформулировать некоторые практические рекомендации по созданию маркеров и выбору эталонных изображений:

- эталонные изображения могут быть представлены в растровых форматах .PNG, .JPEG, TIFF и др.;

– рекомендуется использовать изображения с оценкой не ниже среднего в зависимости от шкалы оценивания, доступной на официальном сайте разработчика программы отслеживания.

Target Manager [59] – программная библиотека, позволяющая создавать базы данных целей и управлять ими на портале разработчиков Vuforia [85, 140].

Image Target [3] позволяет обнаруживать и отслеживать изображения, сравнивая извлеченные природные объекты из изображения камеры с известной базой данных целевых ресурсов. При обнаружении цели Vuforia отслеживает и дополняет изображение (рисунок 2.3).

The screenshot shows the Vuforia Target Manager interface. At the top, there is a navigation bar with links for Home, Pricing, Downloads, Library, Develop, and Support. Below this is a green navigation bar with buttons for License Manager, Target Manager, and Credentials Manager. The main content area shows the 'Target Manager' page for 'AR'. It includes a 'Type:' dropdown set to 'Targets (3)', an 'Add Target' button, and a 'Download Database (1)' button. A table lists the targets with columns for Target Name, Type, Rating, Status, and Date Modified.

Target Name	Type	Rating	Status	Date Modified
1683511073953	Image	★★★★★	Active	May 08, 2023 09:03
005	Image	★☆☆☆☆	Active	Apr 30, 2023 17:02
004	Image	★★★★★	Active	Apr 20, 2023 15:54

Рисунок 2.3 – База данных маркеров на сайте Vuforia

Для определения необходимого размера маркера возможно использовать формулу:  $S = 10 \cdot C$ , где  $S$  – дистанция,  $C$  – диагональ маркера [28].

Сформулированные критерии отбора компонентов для включения в АЦКДР представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Критерии отбора компонентов для включения в АЦКДР

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ	КАЧЕСТВЕННЫЕ
Аналоговая карта	
Коэффициент контрастности картографического изображения не менее 4,5	Физическая сохранность (где 1 – критическое состояние, а 5 – отличное)
Мобильное устройство	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– объем оперативной памяти не менее 1 Гб;</li> <li>– производительность процессора не менее 1,2 ГГц;</li> <li>– внутренняя память не менее 16 ГБ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– наличие сенсорного экрана;</li> <li>– наличие камеры;</li> <li>– наличие Wi-Fi, 2G/3G (либо 3G/4G);</li> <li>– возможность установки ПО;</li> <li>– поддержка карт памяти;</li> <li>– согласованность типа и версии ОС с инструментами разработки мобильного приложения</li> </ul>
Программно-аппаратные средства разработки дополненной реальности	
<p>Требования к программе разработки:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– версия программы Unity Engine 2021.3.14f1 и выше.</li> </ul> <p>Требования к ПК:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– процессор: многоядерный Intel или AMD с поддержкой набора инструкций SSE;</li> <li>– видеокарта: с поддержкой DX10, DX11, или DX12;</li> <li>– операционная система: Windows 7 (SP1+) / 10 64-разрядная.</li> </ul> <p>Требования к ГИС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– версия программы NextGIS 24.02.01 и выше</li> </ul>	<p>Требования к программе разработки:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– наличие функции конвертации пользовательских фотографий/изображений для использования в качестве метки;</li> <li>– наличие встроенной библиотеки меток;</li> <li>– возможность загрузки трехмерных моделей, созданных в сторонних программах;</li> <li>– возможность работы без доступа к сети Интернет.</li> </ul> <p>Требования к ПК:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– подключение к интернету для скачивания обновлений и ресурсов;</li> <li>– звуковое оборудование для работы с аудиоэффектами;</li> <li>– возможность подключения внешних устройств (например, VR/AR гарнитур) для тестирования.</li> </ul> <p>Требования к ГИС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– конвертация пространственной информации в растровые форматы;</li> <li>– разбивка на листы;</li> <li>– генерация цифровой модели рельефа и преобразование данных GeoTIFF в 3D-объекты</li> </ul>

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ	КАЧЕСТВЕННЫЕ
Мобильное приложение	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– время отклика 100–200 мс;</li> <li>– скорость распознавания метки до 5 с;</li> <li>– доля видимой части метки для продолжения распознавания 70 процентов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– наличие функции отслеживания пользовательских меток;</li> <li>– возможность загрузки и отображения трехмерных моделей;</li> <li>– наличие встроенных алгоритмов распознавания поверхностей, отслеживание положения</li> </ul>

Сформулированные критерии позволяют провести комплексную оценку компонентов АЦКДР и обеспечить интеграцию в единый технологический комплекс. Сочетание этих параметров обеспечивает корректное преобразование аналоговых карт в цифровой формат с сохранением читаемости и геометрической точности. Также критерии позволяют отбирать устройства, способные обеспечивать бесперебойное выполнение ресурсоемких задач, таких как трекинг меток и рендеринг 3D-моделей. Комплексный учет перечисленных параметров обеспечивает совместимость между ГИС-данными, платформой разработки МПДР и конечным приложением, минимизируя риски возникновения технических конфликтов. Критерии обеспечивают создание интуитивно понятного интерфейса, способного работать в условиях несовершенного окружения (например, при частичном перекрытии метки).

Предложенные критерии:

- унифицируют процесс отбора компонентов АЦКДР, исключая субъективность оценок;
- обеспечивают совместимость между аналоговыми картами и цифровыми технологиями ДР;
- позволяют прогнозировать работоспособность системы на этапе проектирования;
- создают основу для стандартизации разработки подобных систем в будущем.

## 2.2.2 Уровни функциональности мобильного приложения дополненной реальности

Основная задача мобильного приложения ДР – воспроизвести дополнительную информацию на экране смартфона или планшета в результате захвата изображения маркера камерой устройства. В качестве маркеров выступают картографические изображения, их фрагменты, либо контрастные изображения, накладываемые на карту в процессе воспроизведения внутреннего содержимого.

Интерфейс МПДР для использования с аналоговой картой должен быть интуитивно понятным, функциональным и эстетически привлекательным, чтобы обеспечить удобство использования и высокий уровень вовлеченности пользователей. Ключевые аспекты, которые следует учитывать при проектировании интерфейса МПДР: элементы управления, главное меню, отображение элементов ДР, дизайн и др.

Визуализация средствами ДР подразумевает обеспечение удобства и доступности интерфейса мобильного приложения. Определены три уровня функциональности мобильного приложения дополненной реальности: минимальный, базовый, профессиональный (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Уровни функциональности мобильного приложения ДР

<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	–	–	+

### 2.2.3 Разработка алгоритма обработки пространственных данных средствами геоинформационных систем для использования в среде разработки приложений дополненной реальности

На основании выполненного исследования разработан алгоритм обработки пространственных данных средствами ГИС для их использования в среде разработки приложений ДР в качестве маркера, представленный на рисунке 2.4.

Использование растровых изображений в качестве маркеров ДР связано с особенностями работы систем распознавания и обработки изображений. Рассмотрим основные причины, по которым растровые изображения предпочтительнее векторных.

1 Особенности алгоритмов распознавания. Системы ДР используют компьютерное зрение для распознавания маркеров. Эти алгоритмы работают с пиксельными данными, анализируя текстуры, контрастность, границы и другие особенности изображения. Векторные изображения требуют предварительной растеризации.

2 Уникальность и детализация. Растровые изображения могут содержать сложные текстуры, градиенты и мелкие детали, которые делают маркер уникальным и легко распознаваемым для систем ДР.

3 Скорость обработки. Растровые изображения представлены в формате, который напрямую обрабатывается системой ДР. Это ускоряет процесс распознавания, так как не требуется дополнительных преобразований.

4 Совместимость с библиотеками ДР. Большинство библиотек и фреймворков для ДР (например, ARKit, ARCore, Vuforia) оптимизированы для работы с растровыми изображениями.

5 Устойчивость к искажениям. Растровые изображения могут быть распознаны с учетом искажений, которые возникают при изменении угла обзора или расстояния до камеры. Это делает их более устойчивыми к различным условиям использования.

6 Простота создания и использования. Создание растровых маркеров проще и интуитивно понятнее для большинства разработчиков. Они могут быть легко созданы в графических редакторах и сразу использованы в МПДР.

Векторные изображения могут использоваться в реализации технологии ДР, в этом случае они предварительно конвертируются в растровые. Например, если маркер должен быть масштабируемым для разных устройств, его можно создать в векторном формате, а затем экспортировать в растровый для использования в системе ДР.

Источниками пространственных данных могут служить аэрокосмические снимки [48], электронные карты, цифровые модели рельефа и др.

На начальном этапе определяется тип исходных данных – векторные или растровые. Далее учитывается формат представленных данных. При обработке растровых данных определяется вид данных: матрица высот, мультиспектральный снимок или картографическое изображение. В зависимости от исходных данных применяются преобразования, представленные на рисунке 2.4.

В векторном типе данных различают картографическую основу, которую необходимо растривать, и объекты ДР, которые импортируются в МПДР в векторном формате [55].

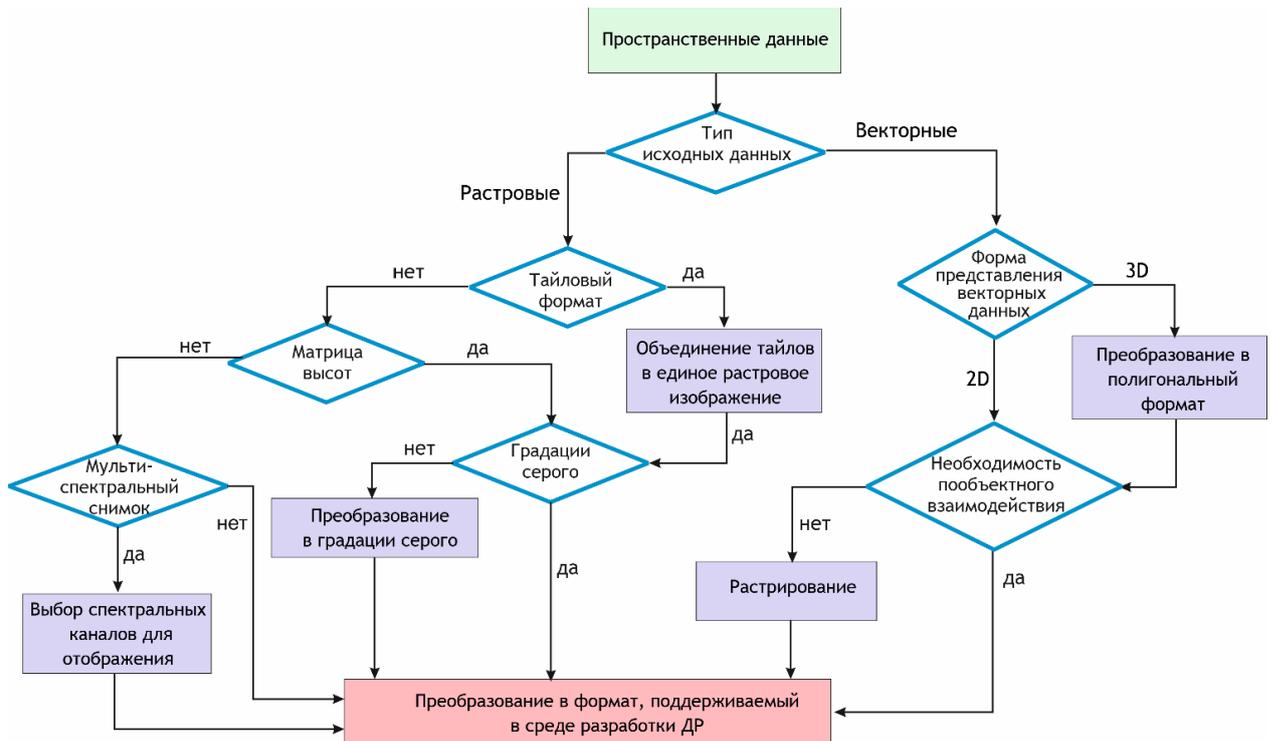


Рисунок 2.4 – Алгоритм обработки пространственных данных средствами ГИС для использования в платформе разработки приложений ДР

## 2.2.4 Разработка системы условных знаков для использования на аналоговых картах посредством мобильного приложения дополненной реальности

Разработка системы условных знаков (УЗ) для использования на аналоговых картах с помощью МПДР – это инновационный подход, который сочетает преимущества традиционных карт и современных технологий. Данный вопрос решается интеграцией методов и материалов картографии, дизайна и программирования.

Разработка системы условных знаков выполняется на основе использования существующего классификатора. Другим способом является создание авторских условных знаков дополненной реальности. УЗ создаются и интегрируются в платформу разработки МПДР (Unity Engine, Unreal Engine), в результате чего формируется классификатор (таблица 2.5).

УЗ должны быть легко распознаваемыми как человеком, так и алгоритмами ДР. Рекомендуется использовать контрастные цвета для выделения объектов.

Таблица 2.5 – Разработка системы условных знаков объектов ДР

Название этапа создания условного знака ДР	Описание этапа
Дизайн условного знака	Разработка уникальных условных знаков для каждой тематической категории (достопримечательности, рестораны, музеи и т. д.)
Цветовое оформление знака	Использование разнообразной цветовой палитры для обозначения разных типов объектов на карте, чтобы сделать их отличия более наглядными
Привязка в качестве объекта ДР	Добавление условных знаков в качестве элементов дополненной реальности
Формирование классификатора	Создание классификатора УЗ, чтобы пользователи могли быстро понять, что они обозначают
Тестирование	Тестирование отображения условных знаков в МПДР
Обновление	Непрерывное обновление и совершенствование системы УЗ с учетом замечаний пользователей и изменений картографируемой территории

Применение системы условных знаков на картах с элементами дополненной реальности представляет собой важный аспект, который требует тщательного определения правил и методов для достижения максимальной эффективности и доступности для пользователей. Ниже представлены основные принципы и рекомендации для определения правил применения системы условных знаков, представленные в таблице 2.6. Особенностью системы условных знаков, используемых в АЦКДР, является строгая привязка каждого элемента ДР к опорным точкам маркера, т. е. аналоговой карты или отдельному условному знаку на ней. На основе положения маркера в кадре вычисляются координаты для наложения графической информации (3D-объекты, текст, изображения и др.). Разработчиками используются проективные преобразования для корректного отображения графики относительно маркера.

В качестве точки отсчета в трехмерной среде может быть выбрана как позиция виртуальной камеры, так и центр маркера. Во втором случае данные о положении объекта преобразуются в данные о положении камеры относительно объекта. В итоге, положение виртуальной камеры относительно объекта и реальной камеры относительно маркера синхронизируются. Трехмерный объект извлекается из хранилища и его положение и масштаб устанавливаются на предварительно заданные

значения относительно маркера. Затем происходит визуализация финального двумерного изображения. Далее на кадр с видеопотока накладывается графическая информация (например, 3D-модели, текст, изображения) в соответствии с вычисленными координатами, отображаемая на экране мобильного устройства [28].

В случае создания динамических условных знаков, их движение по определенной траектории предварительно программируется и включает в себя заранее заданные координаты опорных точек. Также задаются скорость, время повторного движения.

Масштабируемость условных знаков АЦКДР достигается физическим отдалением от объекта отслеживания, т. е. маркера (аналоговой карты), и приближением к нему камеры мобильного устройства.

Таблица 2.6 – Рекомендации по определению правил составления и применения системы условных знаков ДР

Категория	Рекомендация
Целеполагание	Ассоциация каждого условного знака с конкретным объектом или явлением, который он представляет
Стандартизация условных знаков	С целью облегчения восприятия и читаемости карты важно использовать стандартизированные условные знаки, уже знакомые пользователю или хорошо читаемые
Цветовая схема	Цвета играют важную роль в привлечении внимания пользователя к определенным элементам на карте, поэтому следует использовать яркие цвета и контрастные комбинации для выделения объектов и данных
Интерактивность и динамичность	При использовании дополненной реальности можно добавить интерактивные элементы к условным знакам, такие как анимации, звуковые эффекты или дополнительные текстовые пояснения, чтобы дополнить визуальные данные на карте
Тестирование и обратная связь	Перед окончательным применением системы условных знаков рекомендуется провести тестирование с участием предполагаемых пользователей и получить обратную связь от них для оптимизации восприятия карты
Адаптация к устройствам	Учитывая разнообразие применяемых устройств, необходимо убедиться, что система условных знаков адаптирована под разные экраны и разрешения

Определение правил применения системы условных знаков для карт с элементами дополненной реальности играет решающую роль в обеспечении эффективного и понятного восприятия картографической информации пользователем. Важно помнить о целевой аудитории, стандартизации, цветовой схеме, интерактивности, тестировании и адаптации, чтобы создать МПДР, способное решить различные задачи.

### 2.2.5 Технологическая схема создания мобильного приложения дополненной реальности

Предлагаются научно обоснованные технические решения, представленные в виде технологической схемы создания мобильного приложения дополненной реальности, проиллюстрированной рисунками 2.5 и 2.6.

Ниже представлены этапы технологической схемы.

1 *Этап создания технического проекта на разработку мобильного приложения дополненной реальности (МПДР)* (рисунок 2.5) 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 получается перечень дополнений к аналоговой карте. Далее разрабатывается структура каталога объектов ДР. Для этого производится 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.

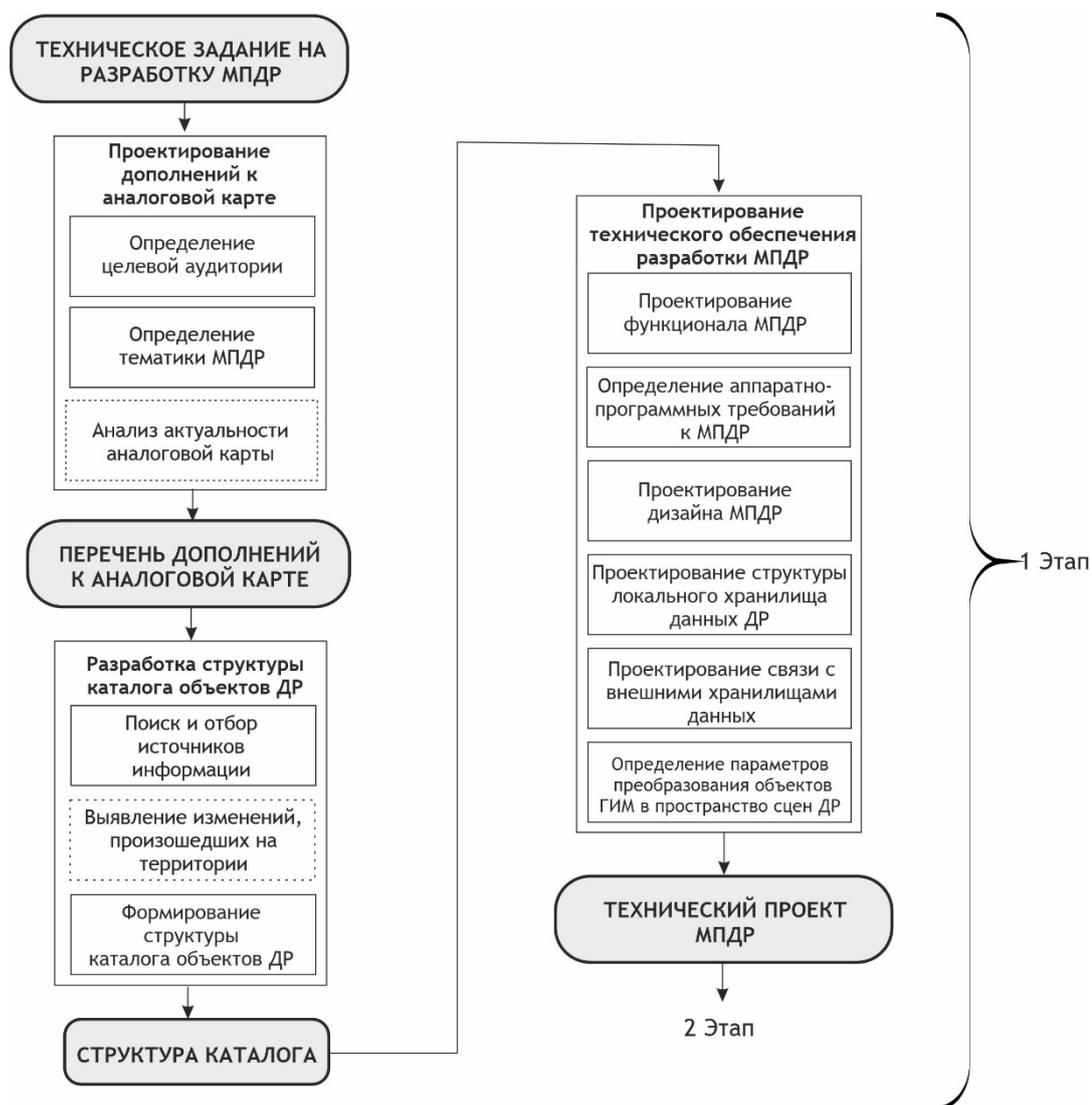


Рисунок 2.5 – Этап 1 «Создание технического проекта на разработку мобильного приложения дополненной реальности (МПДР)»

2 Этап разработки каталога объектов ДР и программного кода мобильного приложения (рисунок 2.6).

Выбранная на основе 1 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 (рисунок 2.6).*

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.

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.

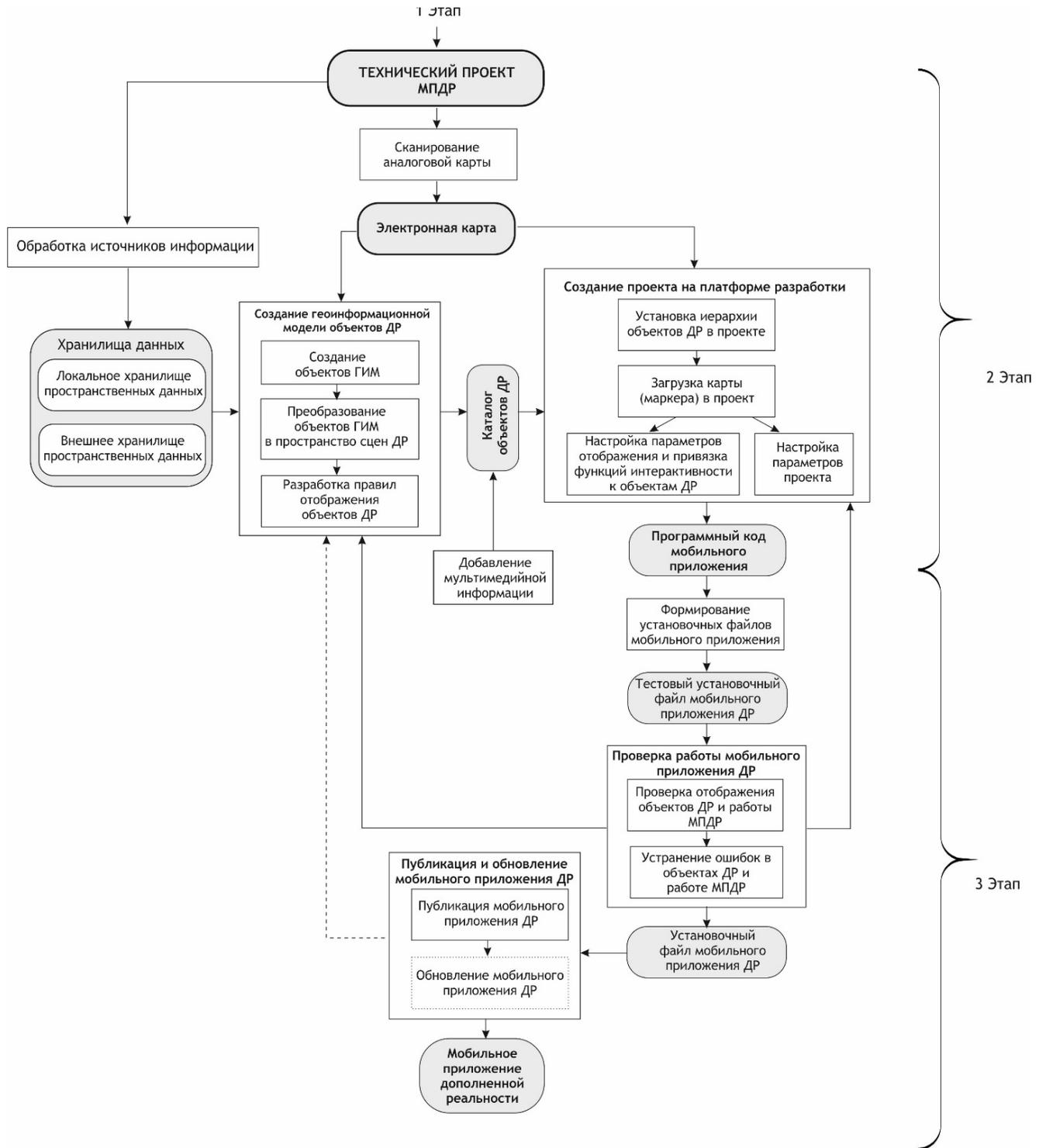


Рисунок 2.6 – Этап 2 «Разработка каталога объектов ДР и программного кода мобильного приложения», Этап 3 «Создание мобильного приложения ДР»

## 2.2.6 Разработка алгоритма воспроизведения мобильного приложения дополненной реальности

Воспроизведение МПДР осуществляется по стандартному алгоритму, в качестве маркера используется карта или ее фрагмент. Алгоритм воспроизведения пространственных данных в приложении ДР разработан для организации процессов связывания аналоговой картографической информации и объектов ДР (рисунок 2.7).

Последовательности выполнения алгоритма:

1 Запуск приложения.

МПДР запускается, инициализируя все необходимые компоненты.

2 Стартовое меню.

Пользователь видит стартовое меню, где может выбрать доступные опции или перейти в режим инициализации камеры.

3 Режим наведения камеры/инициализация камеры.

Активируется камера устройства, и начинается процесс захвата видеопотока.

4 Получение видеопотока с камеры.

МПДР получает видеопоток в реальном времени с камеры для дальнейшей обработки.

5 Обработка кадра из видеопотока.

Каждый кадр видеопотока обрабатывается с помощью алгоритмов компьютерного зрения на наличие маркеров (карты/ее фрагментов) или других объектов.

6 Поиск маркера (карты/ее фрагментов).

В обработанном кадре выполняется поиск заранее определенных маркеров (например, аналоговых карт, ортофотопланов и других картографических изображений).

7 Проверка наличия маркера.

Если маркер не найден, то процесс возвращается к шагу 5 для обработки следующего кадра.

Если маркер найден, то алгоритм переходит к следующему шагу.

#### 8 Вычисление места наложения, проективные преобразования.

На основе положения маркера в кадре вычисляются координаты для наложения графической информации. Используются проективные преобразования для корректного отображения графики относительно маркера.

#### 9 Наложение графической информации поверх кадра.

На кадр с видеопотока накладывается графическая информация (например, 3D-модели, текст, изображения) в соответствии с вычисленными координатами.

10 Вывод изображения на экран мобильного устройства, ожидание ввода пользователя.

Обработанный кадр с наложенной графикой выводится на экран устройства. Приложение ожидает дальнейших действий пользователя (например, взаимодействия с графикой или ввода команды).

#### 11 Завершение сеанса.

Если пользователь завершает сеанс, то приложение переходит к шагу 12.

Если сеанс продолжается, то процесс возвращается к шагу 5 для обработки следующего кадра.

#### 12 Выход из МПДР.

МПДР завершает работу, освобождая ресурсы и закрывая камеру.

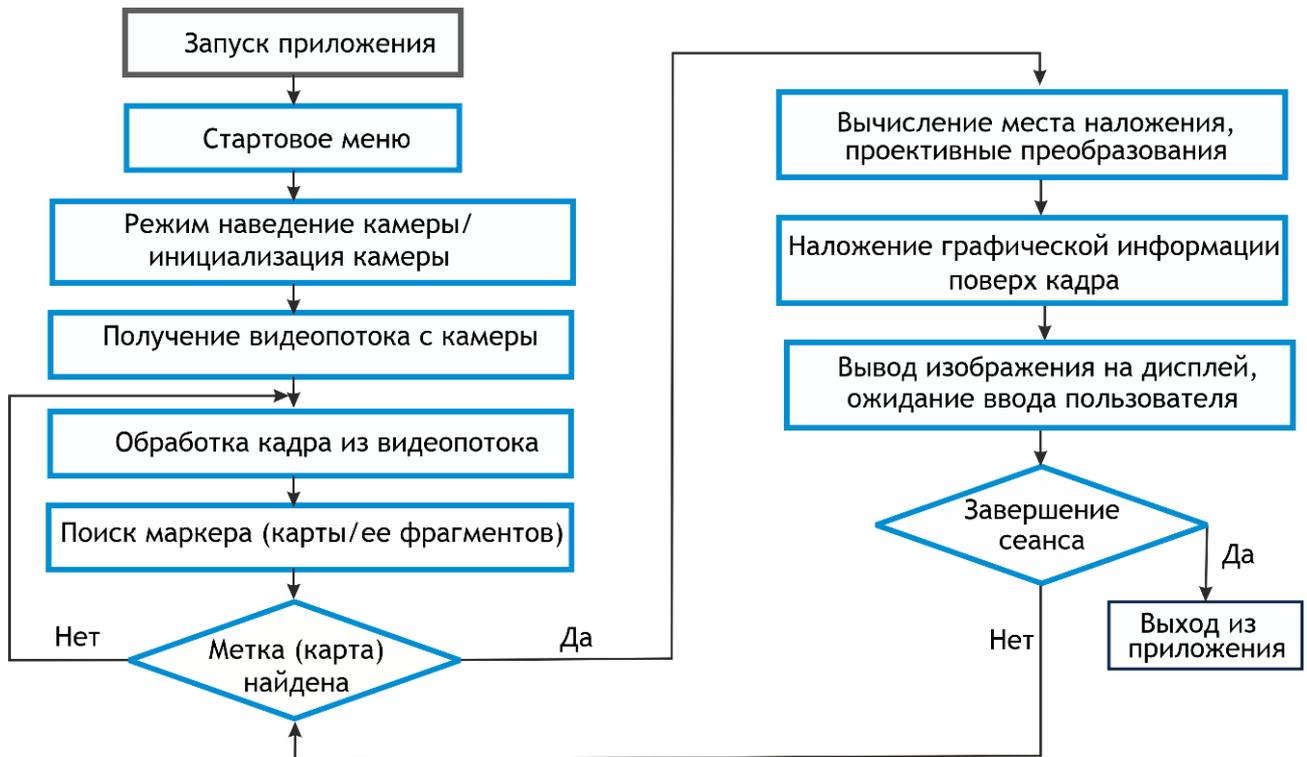


Рисунок 2.7 – Алгоритм воспроизведения пространственных данных в мобильном приложении дополненной реальности

### 2.2.7 Методика создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности

На основе технологической схемы создания и использования АЦКДР, алгоритма обработки пространственных данных средствами ГИС для использования в среде разработки приложений ДР и алгоритма воспроизведения пространственных данных в мобильном приложении дополненной реальности сформулировано научно-методическое обоснование применения технологии дополненной реальности в картографии. Оно базируется на следующих ключевых положениях, описанных ниже:

1 Теоретико-методологическая основа: системный синтез принципов традиционного картографирования и инновационных технологий ДР, разработка онтологии пространственных объектов для их корректного отображения в среде ДР, формализация правил картографической семиотики применительно к визуализации элементов ДР.

2 Технологическая платформа: многоуровневая архитектура обработки гео-данных (от сбора до визуализации), унифицированные протоколы преобразования ГИС-данных в форматы ДР.

3 Методический аппарат: классификация компонентов АЦКДР на основе качественных и количественных характеристик, технологическая схема создания и использования МПДР, алгоритмы обработки пространственных данных средствами ГИС для использования в платформе разработки приложений ДР и их воспроизведения в мобильном приложении ДР.

4 Прикладная реализация: методика ситуационного моделирования для различных сценариев использования, алгоритм моделирования движения динамических объектов.

В дальнейшем разработанное научно-методическое обоснование может стать основой формирования нормативной документации, например, ГОСТ, в области картографии и геоинформатики, становясь основой следующих процессов:

- стандартизации процессов картографирования с использованием технологий ДР;
- обеспечения воспроизводимости результатов;
- масштабирования решений на различные предметные области;
- интеграции с системами пространственного анализа.

Перспективы развития включают создание специализированных онтологий ДР для различных типов карт и разработку интеллектуальных систем адаптивной визуализации, учитывающих когнитивные особенности пользователей.

### 2.3 Выводы по второму разделу

В результате проведенного исследования:

- проведены анализ и классификация программно-аппаратного обеспечения создания и реализации технологии дополненной реальности в картографии;
- разработаны критерии оценивания и определены минимальные требования к платформам реализации технологии ДР и платформам разработки мобильных

приложений ДР, а также рассмотрены преимущества и недостатки для использования в целях исследования;

- проанализированы подходы для реализации отслеживания маркера на мобильных устройствах. В результате в качестве методической основы исследования выбрана платформа реализации технологий ДР на основе маркерной технологии;

- проанализированы современные методы разработки МПДР и выбрана программа разработки Unity Engine и платформа реализации технологии ДР Vuforia с целью осуществления задач исследования;

- введено понятие аналого-цифрового картографического комплекса дополненной реальности, определен состав компонентов АЦКДР;

- сформулированы качественные и количественные критерии отбора элементов АЦКДР, определены минимальные характеристики к элементам АЦКДР;

- определены уровни функциональности мобильного приложения ДР;

- разработаны алгоритмы обработки пространственных данных средствами ГИС для использования в среде разработки ДР и воспроизведения пространственных данных в мобильном приложении дополненной реальности;

- сформулированы рекомендации по определению правил составления и применения системы условных знаков;

- разработана современная методика создания и использования картографических продуктов с элементами ДР, учитывающая особенности геоинформационного картографирования.

Согласно выбранным методическим, алгоритмическим и технологическим решениям, которые являются основой при проведении экспериментальных работ, необходимо выполнить:

- разработку мобильного приложения дополненной реальности, в соответствии с разработанной методикой создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности;

- экспериментальные работы по тестированию корректности работы МПДР;

– апробацию методики создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности на примере МПДР для тематической и топографической карт.

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО АПРОБАЦИИ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ

В данном разделе представлена техническая реализация методики создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности. 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 дополненной реальности для дополнения топографической и тематических карт;
- разработан интерфейс мобильных приложений и сценарии их работы для решения задач по топографической и тематическим картам;
- разработаны прототипы мобильных приложений дополненной реальности для тематических и топографической карт.

#### 3.1 Экспериментальные работы по созданию прототипов мобильных приложений дополненной реальности

Из определения дополненной реальности, сформулированного в 1.2, следует, что для ее создания потребуется разработка приложения в специализированном программном обеспечении. Существует ряд подходов к разработке таких приложений. С целью апробации теоретических основ и методических решений, изложенных во втором разделе, проводились экспериментальные работы по созданию и реализации АЦКДР [6, 28].

Объектами эксперимента были выбраны:

- 1 Топографическая карта масштаба 1 : 200 000, Андрюшино.
- 2 «Калининград. План города в административных границах» масштаба 1 : 20 000.

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

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

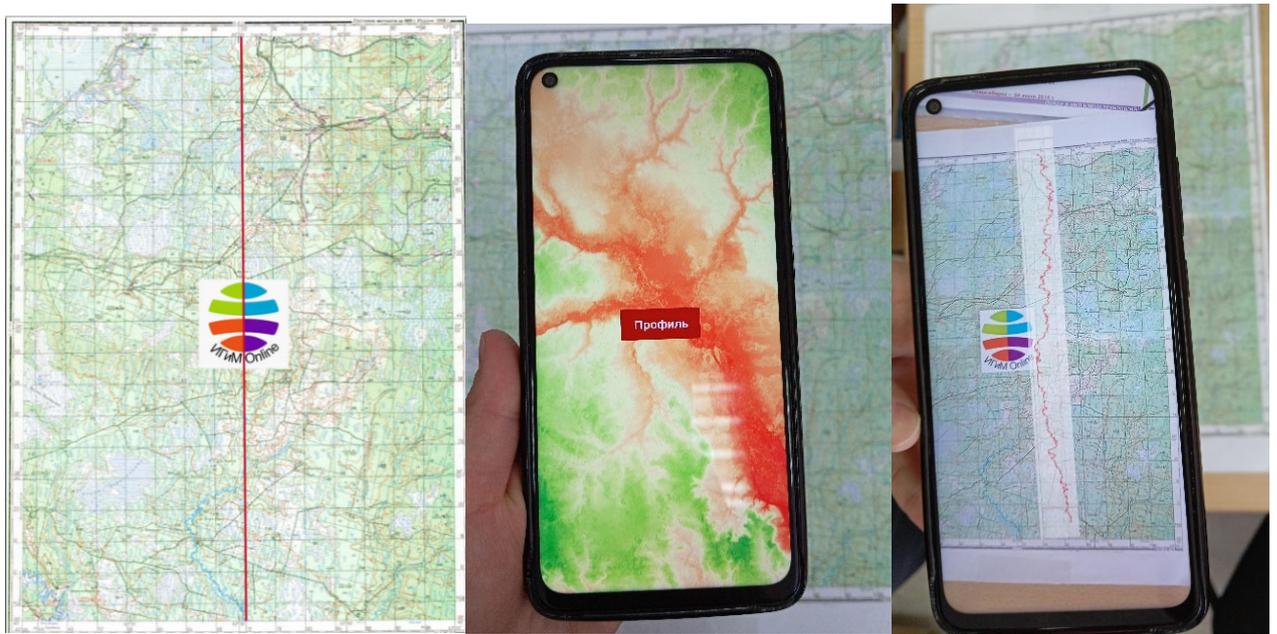
5 Цифровая модель объекта (ЦМО) ул. Народная г. Новосибирска масштаба 1 : 1 000, а также ортофотоплан данного участка местности.

*Прототип МПДР для аналоговой топографической карты «Андрюшино», масштаба 1 : 200 000.*

В процессе работы по тематике диссертационного исследования в качестве маркера была выбрана топографическая карта масштаба 1 : 200 000, Андрюшино [17]. Созданы элементы дополненной реальности на основе цифровой модели рельефа – матрицы высот SRTM, с использованием стандартной библиотеки шаблонов Unity Engine (рисунок 3.1). При этом потребовалось предварительно произвести обработку ЦМР в ГИС NEXGIS, а именно, произвести выбор необходимого фрагмента и визуализировать матрицу высот в 2D, построить профиль по заданным точкам.

После наложения маркера на участок карты соответствующий фрагмент матрицы высот был отсечен по границе карты и визуализирован в двумерном виде средствами ГИС NEXGIS. Далее средствами Unity Engine был создан управляющий элемент в виде иконки (рисунок 3.1, в), позволяющий отображать следующий фрагмент (сцену) наполнения мобильного приложения – топографический профиль, который создается вдоль линии, показанной на рисунке 3.1, а.

В рамках эксперимента переключение управляющего элемента в виде иконки происходит с помощью скрипта (приложение А). Рассматриваемое программное обеспечение прошло государственную регистрацию программ для ЭВМ (приложение Б) [58].



а)

б)

в)

Рисунок 3.1 – Отображение матрицы высот SRTM с переключением на топографический профиль средствами ДР:

- а) топографическая карта с маркером; б) отображение матрицы высот в двумерном виде и иконки переключения между наполнением (сценами);  
в) топографический профиль

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

Для эксперимента с тематической картой была выбрана аналоговая карта: «Калининград. План города в административных границах» масштаба 1 : 20 000, изданная в 2013 г. тиражом 10 000 экз. В качестве объектов ДР были использованы разработанные цифровые модели новостроек за период, прошедший после выхода тиража карты. Модели новостроек созданы в программном обеспечении трехмерной графики Blender (рисунок 3.2), с последующей интеграцией в платформу разработки трехмерных интерактивных приложений Unity Engine (рисунок 3.3).



Рисунок 3.2 – Идентификация и моделирование новостроек в ПО Blender на космическом снимке



Рисунок 3.3 – Подготовка сцены с новостройками в ПО Blender

Воспроизведение приложения ДР на экране мобильного устройства с визуализацией новых объектов представлено на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Визуализация новостроек в АЦКДР

Для апробации методики было решено расширить эксперимент на большее число прототипов мобильных приложений дополненной реальности, с разнообразными маркерами и объектами ДР. От филиала филиал ППК «Роскадастр» «Балтийское АГП» поступила заявка о расширении эксперимента на создание трехмерных моделей автомобилей, с эффектом движения по дорогам (рисунки 3.5–3.7).

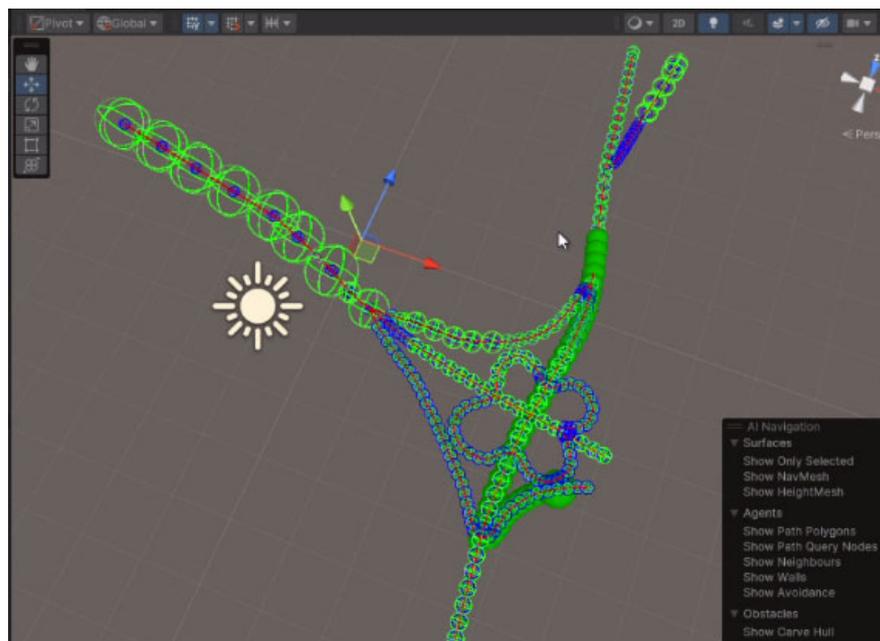


Рисунок 3.5 – Визуализация построения маршрута движения динамических объектов

Моделирование транспортных потоков в городской среде осуществлялось с использованием платформы разработки Unity Engine, в которой создавался шаблон с моделируемыми объектами – Prefab. Процесс моделирования автомобильного движения в условиях сложных дорожных развязок требует системного подхода, сочетающего методы геоинформационного моделирования и инструменты интерактивной визуализации. В рамках данного исследования применялся программный комплекс Unity Engine, оснащенный модулем SimplePathManager, обеспечивающим динамическое управление маршрутами транспортных средств. Последовательность этапов моделирования выглядит следующим образом.

### 1. Инициализация и пространственная привязка.

Исходной точкой процесса является загрузка сканированного фрагмента аналоговой карты г. Калининграда. Для обеспечения корректной пространственной привязки все элементы системы, включая управляющий объект SimplePathManager, инициализируются с нулевыми координатами трансформации, что исключает возникновение неточности позиционирования.

### 2 Формирование узловых элементов маршрутной сети.

Ключевым этапом является генерация системы Waypoints – узловых точек, определяющих траекторию движения. Каждая Waypoint (приложение Д) характеризуется:

- координатной привязкой к элементам дорожной инфраструктуры в местной системе координат платформы разработки Unity Engine;
- радиусом зоны влияния, параметры которого оптимизированы для исключения некорректных пересечений с посторонними объектами (строения, зоны озеленения и др.).

Критически важным аспектом является соблюдение принципа непересекаемости зон влияния соседних узлов, что обеспечивает соответствие генерируемых маршрутов реальной дорожной сети.

### 3 Построение топологически корректных маршрутов.

Связи между Waypoints формируют ориентированный граф, где:

- вершины соответствуют узловым точкам;

– ребра отображают допустимые направления движения.

Визуальным индикатором валидности связей выступают линейные элементы красного цвета, динамически формируемые между узлами (рисунок 3.6).

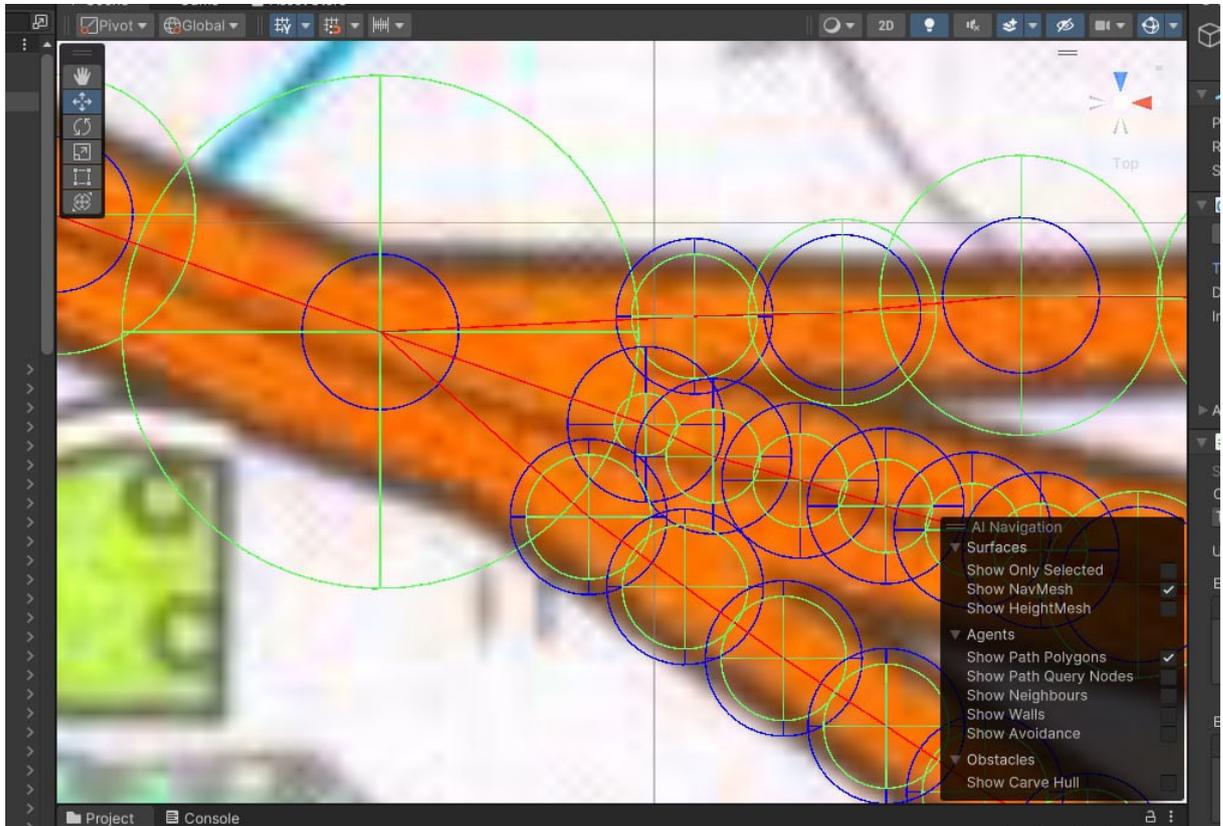


Рисунок 3.6 – Построение радиусов зоны влияния по точкам траектории движения автомобилей

#### 4 Верификация и оптимизация системы.

Финальный этап включает:

- контроль количества активных узлов через параметр Waypoint Count;
- назначение шаблона транспортного средства для симуляции движения;
- итеративную коррекцию параметров системы для устранения топологических конфликтов.

Совершенствование представленных этапов моделирования траекторий движущихся объектов способно обеспечить высокую степень соответствия моделиру-

емых транспортных потоков реальным условиям городской среды. Дальнейшее развитие системы предполагает интеграцию алгоритмов автоматической генерации Waypoints на основе открытых картографических данных, что повысит точность и эффективность процесса моделирования.

Применение данного подхода демонстрирует перспективность использования интерактивных сред для задач транспортного планирования и анализа городской мобильности (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Визуализация движения динамических объектов – автомобилей

*Прототипы МПДР для аналоговой карты «Политическая карта мира», школьный атлас для 7-го класса.*

В рамках проведенного исследования политическая карта мира была обновлена информацией о популяции мирового населения «Все люди в мире как 1000 человек» [111].

Согласно разработанным научно-методическим решениям созданы прототипы МПДР. Визуализация элементов ДР на экране мобильного устройства представлена в 2D-виде (рисунок 3.8, а) и в 3D-виде (рисунок 3.8, б).

*Прототип МПДР для аналоговой карты «Размещение населения», атлас для 8-го класса.*

В рамках эксперимента созданы прототипы мобильных приложений дополненной реальности для аналоговых картографических материалов. На основе карт школьного атласа создавались модели элементов дополненной реальности в трехмерном и двумерном видах (рисунок 3.9, а, б). Для карты «Размещение населения» визуализированы столбчатые диаграммы прироста населения (рисунок 3.9, в) и матрица высот в трехмерном виде (рисунок 3.9, г).

В настоящее время картографическое обеспечение уроков географии включает в себя географические атласы, производимые различными издательствами. Изучив и проанализировав атласы издательств «Полярная звезда» и «АСТ», был определен картографический материал для последующей разработки прототипа приложения дополненной реальности.

Учебная карта «Размещение населения» [7], присутствующая в школьном атласе для 8-го класса, нуждается в обновлении. Начальным шагом при разработке приложения дополненной реальности становится регистрация на официальном сайте [141]. База данных с изображениями, используемыми в качестве маркеров, хранится на сайте, показывая его рейтинг. По данному показателю производится отбор приемлемых маркеров, например, при значении выше 4 – маркер легко распознается камерой мобильного устройства.

Статистическая информация по приросту населения по источникам Росстата <https://rosstat.gov.ru>, в дальнейшем была преобразована в графический трехмерный вид средствами ПО Unity Engine при поддержке Vuforia. Прототип МПДР наполнил аналоговую карту дополняющей информацией [7], которая ранее не была отображена на ней на рисунке 3.9, в.

*Прототип МПДР для решения задач устойчивого развития территорий.*

Принятие решений о строительстве новых объектов или реконструкции старых – это трудоемкий процесс, требующий больших трудовых и экономических затрат. Технология дополненной реальности, применяемая в целях планирования стратегических направлений развития региона, может облегчить труд, сократить временные и финансовые затраты и способствует принятию взвешенного и всестороннего решения [10].

По предоставленным данным от заказчика в формате ГИС IndorRoad, которые представляли собой цифровую модель участка Калининского района г. Новосибирска в районе ул. Народная, масштаба 1 : 1 000 с подложками Open Street Maps и ортофотоплана (рисунок 3.8, а).

Визуализация существующих на местности жилых объектов осуществляется в платформе разработки ДР Unity Engine с использованием платформы реализации технологий ДР Vuforia. Воспроизведение МПДР на мобильном устройстве (смартфоне) с объектами после добавления текстуры показана на рисунке 3.8, б.



а)

б)

Рисунок 3.8 – Воспроизведение МПДР

а) ЦМО ул. Народная г. Новосибирск масштаба 1 : 1 000;

б) визуализация объектов ДР

Далее была выполнена визуализация проектируемого объекта (взамен снесенных старых зданий) (рисунок 3.9, в) [10].

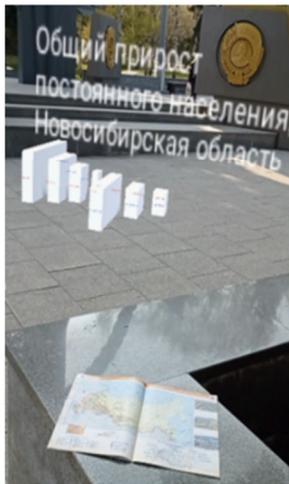
*Прототип МПДР для визуализации матрицы высот SRTM.*



а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.9 – Визуализация элементов дополненной реальности на мобильном устройстве:

а) трехмерный объект; б) отображение карты в двумерном виде; в) отображение динамики прироста населения; г) проектируемое здание

Ниже приведен пример дизайна интерфейса мобильного приложения дополненной реальности, используемого на лабораторных занятиях со студентами направления подготовки бакалавриата 05.03.03 Картография и геоинформатика по дисциплине «Цифровые технологии визуализации пространственных данных» (рисунок 3.10).

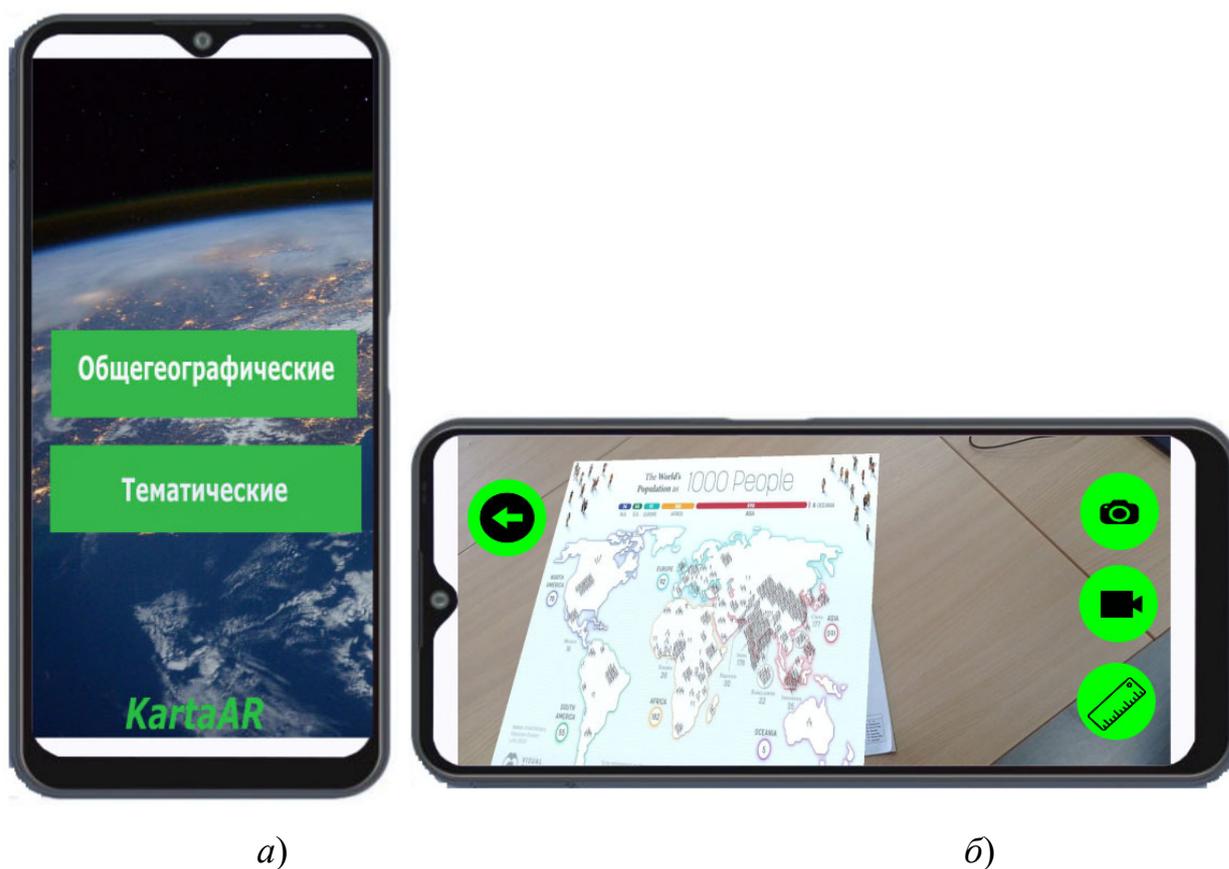


Рисунок 3.10 – Пример дизайна МПДР:

а) дизайн главного меню; б) дизайн кнопок меню МПДР

### 3.2 Анализ возможностей аналоговых карт с элементами дополненной реальности

Использование элементов дополненной реальности представляет собой инновационное направление, которое объединяет традиционную картографию с современными технологиями. По результатам апробации разработанной методики были сформулированы выводы о 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 возможности позволяют расширить функционал аналоговых карт и сделать процесс использования картографической информации более интерактивным для пользователей (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Перспективы использования АЦКДР

Виды карт	Описание использования	Примеры
Образование		
Интерактивные	Взаимодействие обучающихся с картой, получение дополнительной информации о странах, городах, рельефе и климате	С помощью АЦКДР можно визуализировать 3D-модели рельефа, гидрографии, исторических памятников и др.
Географические, исторические	Визуализация исторических событий, географических объектов и природных явлений	Посредством АЦКДР можно увидеть, как менялись границы государств или как происходили важные сражения
Туризм и навигация		
Туристические	Поиск достопримечательностей, ресторанов, отелей и других точек интереса	При наведении камеры на карту появляется обновленная информация о ближайших объектах
Навигационные в труднодоступных условиях	В местах с плохой связью или отсутствием GPS (например, в горах или лесах) АЦКДР могут служить инструментом для ориентации	Туристские карты городов или национальных парков, где МПДР показывает маршруты, расстояния и интересные места

Виды карт	Описание использования	Примеры
<b>Территориальное планирование и архитектура</b>		
Карты городской инфраструктуры	Визуализация объектов проектной документации (здания, дороги, парки)	Визуализация на существующей карте будущих объектов застройки
Генеральный план населенного пункта	Ознакомление жителей населенных пунктов с планами развития территории	Карты населенных пунктов с АЦКДР показывают, как будет выглядеть район после реконструкции
<b>Культура и искусство</b>		
Карта реконструкции	Визуализация утраченных объектов культурного наследия	Визуализация древних городов или замков на современной карте
Музейные экспозиции	Интерактивные экскурсии в музеях о исторических событиях или географических открытиях	Визуализация дополнительной географической и исторической информации об экспонатах музея
<b>Экология и природопользование</b>		
Эколого-географическая карта	Визуализация информации о загрязнении, состоянии лесов, водоемов и других природных объектов при презентации проектов	Лесные карты, где МПДР выделяет зоны вырубki или восстановления растительности в труднопроходимой местности
Экологическая карта	Повышение экологической грамотности	Экологические карты с МПДР
<b>Военное дело и чрезвычайные ситуации</b>		
Тактическая карта	Визуализация стратегических данных на аналоговых картах	Визуализация расположения войск противника, его инфраструктура
Карты чрезвычайных ситуаций	Оценка ситуации и планирования операций, либо в качестве инструкции по дальнейшим действиям на поле боя	Карта района стихийного бедствия, где АЦКДР показывает зоны затопления или разрушений

Виды карт	Описание использования	Примеры
Военно-топографическая карта	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
Рекреация и игры		
Образовательно-развлекательные карты	Создание интерактивных квестов	Аналоговая карта с ДР, по которой участники ищут объекты или решают задачи
Туристическая карта для геокэшинга	Повышение информативности и интерактивности туристических игр	Игровая карта АЦКДР, которая оживает при наведении камеры, показывая подсказки и задания

Применение технологии дополненной реальности в целях расширения содержания аналоговой карты осуществляется в следующем порядке: «цифра накладывается на бумагу», то есть специальные метки наносятся на тиражный оттиск карты (так называемая маркерная технология), при этом возникают следующие дополнительные возможности, связанные со свойствами карты, которые проведены в Межгосударственном стандарте «Картография. Термины и определения» [19]: качество, наглядность, современность и нагрузка карты. Рассмотрим суть дополнительных возможностей, которые дает внедрение ДР.

Повышается *качество* карты – как расширение свойств карты, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Например, учебные карты могут быть дополнены моделями объектов местности, которые позволят школьнику установить связь условного знака с реаль-

ным объектом. По карте можно производить измерения виртуальной линейкой, получать дополнительную информацию о картографируемых объектах в текстовой, аудио-, видео- и других формах.

Повышается *наглядность* карты – как возможность зрительного восприятия пространственных форм, размеров и размещения объектов картографирования. Здесь в первую очередь важна трехмерность. Обучающийся может легко изучать окружающий мир и взаимодействовать с ним через виртуальную карту, основанную на реальной системе координат.

Повышается *актуальность* карты – как соответствие карты современному состоянию объектов картографирования. Бумажную карту можно «обновить» актуальной цифровой информацией.

Увеличивается *информационная емкость* карты – как заполненность карты условными знаками и надписями.

На основе диссертационного исследования были разработаны прототипы МПДР, предназначенные для визуализации средствами дополненной реальности картографической продукции. Разработка была апробирована на занятиях по дисциплине «Цифровые технологии визуализации пространственных данных» в Сибирском государственном университете геосистем и технологий.

Для экспериментальной проверки восприятия результатов визуализации геопространственных объектов в прототипах МПДР был выбран метод социологического опроса в форме онлайн-тестирования, проведенного с помощью сервиса «Google Формы». Структура опроса представлена в таблице Г.1 приложения Г. Форма опроса была опубликована 15.02.2025, а ссылки на нее размещены в различных тематических группах в социальных сетях, в результате чего тестирование прошли 83 респондента. Процентное распределение голосов тестируемых отображено на рисунках Г.1 – Г.3 приложения Г.

Наибольший интерес респонденты проявили к следующим видам МПДР:

– к специализированным приложениям (геодезическим, картографическим и др) – 71,1 %;

- для образовательных целей – 65,1 %;
- для путешествий – 47 %;
- медицинские – 24,1 %;
- для розницы/коммерции – 15,7 %;
- развлечения/игры – 1,2 %.

По мнению большинства респондентов (57,8 %), эффективность обновления предложенного фрагмента карты г. Калининграда посредством МПДР, визуализированном на экране мобильного телефона, составляет 60 % и выше (приложение Г).

В свою очередь, по мнению 73,5 % опрошенных информативность топографической карты возрастает на 60 % и более.

Далее респонденты выбрали новые свойства, приобретенные аналоговой картой, при использовании МПДР (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Новые свойства, приобретаемые аналоговой картой при использовании МПДР

Свойство	Распределение голосов опрошенных, в %
Интерактивность	71,1
Реалистичность	55,4
Простота пользовательского интерфейса	44,6
Просмотр в нескольких ракурсах	72,3
Простота в понимании, наглядность	1,2

В результате проведенного опроса выявлены новые свойства аналоговой карты при использовании МПДР: интерактивность, реалистичность, просмотр в нескольких ракурсах, простота пользовательского интерфейса. Стоит учитывать, что специализированные МПДР разрабатываются под определенную задачу и в зависимости от этого их внутренне наполнение может отличаться по рассмотренным ранее уровням (приложение Г) [39].

Для реализации функции дополненной реальности в картографии необходимо применение специализированного программного продукта. В настоящее время разработанные приложения ДР не имеют прямой связи с отечественными геоинформационными системами, которые являются основным инструментом в картографии. Данный аспект во многом является препятствием для распространения элементов ДР в картографии. Функционал и сферы охвата ГИС постоянно расширяются. Поддержка 3D- и 4D-, функций мультимедиа, взаимодействие с инструментами бизнес-анализа и др. – привычный функционал большинства ГИС. Возможно, что в ближайшем будущем дополненная реальность откроет новые перспективы, воссоздаст виртуальные элементы намного реалистичнее и займет свое место в функционале ГИС.

Можно выделить основные сложности, с которыми сталкиваются специалисты при создании приложений ДР картографической направленности:

- не существует готовых библиотек картографических условных знаков в 3D-формате;
- низкое качество трехмерной модели объекта при ее автоматическом создании по двумерному изображению;
- абсолютное большинство сред разработки приложений ДР не поддерживает географические координаты и вычисления на сфере;
- сложность соотнесения координат устройства пользователя с координатами виртуальных объектов в трехмерной сцене;
- отсутствие в открытом доступе шаблонов приложений ДР, классифицированных по территориальному или тематическому признакам;
- отсутствие встроенных алгоритмов обработки условных знаков с картографических изображений, например, восстановление поверхности по горизонталям;
- сложности прямой передачи атрибутивной информации из картографических источников в среду разработки приложений ДР.

Специалисты-картографы нуждаются в привычном функциональном интерфейсе, доступном в большинстве геоинформационных систем. Функционал создания дополненной реальности в ГИС в настоящее время недоступен.

В рамках картографии внедрение элементов дополненной реальности позволит своевременно обновлять карты и атласы, добавлять необходимые пояснения, условные обозначения, трехмерные модели, интерактивность картографической продукции, а также добавлять данные дистанционного зондирования Земли.

### 3.3 Выводы по третьему разделу

В результате проведения экспериментальных исследований получены следующие результаты:

- представлена техническая реализация разработанной методики создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности в картографии;
- в соответствии с разработанными критериями 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 тематических карт;
- разработан интерфейс мобильных приложений и сценарии их работы для решения задач по топографической и тематическим картам;
- разработаны прототипы мобильных приложений дополненной реальности для тематических и топографической карт;
- выполнена апробация методики создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности на примере МПДР для тематических и топографической карт.

## 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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Аббревиатура	Расшифровка
АЦКДР	аналого-цифровой картографический комплекс с элементами дополненной реальности
ГИМ	геоинформационная модель объектов
ГИС	геоинформационная система
ДЗЗ	дистанционное зондирование Земли
ДР	дополненная реальность
МЛС	мобильное лазерное сканирование
МПДР	мобильное приложение дополненной реальности
ООН	Организация объединенных наций
ПО	программное обеспечение
ППК	Публично-правовая компания
РФ	Российская Федерация
УРТ	устойчивое развитие территорий
ЦММ	цифровая модель местности
ЦМО	цифровая модель объекта
3D	трехмерный
4D	четырёхмерный (добавляет время)
Apk	Android Package Kit
BBC	Британская вещательная корпорация
GPS	Global Positioning System (Глобальная система позиционирования)
SDK	software development kit (комплект для разработки программного обеспечения)
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission (международный исследовательский проект по созданию цифровой модели высот)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Автоматизация процессов проектирования мультимасштабных карт: концептуальные основы и решения / С. А. Крылов, Г. И. Загребин, О. И. Котова, Е. И. Карюкина, Д. А. Мосолов, Е. В. Правский, А. П. Фещенко. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2023. – Т. 67. – № 6. – С. 6–20. – DOI 10.30533/GiA-2023-063.

2 Автомобильная навигация с дополненной реальностью теперь есть и в телефонах. – URL: <https://matador.tech/news/avtomobilnaa-navigacia-s-dopolnennoj-realnostu-teper-est-i-v-telefonah>. – Текст : электронный.

3 Ажилай, А. А. Методика использования туристской карты через приложение с дополненной реальностью по разработанной технологической схеме создания карты / А. А. Ажилай, Е. В. Комиссарова, А. А. Колесников. – 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. 101–110. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-2-101-110.

4 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.

5 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.

6 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. – EDN FUTVSY.

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 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.

9 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.

10 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.

11 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.

12 Берлянт, А. М. Виртуальные геоизображения / А. М. Берлянт. – Москва : Научный мир, 2001. – 56 с. – Текст : непосредственный.

13 Берлянт, А. М. Картографический словарь / А. М. Берлянт. – Москва : Научный мир, 2005. – 424 с. – Текст : непосредственный.

14 Берлянт, А. М. Картография : учебник для вузов / А. М. Берлянт. – Москва : Аспект Пресс, 2002. – 336 с. – Текст : непосредственный.

15 Бешенцев, А. Н. Информационная концепция картографического мониторинга геосистем : диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук / Бешенцев Андрей Николаевич, 2013. – 332 с. – Текст : непосредственный.

16 Бешенцев, А. Н. Научные основы информационной концепции картографического метода исследования / А. Н. Бешенцев. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 23, № 1. – С. 85–110.

17 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.

18 Возможности сервиса ARVIZOR – URL: <https://startup-tour22.storage.yandexcloud.net/52/8694a8ebae218728f2582d8c336411.pdf>. – Текст : электронный.

19 ГОСТ 21667–76. Картография. Термины и определения: Межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 31.03.76 № 730; введен 01.07.1977. – Москва : ИПК Издательство стандартов. – 40 с. – Текст : непосредственный.

20 Зильберман, М. Увлекательная химия с дополненной реальностью. – URL: <https://edcommunity.ru/communication/blogs/detail.php?blog=maria-zilberblog&id=1099>. – Текст : электронный.

21 Индустриальный AR: как корпорации используют дополненную реальность. – URL: <https://rb.ru/longread/industrial-AR/?ysclid=11tff5sbql>. – Текст : электронный.

22 Как Яндекс создавал дополненную реальность в Картах для iOS. Опыт использования ARKit. – URL: <https://habr.com/ru/companies/yandex/articles/421957/>. – Текст : электронный.

23 Карпик, А. П. Концепция развития геодезической отрасли в условиях пост-индустриальной эпохи и перехода к цифровой экономике / А. П. Карпик, Д. В. Лисицкий. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80, № 4. – С. 55–64.

24 Карпик, А. П. Перспективы развития геодезического и картографического производства и новая парадигма геопространственной деятельности / А. П. Карпик, Д. В. Лисицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-19-29.

25 Картографическая оценка долговременной динамики природопользования дельтовой территории по разновременным топографическим картам / А. Н. Бешенцев, С. А. Петров, Т. А. Борисова, А. А. Лубсанов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 2. – С. 62–72. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-2-62-72.

26 Карты Google оффлайн — как скачать и дополнительные возможности. – URL: <https://remontka.pro/google-maps-offline/>. – Текст : электронный.

27 Концепция архитектуры системы непрерывного геоинформационного мониторинга на базе пространственно координированных видеопотоков с использованием специализированных нейросетевых моделей / А. А. Майоров, А. В. Матерухин, Ю. В. Бельшева, О. Г. Гвоздев. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2023. – Т. 67, № 6. – С. 33–48. – DOI 10.30533/GiA-2023-058.

28 Кравцов, А. А. Исследование и разработка информационной системы с технологией интерактивной визуализации средствами дополненной реальности : специальность 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кравцов Алексей Александрович. – Краснодар, 2016. – 22 с. – Текст : непосредственный.

29 Кравченко, Ю. А. Особенности использования технологии дополненной реальности для поддержки образовательных процессов / Ю. А. Кравченко, А. А. Лежебоков, С. В. Пащенко. – Текст : непосредственный // Открытое образование. – 2014. – № 3. – С. 49–54.

30 Крылов, С. А. Методика автоматизированного согласования информации в картографической базе данных / С. А. Крылов. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2024. – Т. 68, № 4. – С. 53–61. – DOI 10.30533/GiA-2024-039.

31 Лисицкий, Д. В. Новый аналого-цифровой метод формирования и использования картографического отображения геопространства с применением мультимедийных средств. / Д. В. Лисицкий, Е. В. Комиссарова. – Текст : непосредственный // InterCarto. InterGIS. ГИС-поддержка устойчивого развития территорий : материалы международной конференции. – Москва : Издательство Московского университета. – 2020. – Т. 26, № 1. – С. 361–374. – DOI 10.35595/2414-9179-2020-1-26-361-374.

32 Лисицкий, Д. В. Перспективы развития картографии: от системы «Цифровая Земля» к системе виртуальной геореальности / Д. В. Лисицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГГА. – 2013. – № 2 (22). – С. 8–16.

33 Лебзак, А. О. Разработка концепции создания объектов древесной растительности для цифрового двойника местности с использованием геопространственных знаний и данных дистанционного зондирования / А. О. Лебзак, Е. В. Лебзак, В. П. Ступин – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 6. – С. 98–105. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-98-105.

34 Лурье, И. К. Геоинформационное картографирование / И. К. Лурье. – Москва : КДУ, 2016. – Текст : непосредственный.

35 Лурье, И. К. Цифровая эпоха в картографии: от автоматизации к картографическим сервисам / И. К. Лурье. – Текст : непосредственный // Вопросы географии. – 2017. – № 144. – С. 15–28.

36 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.

37 Майоров, А. А. Геопространственные технологии в концепции «Умного города»: анализ и исследование примеров использования / А. А. Майоров, А. В. Артамонов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. – Т. 62, № 2. – С. 218–222.

38 Мультимедийные средства и технологии в картографии : монография / Д. В. Лисицкий, Е. В. Комиссарова, А. А. Колесников, Т. С. Молокина. – Новосибирск : СГУГиТ. – 2016. – 190 с. – Текст : непосредственный.

39 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.

40 Навител Навигатор 11 теперь и на Android! – URL: <https://navitel.ru/ru/about/news/2021/02/nn11-android-release>. – Текст : электронный.

41 Николаева, О. Н. Картографическое обеспечение рационального природопользования региона : монография / О. Н. Николаева. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 170 с. – Текст : непосредственный.

42 Николаева, О. Н. О проектировании тематического содержания системы цифровых картографических моделей природных ресурсов региона / О. Н. Николаева. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2016. – № 7. – С. 25–30. – DOI 10.22389/0016-7126-2016-913-7-25-30.

43 О новых подходах в технологиях создания электронных (цифровых) карт / Ю. С. Александров, А. Н. Сердюков, В. А. Леонтьев, С. П. Присяжнюк. – Текст : непосредственный // Информация и космос. – 2022. – № 4. – С. 152–157.

44 Онтологии кибер-физических систем национального цифрового двойника Великобритании и BIM на примерах умных городов, железных дорог и других проектов / В. П. Куприяновский, Д. Е. Намиот, А. А. Климов [и др.]. – Текст : непосредственный // International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – Т. 9, № 3. – С. 91–130.

45 Особенности Яндекс.Навигатора. – URL: <https://yandex.ru/blog/company/novye-vozmozhnosti-yandeks-navigatora>. – Текст : электронный.

46 Официальный сайт Blender. – URL: <https://www.blender.org/>. – Текст : электронный.

47 Официальный сайт Unity. – URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>. – Текст : электронный.

48 Пластинин, Л. А. Принципы создания электронных топографо-тематических карт с использованием ГИС и данных ДЗЗ. / Л. А. Пластинин, Х. З. Хуан, Д. Г. Сыренов. – Текст : непосредственный // Приложение к журналу Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. Сборник статей по итогам научно-технической конференции. – 2014. – № 7–1. – С. 132–134.

49 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.

50 Пошивайло, Я. Г. Анализ структурных элементов цифровой тематической карты / Я. Г. Пошивайло. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 1 : Национальная науч. конф. с междунар. участием «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – № 2. – С. 62–67. – DOI 10.33764/2618-981X-2020-1-2-62-67.

51 Пошивайло, Я. Г. Формализация представления технологических процессов картографирования на основе системно-технического анализа / Я. Г. Пошивайло, Д. В. Лисицкий. – Текст : непосредственный // Информация и космос. – 2023. – № 2. – С. 106–113.

52 Присяжнюк, С. П. Современное состояние и направления развития геоинформационных систем / С. П. Присяжнюк, В. Н. Филатов. – Текст : непосредственный // РТИ Системы ВКО – 2016 : Труды IV Всероссийской научно-технической конференции, город Москва, 02–03 июня 2016 года. – Москва : Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2017. – С. 825–829.

53 Пространственные данные: потребности экономики в условиях цифровизации / В. А. Спиренков, Ф. В. Шкуров, Е. Б. Белогурова [и др.]. – Москва : Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2020. – 128 с. – Текст : непосредственный.

54 Пьянков, С. В. Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений : монография / С. В. Пьянков, А. Н. Шихов. – Пермь, 2017. – 148 с. – Текст : непосредственный.

55 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.

56 Самсонов, Т. Е. Картографические методы визуализации и генерализации цифровых моделей рельефа / Т. Е. Самсонов. – Текст : непосредственный // Геоморфологи : Современные методы и технологии цифрового моделирования рельефа в науках о Земле. Выпуск 6. – Москва : Медиа-ПРЕСС, 2016. – С. 9–18.

57 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020614764 Российская Федерация. AR СГУГиТ : № 2020612072 : заявл. 26.02.2020 : опубл. 24.04.2020 / А. П. Карпик, А. А. Колесников, П. Ю. Бугаков, Е. Ю. Воронкин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий». – Текст : электронный.

58 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.

59 Создание AR-игры с помощью Vuforia. – URL: <https://habr.com/ru/articles/440592/>. – Текст : электронный.

60 Ступин, В. П. ГИС-анализ спектрозональных снимков в целях картографо-космического мониторинга вырубок и гарей таежных лесов Приангарья / В. П. Ступин. – Текст : непосредственный // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2024. – Т. 1. – С. 252–259. – DOI 10.33764/2618-981X-2024-1-252-259.

61 Стрельчунас, А. Д. Обзор и анализ актуальных интернет-приложений и сервисов для навигации и прокладки маршрутов / А. Д. Стрельчунас, П. А. Шевченко, А. В. Сугоровский. – Текст : непосредственный // Управление эксплуатационной работой на транспорте (УЭРТ–2022) : Сборник трудов Международной научно-практической конференции. – 2022. – С. 276–283.

62 Тенденции в развитии виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности в 2020 году. – URL: <https://cyborgs.pro/arvr2020/>. – Текст : электронный.

63 Технологии виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе / И. И. Палевода, А. Г. Иваницкий, А. С. Миканович, С. М. Пастухов, А. Б. Грачулин, В. Н. Рябцев, О. Д. Навроцкий, А. О. Лихоманов, Г. Б. Винярский, И. С. Гусаров. – Текст : непосредственный // Журнал гражданской защиты. – 2022. – Т. 6, № 1. – С. 119–141. – DOI 10.33408/2519-237X.2022.6-1.119.

64 Тикунов, В. С. Исследования по искусственному интеллекту и экспертные системы в географии / В. С. Тикунов. – Текст : непосредственный // Вестник Московского университета. Сер. 5 География. – 1989. – № 6. – С. 3–9.

65 Тикунов, В. С. Моделирование в картографии : учебник / В. С. Тикунов. – Москва : МГУ, 1997. – 405 с. – Текст : непосредственный.

66 Трубина, Л. К. Интеграция геопространственных данных на основе трехмерного моделирования для экологической оценки городских территорий / Л. К. Трубина, О. Н. Николаева, Е. Н. Кулик. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2021. – № 4. – С. 83–85.

67 Ученые предложили использовать для лечения людей их цифровых двойников. – URL: <https://center-grad.ru/archives/4921/amp>. – Текст : электронный.

68 Цветков, В. Я. Дополненная реальность / В. Я. Цветков – Текст : непосредственный. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 6–2. – С. 211–212.

69 Цветков, В. Я. Информационное взаимодействие в человеко-машинной системе / В. Я. Цветков – Текст : непосредственный // Образовательные ресурсы и технологии. – 2021. – № 3(36). – С. 88–96. – DOI 10.21777/2500-2112-2021-3-88-96.

70 Цифровая экономика - различные пути к эффективному применению технологий (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA и другие) / А. П. Добрынин, К. Ю. Черных, В. П. Куприяновский [и др.]. – Текст : непосредственный. // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4, № 1. – С. 4–11.

71 Черепанова, Е. С. Геоинформатика: основы работы с географическими пространственными данными : учебное пособие / Е. С. Черепанова, С. В. Пьянков, А. Н. Шихов ; Пермский государственный национальный исследовательский универ-

ситет; редактор А.В. Хлебникова. – Пермь : Издательский центр Пермского государственного национального исследовательского университета национального исследовательского университета, 2017. – 94 с.

72 Черкасов, К. В. Применение дополненной реальности в образовании / К. В. Черкасов, Н. С. Чистякова, В. В. Чернов. – Текст : непосредственный // Проблемы педагогики. – 2017. – № 1 (24). – С. 40–41.

73 Яловкина, Л. В. О результатах разработки методики обеспечения и контроля качества дизайна картографического изображения / Л. В. Яловкина, О. Н. Николаева – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 211–221. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-1-211-221.

74 Яловкина, Л. В. Обзор и анализ развития технологии и оценки качества картографической продукции / Л. В. Яловкина, О. Н. Николаева. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2022. – Т. 66, № 2. – С. 20–33. – DOI 10.30533/0536-101X-2022-66-2-20-33.

75 3D face reconstruction with region based best fit blending using mobile phone for virtual reality based social media / G. Anbarjafari, R. E. Haamer, I. Lusi, T. Tik, L. Valgma – Текст : непосредственный // – 2017. – URL: <https://arxiv.org/abs/1801.01089>.

76 A survey on mobile augmented reality with 5G mobile edge computing: architectures, applications, and technical aspects / Y. Siriwardhana, P. Porambage, M. Liyanage, M. Ylianttila. – Текст : непосредственный // IEEE Communications Surveys and Tutorials. – 2021. – Vol. 23. – № 2. – P. 1160–1192. – DOI 10.1109/COMST.2021.3061981.

77 Ajit, G. A Systematic Review of Augmented Reality in STEM Education / G. Ajit, T. Lucas, L. Kanyan. – Текст : непосредственный // Studies of Applied Economics. – 2021. – Vol. 39. – P. 1–22. – DOI 10.25115/eea.v38i3%20(2).4280.

78 Akimoto, H. Utilization of AR and Google Maps in high school geography field work / H. Akimoto, Y. Akimoto, Y. Ugawa – Текст : непосредственный // Theory and Applications of GIS. – 2018. – Vol. 26. – P. 93–99.

79 Amorim, F. Classification of dynamic cartographic symbols applied to Augmented Reality (AR) systems / F. Amorim, M. Schmidt – Текст : непосредственный // Proceedings of the ICA. – 2021. – Vol. 4. – P. 1–8.

80 An integrated VR–GIS navigation platform for city-region simulation / C. Ma, G. Chen, Y. Han, Y. Qi, Y. Chen. – Текст : непосредственный // Computer Animation and Virtual Worlds. – 2010. – Vol. 21. – P. 499–507. – DOI 10.1002/cav.322.

81 An investigation into challenges experienced when route planning, navigating and wayfinding / E. Koletsis, C. Elzakker, M. J. Kraak, W. Cartwright, C. Arrowsmith, K. Field. – Текст : непосредственный // International Journal of Cartography. – 2017. – Vol. 3, № 1. – P. 1–15. – DOI 10.1080/23729333.2017.1300996.

82 Anbaroğlu, B. Which way is ‘yildiz amfi’? Augmented reality vs. paper map on pedestrian wayfinding / B. Anbaroğlu, İ Coşkun, H. Gürler. – Текст : непосредственный // ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2020. – Vol. XLIV-4/W3-2020. – P. 53–60. – DOI 10.5194/isprs-archives-XLIV-4-W3-2020-53-2020.

83 Antonelli, D. Enhancing the Quality of Manual Spot Welding through Augmented Reality Assisted Guidance / D. Antonelli, S. Astanin – Текст : непосредственный // Procedia CIRP. – 2015. – Vol. 33. – P. 556–561. – DOI 10.1016/j.procir.2015.06.076.

84 Apple планирует выпустить контактные линзы с дополненной реальностью. – URL: <https://club.dns-shop.ru/digest/45243-apple-planiruet-vyipustit-kontaktnyie-linzyi-s-dopolnenoj-realno/>. – Текст : электронный.

85 Application Development with Augmented Reality Technique using Unity 3D and Vuforia / X. Liu, Y. Sohn, D. Park. – Текст : непосредственный. // International Journal of Applied Engineering Research. – 2018. – V. 13, № 21. – P. 15068–15071.

86 AR – Дополненная реальность. – URL: <https://habr.com/ru/articles/419437/>. – Текст : электронный.

87 Augmented Reality and Maps: New Possibilities for Engaging with Geographic Data / G. Pereira, K. Stock, L. Delazari, J. Centeno. – Текст : непосредственный // The

Cartographic Journal. – 2017. – Vol. 54. – P. 313–321. – DOI 10.1080/00087041.2017.1411417.

88 Augmented reality-based guidance in product assembly and maintenance/ repair perspective: A state of the art review on challenges and opportunities / M. Eswaran, A. K. Gulivindala, A. K. Inkulu, M. V. Raju Bahubalendruni. – Текст : непосредственный // Expert Systems with Applications. – 2022. – Vol. 213. – P. 118983. – DOI 10.1016/j.eswa.2022.118983.

89 Azuma, R. T. A Survey of Augmented Reality / R. T. Azuma. – Текст : непосредственный // In Presence: Teleoperators and Virtual Environments. – Vol. 6, № 4. – 1997. – P. 355–385. – DOI 10.1162/pres.1997.6.4.355.

90 Bermejo, C. A Survey on Haptic Technologies for Mobile Augmented Reality / C. Bermejo, P. Hui. – Текст : непосредственный // ACM Computing Surveys. – 2017. – Vol. 54. – P. 1–35.

91 Casas, S. Virtual and Augmented Reality for the Visualization of Summarized Information in Smart Cities: A Use Case for the City of Dubai / In J. Rodrigues, P. Cardoso, J. Monteiro, C. Ramos (Eds.) – Текст : непосредственный // Smart Systems Design, Applications, and Challenges. – 2020. – P. 299–325. – DOI 10.4018/978-1-7998-2112-0.ch015.

92 Chandra Sekhar, Ch. Future reality is immersive reality / Ch. Chandra Sekhar, Ch. C. Sankar, G. Rao. – Текст : непосредственный // International Journal of Recent Technology and Engineering. – 2018. – Vol. 7, № 4. – P. 302–309.

93 Chandra, A. M. Remote sensing and geographical information system / A. M. Chandra, S. K. Ghosh. – Текст : непосредственный. – 2006.

94 Characteristics of augmented map research from a cartographic perspective / Y. Cheng, G. Zhu, C. Yang, G. Miao, W. Ge. – Текст : непосредственный // Cartography and Geographic Information Science. – 2022. – 49, №5. – P. 426–442. – DOI 10.1080/15230406.2022.2059571.

95 Chen, C. H. Effects of augmented reality-based multidimensional concept maps on students' learning achievement, motivation and acceptance / C. H. Chen, C. Y. Huang,

Y. Y. Chou. – Текст : непосредственный // Universal Access in the Information Society. – 2019. – Vol. 18, № 2. – P. 257–268. – DOI 10.1007/s10209-017-0595-z.

96 Coulson, M. R. A cognitive analysis of map users' understanding of geographic information systems' images / M. R. Coulson, M. K. Rieger. – Текст : непосредственный. – 1997.

97 Development of educational AR application using Google My MapsGoogle / Y. Ugawa, S. Itoh, Y. Saito, H. Akimoto, K. Satou. – Текст : непосредственный // Theory and Applications of GIS. – 2018. – Vol. 26. – P. 101–108.

98 Department of Defense invests in delivering augmented reality technology to foot soldiers – URL: <https://www.militaryaerospace.com/home/article/16706337/department-of-defense-invests-in-delivering-augmented-reality-technology-to-foot-soldiers>. – Текст : электронный.

99 Documentation ARKit – URL: <https://developer.apple.com/documentation/arkit>. – Текст : электронный.

100 Engineering Augmented Tourism Experiences / Z. Yovcheva, D. Buhalis, C. Gatzidis, L. Cantoni, Z. Xiang. – Текст : непосредственный // Information and Communication Technologies in Tourism. – 2013. – P. 24–35. – DOI: 10.1007/978-3-642-36309-2\_3.

101 Force-aware interface via electromyography for natural VR/AR interaction / Y. Zhang, B.S. Liang, B. Chen, P.C. Torrens, S.F. Atashzar, D. Lin, Q. Sun. – Текст : непосредственный // ACM Transactions on Graphics. – 2022. – Vol. 41, № 6. – P. 268. – DOI 10.1145/3550454.3555461.

102 Forget Google Maps: Why Paper Map Sales Are Booming – URL: <https://www.wsj.com/articles/why-paper-map-sales-are-booming-11674164824>. – Текст : электронный.

103 Google Glass 3.0 – Технические характеристики – URL: [https://www.niora.net/ru/p/google\\_glass\\_3](https://www.niora.net/ru/p/google_glass_3). – Текст : электронный.

104 Google Карты: обзор навигационного ПО для Android. – URL: <https://www.ixbt.com/car/gps/google-maps-review.shtml>. – Текст : электронный.

105 Huang, T. C. Animating eco-education: To see, feel, and discover in an augmented reality-based experiential learning environment / T. C. Huang, C. C. Chen, Y. W. Chou. – Текст : непосредственный // *Computers & Education*. – 2016. – Vol. 96. – P. 72–82. – DOI 10.1016/j.compedu.2016.02.008.

106 HUDWAY Glass. – URL: <https://hudway.co/glass>. – Текст : электронный.

107 Hurst, P. Will we be lost without paper maps in the digital age? / P. Hurst, P. Clough. – Текст : непосредственный. // *Journal of Information Science*. – 2013. – Vol. 39, №1. – P. 48-60. – DOI 10.1177/0165551512470043.

108 Ikonen, P. Augmented reality as news / P. Ikonen, T. Uskali. – Текст : непосредственный. – 2020. – P. 147–160. – DOI 10.4324/9780429437748-16.

109 Integrating Augmented Reality in Architectural Design: A New Paradigm / V. Alekhya, S. Jose, S. Lakhanpal, I. Khan, S. Paul, Q. Mohammad. – Текст : непосредственный // *E3S Web of Conferences*. – 2024. – V. 505. – № 03009. – DOI 10.1051/e3sconf/202450503009.

110 Interaction in virtual world views-linking 3D GIS with VR / E. Verbree, G. V. Maren, R. Germs, F. Jansen, M. J. Kraak. – Текст : непосредственный // *International Journal of Geographical Information Science*. – 1999. – V. 13, № 4. – P. 385–396. – DOI 10.1080/136588199241265.

111 Interactive Map: The World as 1,000 People. – URL: <https://www.visualcapitalist.com/all-the-people-in-the-world-1000-peop/>. – Текст : электронный.

112 Intuitive virtual objects manipulation in augmented reality: interaction between user's hand and virtual objects / M. Sakamoto, T. Ishizu, M. Hori, S. Ikeda, A. Takei, T. Ito. – Текст : непосредственный // *Journal of Robotics, Networking and Artificial Life*. – 2020. – Vol. 6. – P. 265–269. – DOI 10.2991/jrnal.k.200221.003.

113 Jiang, Y. Advanced visual SLAM and image segmentation techniques for augmented reality / Y. Jiang, T. H. Tran, L. Williams. – Текст : непосредственный // *International Journal of Virtual and Augmented Reality (IJVAR)*. – 2022. – V. 6. – № 1. – P. 1–28. – DOI 10.4018/IJVAR.307063.

114 Kipper, G. Augmented Reality: An Emerging Technologies Guide to AR / G. Kipper, J. Rampolla. – 2012. – P. 1–158. – Текст : непосредственный.

115 Koklu, N. World Geography With Augmented Reality / N. Koklu, S. A. Sulak. – Текст : непосредственный // International Journals of Sciences and High Technologies – 2021. – Vol. 29, № 1. – P. 94–108. – DOI 10.52155/ijpsat.v29.1.3594.

116 Kudan Visual SLAM – URL: [https://amrdocs.intel.com/docs/2.2/dev\\_guide/tutorials\\_amr/navigation/kudan-slam.html](https://amrdocs.intel.com/docs/2.2/dev_guide/tutorials_amr/navigation/kudan-slam.html). – Текст : электронный.

117 Lee, D. H. Augmented reality based museum guidance system for selective viewings / D. H. Lee, J. Park. – Текст : непосредственный // In Proceedings of the IEEE Second Workshop on Digital Media and its Application in Museum & Heritages, Chongqing, China, 10–12 December 2007. – P. 379–382.

118 Lee, E. How does desktop virtual reality enhance learning outcomes? A structural equation modeling approach / E. Lee, K. Wong, C. Fung. – Текст : непосредственный // Computers & Education. – 2010. – Vol. 55. – P. 1424–1442. – DOI 10.1016/j.compedu.2010.06.006

119 Lobo, M. J. Opportunities and challenges for augmented reality situated geographical visualization / M. J. Lobo, S. Christophe. – Текст : непосредственный // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2020. – Vol. V-4-2020. – P. 163–170. – DOI 10.5194/isprs-annals-V-4-2020-163-2020.

120 Loureiro, S. 20 years of research on virtual reality and augmented reality in tourism context: A text-mining approach / S. Loureiro, J. Guerreiro. – Текст : непосредственный // Tourism Management. – 2020. – Vol. 77. – P. 104028. – DOI 10.1016/j.tourman.2019.104028.

121 McKinsey Technology Trends Outlook 2022 Immersive-reality technologies. – URL: <https://www.mckinsey.com/spContent/bespoke/tech-trends/pdfs/mckinsey-tech-trends-outlook-2022-immersive-reality.pdf>. – Текст : электронный.

122 Measuring spatial accessibility and within-province disparities in accessibility to county hospitals in Shaanxi Province of Western China based on web mapping navigation data / C. Shen, Z. Zhou, S. Lai, L. Lu, W. Dong, M. Su, J. Zhang, X. Wang, Q. Deng, Y. Chen, X. Chen. – Текст : непосредственный // International Journal for Equity in Health. – 2020. – Vol. 19. – № 1. – P. 99. – DOI 10.1186/s12939-020-01217-0.

123 Metaliteracy as pedagogical framework for learner-centered design in three MOOC platforms: Connectivist, Coursera and Canvas / K. O'Brien, M. Forte, T. Mackey, T. Jacobson. – Текст : непосредственный // Open Praxis. – 2017. – Vol. 9. – P. 267–286. – DOI 10.5944/openpraxis.9.3.553.

124 Microsoft HoloLens. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_HoloLens](https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft_HoloLens). – Текст : электронный.

125 Motunrayo, O. Integrating enhanced reality (AR) and artificial intelligence (AI) for geospatial visualization / O. Motunrayo. – 2024. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/387072798>. – Текст : непосредственный.

126 NAVITEL RE900. – URL: <https://navitel.ru/ru/devices/combo/navitel-re900>. – Текст : электронный.

127 New Trends in Using Augmented Reality Apps for Smart City Contexts / J. F. Ramos, S. Trilles Oliver, J. Torres-Sospedra, F. Perales. – Текст : непосредственный. // International Journal of Geo-Information. – 2018. – Vol. 7. – P. 478. – DOI 10.3390/ijgi7120478.

128 Oktay, O. S. Immersive Learning, Immersive Scenarios, and Immersive Technologies / O. S. Oktay, T. V. Yuzer. – Текст : непосредственный // In Shaping the Future of Online Learning: Education in the Metaverse. – Hershey, PA: IGI Global. – 2023. – P. 83–111. – DOI 10.4018/978-1-6684-6513-4.ch006.

129 Ormeling, F. Map Concepts in Multimedia Products / W. Cartwright, M. P. Peterson, G. Gartner (ed.). – Текст : непосредственный // Multimedia Cartography. Second Edition. – Berlin : Springer-Verlag, 2007. – P. 105–115.

130 Paper Maps in a Digital World – URL: <https://metskermaps.com/pages/paper-maps-in-a-digital-world>. – Текст : электронный.

131 Patel, S. Virtual and Augmented Reality: Computer Vision for Augmented Reality as SLAM based Technology / S. Patel. – 2022. – Текст : непосредственный. – DOI 10.13140/RG.2.2.16637.23521.

132 Pavelka, K. Jr. Using Virtual and Augmented Reality with GIS Data / K. Jr. Pavelka, M. Landa – Текст : непосредственный // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2024. – Vol. 13, № 7. – P. 241. – DOI 10.3390/ijgi13070241.

133 Pereira, E. T. Graduates' skills and employability: the view of students from different European countries / E. T. Pereira, M. Vilas-Boas, C. C. Rebelo. – Текст : непосредственный // Higher Education, Skills and Work-Based Learning. – 2019. – Vol. 9. – P. 758–774. – DOI 10.1108/HESWBL-10-2018-0098.

134 Pereira, E. T. University curricula and employability: The stakeholders' views for a future agenda / E. T. Pereira, M. Vilas-Boas, C. C. Rebelo. – Текст : непосредственный // Industry and Higher Education. – 2020. – Vol. 34. – P. 321–329. – DOI 10.1177/0950422220901676.

135 Romero-Ramirez, F. Speeded Up Detection of Squared Fiducial Markers / F. Romero-Ramirez, R. Muñoz-Salinas, R. Medina-Carnicer. – Текст : непосредственный // Image and Vision Computing. – 2018. – Vol. 76. – DOI 10.1016/j.imavis.2018.05.004.

136 Schmalstieg, D. Augmented Reality as a Medium for Cartography / D. Schmalstieg, G. Reitmayr. – Текст : непосредственный // Multimedia Cartography. – 2007. – P. 267–281. – DOI 10.1007/978-3-540-36651-5\_19.

137 Sharma, M. Augmented Reality Navigation / M. Sharma, S. Chachaundiya. – Текст : непосредственный. // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2020. – Vol. 9, № 6. – P. 406–412. – DOI 10.17577/IJERTV9IS060441.

138 Singla, J. G. Virtual reality based novel use case in remote sensing and GIS / J. G. Singla. – Текст : непосредственный // Current Science. – 2021. – Vol. 121. – № 7. – P. 958–961. – DOI 10.18520/cs/v121/i7/958-961.

139 Study on Robot Grasping System of SSVEP-BCI Based on Augmented Reality Stimulus / S. Zhang, Y. Chen, L. Zhang, X. Gao, X. Chen. – Текст : непосредственный // Tsinghua Science and Technology. – 2023. – Vol. 28, № 2. – P. 322–329. – DOI 10.26599/TST.2021.9010085.

140 Supported Versions – URL: <https://library.vuforia.com/platform-support/supported-versions.html>. – Текст : электронный.

141 Tadepalli, K. Indoor Navigation Using Augmented Reality / K. Tadepalli, P. Ega, P. Inugurthi. – Текст : непосредственный // International Journal of Scientific

Research in Science and Technology. – 2021. – Vol. 7, № 4. – P. 588–592. – DOI 10.32628/CSEIT2174134.

142 Teaching Educational Robotics Blended and Online with Augmented Reality / N. Fanchamps, D. Karampatzakis, O. Firssova, G. van Lankveld, C. Urlings, P. Amanatidis, A. Jafari, M. Fominykh. – Текст : непосредственный // eROBSON consortium. – 2024. – P. 80. – DOI 10.13140/RG.2.2.32285.52964.

143 Thomas, D. A. Broad online learning EdTech and USA universities: symbiotic relationships in a post-MOOC world / D. A. Thomas, M. Nedeva. – Текст : непосредственный // Studies in Higher Education. – 2018. – Vol. 43. – P. 1730–1749. – DOI 10.1080/03075079.2018.1520415.

144 Towards indistinguishable augmented reality: a survey on optical see-through head-mounted displays / Y. Itoh, T. Langlotz, J. Sutton, A. Plopski. – Текст : непосредственный. // ACM Computing Surveys. – 2021. – Vol. 54. – P. 1–36. – DOI 10.1145/3453157.

145 Unity documentation – URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>. – Текст : электронный.

146 ViMeLa: Interactive Educational Environment for Mechatronics Lab in Virtual Reality / T. Tikk, R. Haamer, D. Kamińska, A. Firyck-Nowacka, S. Wiak, N. Rezaei, M. Lefik, G. Zwoliński, T. Sapiński, G. Cvetkovski, L. Petkovska, P. Di Barba, M. E. Mognaschi, M. Digalovski, M. Celeska, G. Anbarjafari. – Текст : непосредственный. – 2020. – P. 276–286. – DOI 10.4324/9781003001874-18.

147 Virtual Exploration of Urban Spatial Changes due to Regional Tramway Line Construction / K. Wickenhauser, M. Greiner, C. Traxler, G. Hesina. – Текст : непосредственный // REAL CORP 2022, 27th International Conference on Urban Planning and Regional Development in the Information Society. Proceedings. – Vienna, 2022. – P. 873–882.

148 Virtual GIS: A real-time 3D geographic information system / D. Koller, P. Lindstrom, W. Ribarsky, L.F. Hodges, N. Faust, G. Turner. – Текст : непосредственный // Proceedings Visualization '95. – 1995. – P. 94–100. – DOI 10.1109/VISUAL.1995.480800.

149 Virtual Reality in Cartography: Immersive 3D Visualization of the Arctic Clyde Inlet (Canada) Using Digital Elevation Models and Bathymetric Data / M. Lütjens, T. Kersten, B. Dorschel, F. Tschirschwitz. – Текст : непосредственный // *Multimodal Technologies and Interaction*. – 2019. – Vol. 3. – P. 9. – DOI 10.3390/mti3010009.

150 Xiaomi показала умные очки Smart Glasses – URL: <https://lifehacker.ru/xiaomi-ochki-smart-glasses/>. – Текст : электронный.

151 Yadav, N. B. Augmented Reality and its Science / N. B. Yadav, A. Sinha. – Текст : непосредственный // *International Journal of Education and Management Engineering*. – 2022. – Vol. 12. – P. 33–44. – DOI 10.5815/ijeme.2022.06.04.

152 Yu, L. A tracking solution for mobile augmented reality based on sensor-aided marker-less tracking and panoramic mapping. / L. Yu, S. K. Ong, A. Nee. – Текст : непосредственный // *Multimedia Tools and Applications*. – 2015. – Vol. 75. – P. 3199–3220. – DOI 10.1007/s11042-014-2430-3.

153 Zhang, C. Application of augmented reality technology in workshop production management / C. Zhang, J. Lu, H. Wang. – Текст : непосредственный // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 466. – P. 12048. – DOI 10.1088/1757-899X/466/1/012048.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

ПРИМЕР КОДА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ МЕЖДУ СЦЕНАМИ, ЗАПУСКАЕМОГО  
ПРИ НАЖАТИИ ИКОНКИ

```
using UnityEngine;
using UnityEngine.SceneManagement;

public class ButtonController : MonoBehaviour
{
    public void SwitchScene(string Scene123)
    {
        Debug.Log("Loading scene: " + Scene123);
        SceneManager.LoadScene(Scene123);
    }
}
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

**АКТ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС ФИЛИАЛА ППК «РОСКАДАСТР»  
«БАЛТИЙСКОЕ АГП»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Исполнительный директор, директор филиала  
ППК «Роскадастр» «Балтийское АГП»  
\_\_\_\_\_ 2025 г.  
М.В. Дробиз

АКТ

**о внедрении результатов научно-исследовательской работы**

Мы, нижеподписавшиеся, исполнительный директор – директор филиала Публично-правовой компании «Роскадастр» «Балтийское аэрогеодезическое предприятие» – Дробиз Михаил Валерьевич, и представитель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ) – Середович Сергей Владимирович, составили настоящий акт о том, что в производственный процесс филиала ППК «Роскадастр» «Балтийское АГП» внедрена методика создания и использования картографических произведений с элементами дополненной реальности. Автор методики: ассистент кафедры картографии и геоинформатики СГУГиТ Батырова К.С.

По итогам внедрения методики получены следующие результаты:

1) Обновление содержания аналоговых карт с помощью технологии дополненной реальности позволяет повысить информационную емкость и актуальность, а также расширить функционал аналоговых карт за счет визуализации на экране мобильного устройства дополнительной информации об объектах карты при наведении на них камеры этого устройства.

2) Использование элементов дополненной реальности упрощает чтение карты за счет интерактивности, трехмерного содержания и анимирования пространственных объектов.

Новизна внедрения результатов заключается в увеличении объема потенциально доступных пользователю данных, а также обеспечении новым способом картографического отображения и управления потоком тематической информации.

Эффективность внедрения позволяет снизить расходы ресурсов и сократить производственные потери за счет применения технологии дополненной реальности, а также является средством виртуального обновления картографической продукции.

Директор института  
геодезии и менеджмента СГУГиТ  
К.Т.Н.

 С. В. Середович

Исполнитель

 К.С. Батырова

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В УЧЕБНЫЙ  
ПРОЦЕСС ФГБОУ ВО «СГУГиТ»

УТВЕРЖДАЮ

Врио ректора СГУГиТ

Янкелевич Светлана Сергеевна

« 19 февраля » 2025 г.

## АКТ

о внедрении результатов НИР в производственный процесс ФГБОУ ВО «Сибирский  
государственный университет геосистем и технологий»

Методика создания и использования картографических произведений с элементами дополненной реальности, позволяющая обновить содержание и расширить функционал аналоговой карты, разработана в рамках научно-исследовательской работы «Разработка научно-методического обоснования создания и использования картографических произведений с элементами дополненной реальности» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (автор Батырова К.С.).

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».

Полученный эффект от внедрения: результаты диссертационного исследования служат основой для проведения дальнейших исследований и разработки новых методов и технологий визуализации геопро пространственных данных посредством технологии дополненной реальности, предназначенных для решения задач в различных сферах деятельности.

Директор института  
геодезии и менеджмента СГУГиТ  
К.Т.Н.

Е. В. Середович

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

## РЕЗУЛЬТАТЫ АНКЕТИРОВАНИЯ

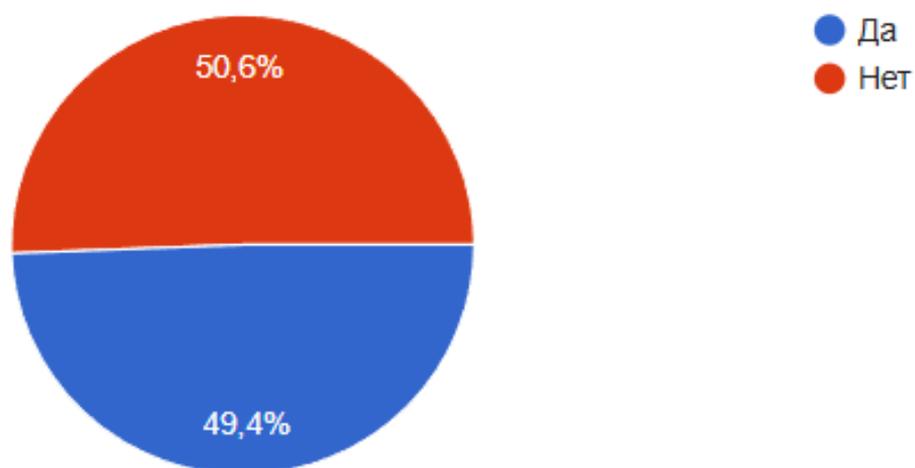


Рисунок Г.1 – Распределение опрошенных в онлайн-анкетировании по использованию приложений ДР

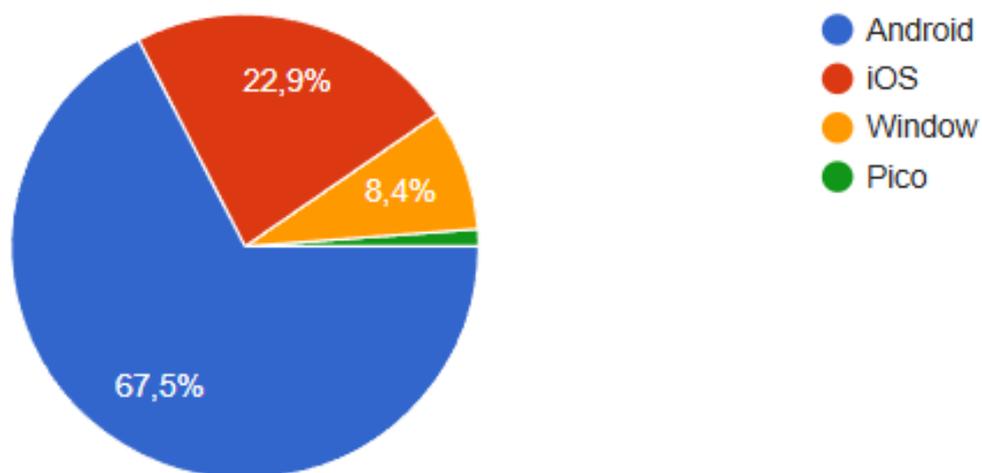


Рисунок Г.2 – Распределение опрошенных в онлайн-анкетировании по операционной системе мобильного устройства

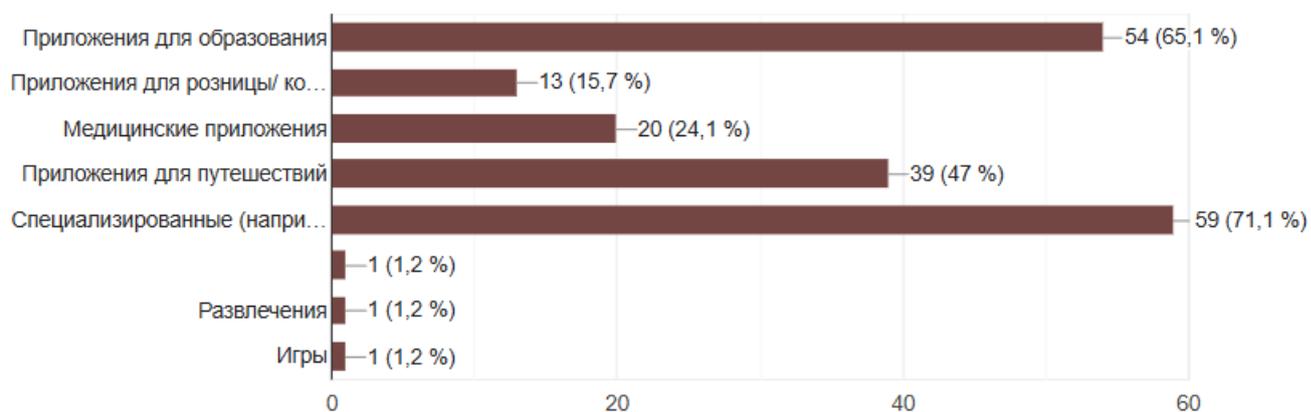


Рисунок Г.3 – Распределение опрошенных в онлайн-анкетировании по интересу к приложениям ДР по разным направлениям

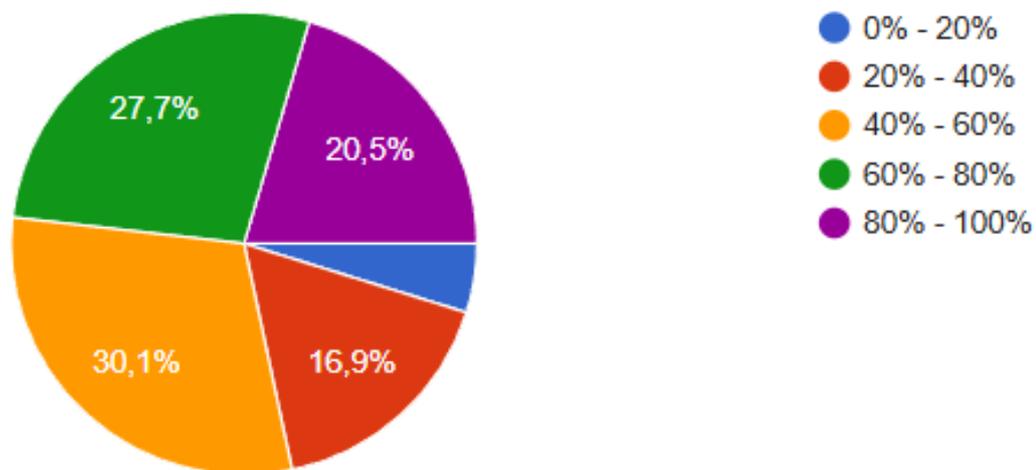


Рисунок Г.4 – Распределение опрошенных в онлайн анкетировании по эффективности обновления аналоговой карты г. Калининграда посредством приложения ДР

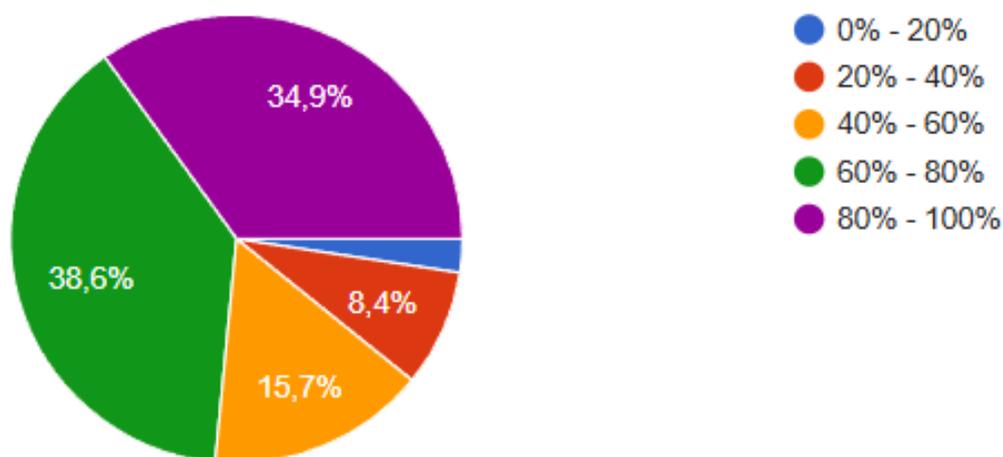


Рисунок Г.5 – Распределение опрошенных в онлайн-анкетировании по повышению информативности топографической карты с использованием приложения ДР

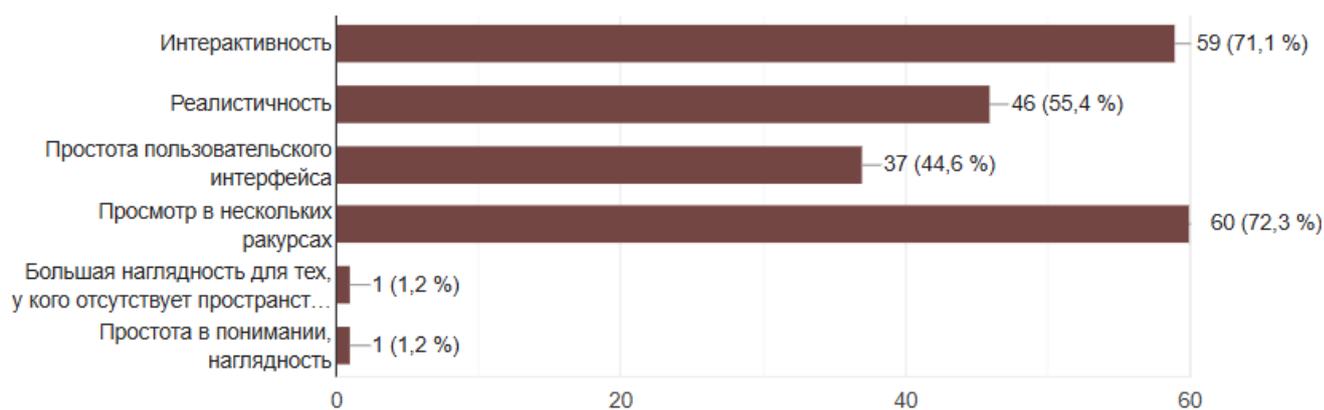


Рисунок Г.6 – Распределение опрошенных в онлайн-анкетировании по приобретению новых свойств аналоговой карты с использованием приложения ДР

Таблица Г.1 – Содержание онлайн-тестирования, проведенного для установления эффективности использования технологии ДР в картографии

Вопрос	Варианты ответов
1 Использовали ли Вы ранее приложения дополненной реальности?	Да Нет
2 Укажите операционную систему Вашего мобильного устройства.	Android iOS Window Другое
3 Какие приложения были бы Вам интересны?	Приложения для образования Приложения для розницы/ коммерции Медицинские приложения Приложения для путешествий Специализированные (например, геодезические или картографические) Другое
4 В предложенном фрагменте карты г. Калининграда отсутствуют новостройки, которые были визуализированы на экране мобильного телефона в приложении дополненной реальности. Пожалуйста, уточните какова эффективность представленного обновления фрагмента карты?	0 %–20 % 20 %–40 % 40 %–60 % 60 %–80 % 80 %–100 %
5 На сколько, на Ваш взгляд, повышается информативность топографической карты с применением технологии дополненной реальности?	0 %–20 % 20 %–40 % 40 %–60 % 60 %–80 % 80 %–100 %
6 Пожалуйста, уточните, какие, на Ваш взгляд, функции приобретает аналоговая (бумажная) карта путем отображения дополнений на экране мобильного устройства?	Интерактивность Реалистичность Простота пользовательского интерфейса Просмотр в нескольких ракурсах Другое

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(обязательное)

## ПРИМЕР КОДА СОЗДАНИЯ ТРАЕКТОРИИ УЗЛОВЫХ ТОЧЕК

```

using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
public static class AStar
{
    public static List<Waypoint> FindPath(Waypoint start, Waypoint end)
    {
        List<Waypoint> openSet = new List<Waypoint>();
        HashSet<Waypoint> closedSet = new HashSet<Waypoint>();
        openSet.Add(start);
        Dictionary<Waypoint, Waypoint> cameFrom = new Dictionary<Waypoint, Waypoint>();
        Dictionary<Waypoint, float> gScore = new Dictionary<Waypoint, float>();
        gScore[start] = 0;
        Dictionary<Waypoint, float> fScore = new Dictionary<Waypoint, float>();
        fScore[start] = Heuristic(start, end);
        while (openSet.Count > 0)
        {
            Waypoint current = GetLowestFScore(openSet, fScore);
            if (current == end)
                return ReconstructPath(cameFrom, current);
            openSet.Remove(current);
            closedSet.Add(current);
            foreach (Waypoint neighbor in current.neighbors)
            {
                if (closedSet.Contains(neighbor)) continue;
                float tentativeGScore = gScore[current] + Vector3.Distance(current.transform.position, neighbor.transform.position);
                if (!openSet.Contains(neighbor))
                    openSet.Add(neighbor);
                else if (tentativeGScore >= gScore.GetValueOrDefault(neighbor, Mathf.Infinity))
                    continue;
                cameFrom[neighbor] = current;
                gScore[neighbor] = tentativeGScore;
                fScore[neighbor] = gScore[neighbor] + Heuristic(neighbor, end);
            }
        }
        return null;
    }
    private static float Heuristic(Waypoint a, Waypoint b)
    {
        return Vector3.Distance(a.transform.position, b.transform.position);
    }
    private static Waypoint GetLowestFScore(List<Waypoint> openSet, Dictionary<Waypoint, float> fScore)
    {
        Waypoint lowest = openSet[0];
        foreach (Waypoint wp in openSet)

```

```
{
    if (fScore.GetValueOrDefault(wp, Mathf.Infinity) < fScore.GetValueOrDefault(lowest,
Mathf.Infinity))
    {
        lowest = wp;
    }
}
return lowest;
}
private static List<Waypoint> ReconstructPath(Dictionary<Waypoint, Waypoint> cameFrom, Way-
point current)
{
    List<Waypoint> path = new List<Waypoint> { current };
    while (cameFrom.ContainsKey(current))
    {
        current = cameFrom[current];
        path.Insert(0, current);
    }
    return path;
}
}
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(обязательное)

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ  
«ПРОГРАММА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОФИЛЯ РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ  
ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ИММЕРСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

<p>РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ</p>  <p>ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ</p> <p><b>ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ</b></p>	<p><b>RU2025665390</b></p>
<p>Номер регистрации (свидетельства): 2025665390</p> <p>Дата регистрации: 17.06.2025</p> <p>Номер и дата поступления заявки: 2025661897 15.05.2025</p> <p>Дата публикации и номер бюллетеня: 17.06.2025 Бюл. № 6</p> <p>Контактные реквизиты: patent@sguigitru</p>	<p>Автор(ы): Батырова Карина Сериковна (RU), Пошивайло Ярослава Георгиевна (RU)</p> <p>Правообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет геосистем и технологий" (RU)</p>
<p>Название программы для ЭВМ: Программа визуализации профиля рельефа на основе данных дистанционного зондирования Земли с применением иммерсивных технологий</p> <p>Реферат: Программа предназначена для того, чтобы визуализировать профиль рельефа на основе данных дистанционного зондирования Земли с применением иммерсивных технологий в растровом формате на аналоговых картах с целью их виртуального обновления, а также добавления интерактивности за счет управляющего элемента. Программа может использоваться при подготовке к проведению геодезических съемок; для визуализации данных дистанционного зондирования Земли и профиля земной поверхности. Функциональные возможности программы: визуализация данных ДЗЗ, а также профиля земной поверхности. ТИП ЭВМ: мобильные устройства с ОС Android. ОС: Android 6 и выше.</p> <p>Язык программирования: C#</p> <p>Объем программы для ЭВМ: 74 МБ</p>	
<p>Стр.: 1</p>	