

Разработка аналого-цифровой картографической продукции с применением технологии дополненной реальности

Development of analog-digital cartographic products using augmented reality technology

Пошивайло / Poshivaylo Ya.

Ярослава Георгиевна

(yaroslava@ssga.ru)

кандидат технических наук.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ),
заведующая кафедрой картографии и геоинформатики.

г. Новосибирск

Батырова / Batyrova K.

Каршия Сериковна

(karshiya2011@mail.ru)

СГУГиТ,

ассистент кафедры картографии и геоинформатики.

г. Новосибирск

Андрюхина / Andryukhina Yu.

Юлия Николаевна

(andryukhina.yuliya@yandex.ru)

кандидат технических наук.

СГУГиТ,

доцент кафедры картографии и геоинформатики

г. Новосибирск

Пономарёв / Ponomarev A.

Антон Владимирович

(ponomarev-anton1@mail.ru)

СГУГиТ,

магистрант кафедры картографии и геоинформатики

г. Новосибирск

Ключевые слова: картография – cartography; геоинформатика – geoinformatics; дополненная реальность – augmented reality; аналоговые карты – analog maps; иммерсивные технологии – immersive technologies; мобильные устройства – mobile devices; мобильное приложение – mobile application.

Предлагается аналого-цифровой картографический комплекс дополненной реальности как средство создания и использования картографической продукции. Определены основные элементы комплекса. Установлены критерии отбора этих элементов. Определены уровни функциональности мобильного приложения дополненной реальности. Представлен алгоритм обработки пространственных данных средствами ГИС для использования в качестве маркеров. Методика создания картографической продукции с элементами дополненной реальности представлена в виде технологической схемы. Сформулированы возможности комплекса и перспективы его применения.

An analog-digital cartographic complex of augmented reality is proposed as a means of creating and using cartographic products. The main elements of the complex are defined. The criteria for selecting these elements are established. The levels of functionality of the mobile application of augmented reality are determined. An algorithm for processing spatial data by GIS tools for use as markers is presented. The methodology for creating cartographic products with elements of augmented reality is presented in the form of a process flow chart. The capabilities of the complex and the prospects for its application are formulated.

Введение

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 относятся: интернет вещей, большие данные, виртуальная и дополненная реальность, машинное обучение, аддитивные технологии и др. [1, 2].

Сегодня картографическая продукция представлена в аналоговой (карты и атласы на бумажных и иных твердых носителях, тактильные карты, глобусы и др.) и в цифровой формах (цифровые картографические и геоинформационные продукты в разных программных средах и в разных формах представлений).

Бумажные карты находят применение во многих сферах, при этом, несмотря на продолжающуюся цифровизацию, не наблюдается критического сокращения тиражей карт [3, 4]. Для ряда отраслей, таких как туризм, образование, транспорт и логистика, армия и военное дело, спасательные службы, сельское хозяйство и др., аналоговая картографическая продукция обеспечивает ряд важных функций [5].

В то же время интервал между обновлениями аналоговых карт и отсутствие интерактивности становится существенным ограничением, устранить которое представляется возможным путем использования

современных цифровых технологий, одной из которых является дополненная реальность. Немаловажным аспектом является и то, что геоинформационная и картографическая продукция основана на визуальном восприятии геоизображений, таким образом, актуальной задачей будет совершенствование методов визуализации с применением новейших технологических возможностей.

Под «дополненной реальностью» понимается одна из перспективных на сегодняшний день технологий в картографии, с помощью которой можно расширить возможности визуализации, обновить и дополнить информацию, содержащуюся на аналоговой карте и придать такой карте новый функционал, используя смартфоны, планшеты и другие электронные устройства.

Актуальность исследования обусловлена следующими факторами:

- необходимостью снижения влияний известных ограничений аналоговой карты, таких как инвариантность структурных элементов [5], отсутствие интерактивности, ограниченная информативность, двумерность и др. на ее использование;

- потребностью в разработке новых методов визуализации пространственной информации, направ-

ленных 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.

Компоненты аналого-цифрового картографического комплекса дополненной реальности и критерии их отбора

По результатам выполненной классификации аппаратно-программных средств дополненной реальности, применяемых в картографии [6], авторами предлагается средство создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности – аналого-цифровой картографический комплекс дополненной реальности (АЦКДР) [7].

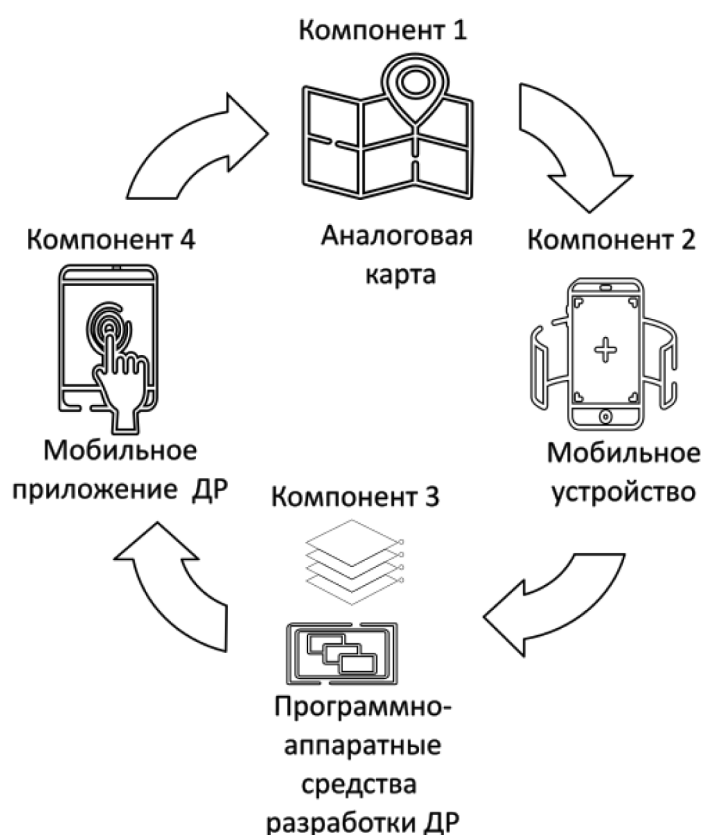


Рис. 1. Компоненты (элементы) АЦКДР

В состав АЦКДР входят 4 основных компонента (рис. 1):

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

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. Таким образом, в результате работы АЦКДР создается аналого-цифровая карта, которая приобретает большую информационную емкость, визуальные эффекты и функциональность по сравнению с исходной аналоговой картой.

Рассмотрим подробнее компоненты АЦКДР.

Аналоговая карта является источником информации и одновременно выступает в качестве маркера. В данном случае должны учитываться следующие параметры: коэффициент контрастности картографического изображения и его физическое состояние.

В исследованиях [8, 9] рассматриваются количественная оценка и контроль качества дизайна картографического изображения, основанные на достижениях современной квалитметрии. Данная методика показывает важность оценки качества картографического изображения. Приемлемым значением является коэффициент контрастности картографического изображения не менее 4,5.

Мобильное устройство оснащено датчиками состояния устройства и выполняет функцию слежения и отображения. Демонстрация виртуальных объектов происходит на дисплее, которое распознает изображение опорных элементов (маркеров) при помощи встроенной камеры.

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.

Программно-аппаратные средства разработки ДР позволяют создать внутреннее наполнение МПДР. К программно-аппаратным средствам разработки ДР относятся: персональный компьютер, программа

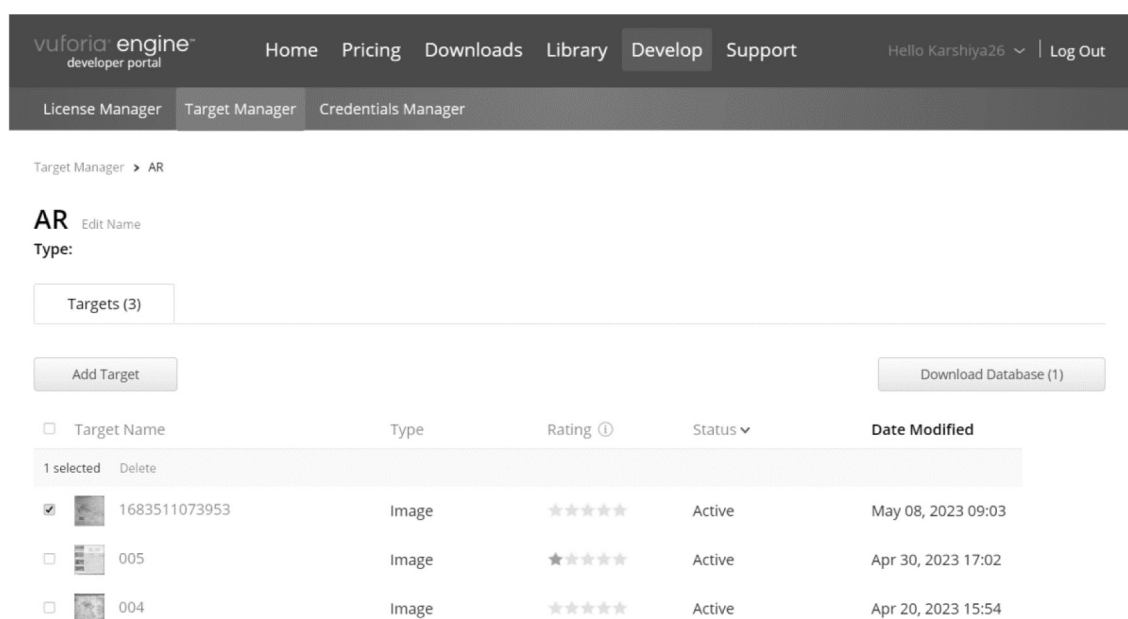


Рис. 2. База данных маркеров на сайте Vuforia

разработки, геоинформационные системы и сервисы. Согласно проведенной ранее классификации современных программно-аппаратных средств [6], сформулированы требования к программно-аппаратным средствам разработки ДР с учетом специфики каждого программного продукта, при этом требования к персональному компьютеру формулируются с учетом требований платформ разработки, размещенных на их официальных сайтах.

При разработке мобильного приложения пользователь создает набор маркеров и сохраняет их в библиотеку исходных изображений [10, 11]. Программа трекинга (отслеживания), например 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 программы. Затем во время работы приложения через камеру мобильного устройства сканируется окружающая среда, и алгоритм компьютерного зрения находит среди картинок реального мира признаки из базы данных. Затем по этим признакам программа трекинга находит исходные маркеры, после чего проводит оценку их положения, ориентации и размеров для правильного позиционирования проецируемых дополнений. Также можно настроить отслеживание сразу нескольких маркеров и отображение на них дополняющей информации. Для этого на сайте [12] вместо одной картинке нужно подгрузить несколько – от двух и больше. Размер 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 используют метрическую систему. Можно установить любое значение, а затем в самой программе разработки Unity увеличить масштаб маркера до необходимого.

После добавления сканированного изображения аналоговой карты сервис Vuforia ее оценивает и

выставляет баллы в соответствии с качеством маркера. Результат от 3 до 5 баллов является приемлемым, в противном случае маркер лучше заменить.

Отсюда можно сформулировать некоторые практические рекомендации по созданию маркеров и выбору эталонных изображений [10]:

- эталонные изображения могут быть представлены в форматах .png или .jpeg;
- заполнять не менее 70% площади кадра камеры при первом обнаружении;
- быть хорошо освещенным и не иметь сильного наклона относительно камеры;
- рекомендуется использовать изображения с оценкой не ниже среднего в зависимости от шкалы оценивания, доступной на официальном сайте разработчика программы отслеживания.

Target Manager [13] – программная библиотека, позволяющая создавать базы данных целей и управлять ими на портале разработчиков Vuforia [14, 15]. Image Target [16] позволяет обнаруживать и отслеживать изображения, сравнивая извлеченные природные объекты из изображения камеры с известной базой данных целевых ресурсов (рис. 2). При обнаружении цели Vuforia Engine отслеживает и дополняет изображение (рис. 2). Для определения необходимого размера маркера возможно использовать формулу: $s=10*c$, где s – дистанция, c – диагональ маркера [10].

В результате проведенного анализа были сформулированы критерии отбора к платформам разработки, указанные в таблице 1.

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:

Таблица 1

Уровни функциональности мобильного приложения ДР

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

- время отклика 100–200 мс и более;
- скорость распознавания маркера до 5 с.

Интерфейс МПДР для использования на аналоговых картах должен быть интуитивно понятным, функциональным и эстетически привлекательным, чтобы обеспечить удобство использования и высокий уровень вовлеченности пользователей. Ключевые аспекты, которые следует учитывать при проекти-

ровании интерфейса МПДР: элементы управления, главное меню, отображение элементов ДР, визуальный дизайн и др.

Определены 3 уровня функциональности мобильного приложения дополненной реальности. Функционал мобильного приложения ДР предлагается подразделять на три уровня: минимальный, базовый, профессиональный (табл. 1).

Таблица 2

Критерии отбора компонентов для включения в АЦКДР

Количественные	Качественные
Аналоговая карта	
Коэффициент контрастности картографического изображения не менее 4,5	Физическая сохранность (1 – критическое состояние, а 5 – отличное)
Мобильное устройство	
– Объем оперативной памяти не менее 1 Гб; – производительность процессора не менее 1,2 ГГц; – внутренняя память не менее 16 Гб	– Наличие сенсорного экрана; – наличие камеры; – наличие Wi-Fi, 2G/3G (либо 3G/4G); – возможность установки ПО; – поддержка карт памяти; – согласованность типа и версии ОС с инструментами разработки мобильного приложения
Программно-аппаратные средства разработки дополненной реальности	
Требования к программе разработки: – версия программы Unity 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 QGIS 3.24 и выше	Требования к программе разработки: – 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. Требования к ПК: – подключение к интернету для скачивания обновлений и ресурсов; – звуковое оборудование для работы с аудиозффектами; – возможность подключения внешних устройств (например, VR/AR гарнитур) для тестирования. Требования к ГИС: – конвертация пространственной информации в растровые форматы; – разбивка на листы; – генерация цифровой модели рельефа и преобразование данных GeoTIFF в 3D-объекты
Мобильное приложение	
– Время отклика 100–200 мс; – скорость распознавания метки до 5 с; – доля видимой части метки для продолжения распознавания – 70 процентов	– Наличие функции отслеживания пользовательских меток; – возможность загрузки и отображения трехмерных моделей; – наличие встроенных алгоритмов распознавания поверхностей, отслеживание положения; – возможность доступа к внешним ресурсам сети Интернет

Отбор компонентов аналого-цифрового картографического комплекса дополненной реальности производится на основе разработанных качественных и количественных критериев, определенных в зависимости от их влияния на работу всего АЦКДР (табл. 2).

Методика создания АЦКДР

В качестве пространственных данных как маркеры дополненной реальности могут служить аэрокосмические снимки, цифровые и электронные карты, цифровые модели рельефа и др.

На начальном этапе определяется тип этих исходных данных – векторные или растровые. Далее учитывается формат представленных данных. При обработке растровых данных определяется вид данных: матрица высот, из которой следует уточнение, в каком формате она представлена – мультиспектральный или панхроматический снимки. Затем осуществляется преобразование матрицы высот в градации серого либо выбор спектральных каналов.

При векторном типе данных также уточняется необходимость пообъектного взаимодействия с последующим растриванием данных. Результатом обработки пространственных данных средствами ГИС для использования в МПДР становится преобразование в формат, поддерживаемый в платформе разработки (рис. 3).

Создание АЦКДР происходит согласно технологической схеме, проиллюстрированной на рис. 4 и состоящей из трех этапов.

Ниже представлены этапы технологической схемы.

1. Этап создания технического задания на разработку МПДР (рис. 4) начинается с выбора аналоговой карты для дополнения и, при необходимости (что зависит от назначения приложения дополненной реальности), актуализации карты. Далее происходит проектирование дополнений к аналоговой карте с учетом тематики и целевой аудитории пользователей мобильного приложения дополненной реальности.

Исходя из запроецированных элементов ДР выполняется проектирование технического обеспечения разработки мобильного приложения дополненной реальности и параллельно выполняется поиск и отбор источников информации, в качестве которых выступают порталы открытых геопространственных данных, к которым относятся данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) [7], Интернет-ресурсы, видеоряд, полученный в процессе панорамной съемки, аэрофотосъемки и других видов съемок, различная тематическая информация. При выявлении изменений, произошедших на территории, выбирается из существующих или разрабатывается новый классификатор объектов дополненной реальности, включающий в себя авторские и стандартные условные знаки,

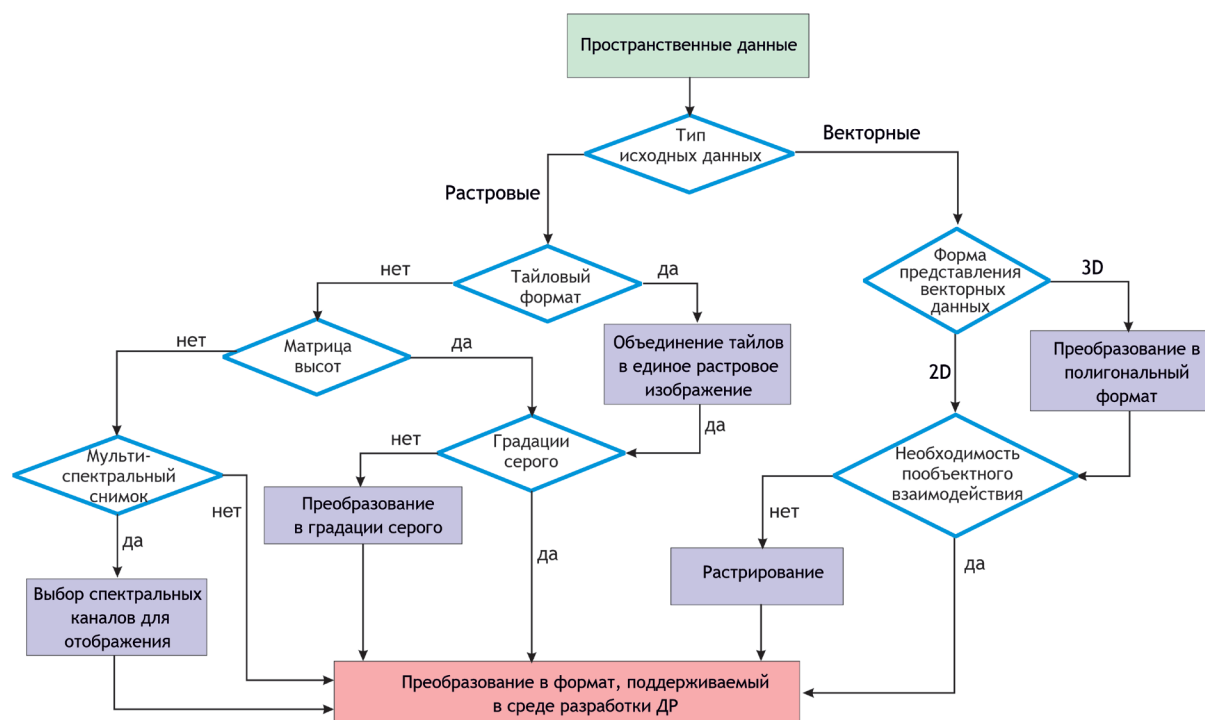


Рис. 3. Алгоритм обработки пространственных данных средствами ГИС для использования в платформе разработки приложений ДР

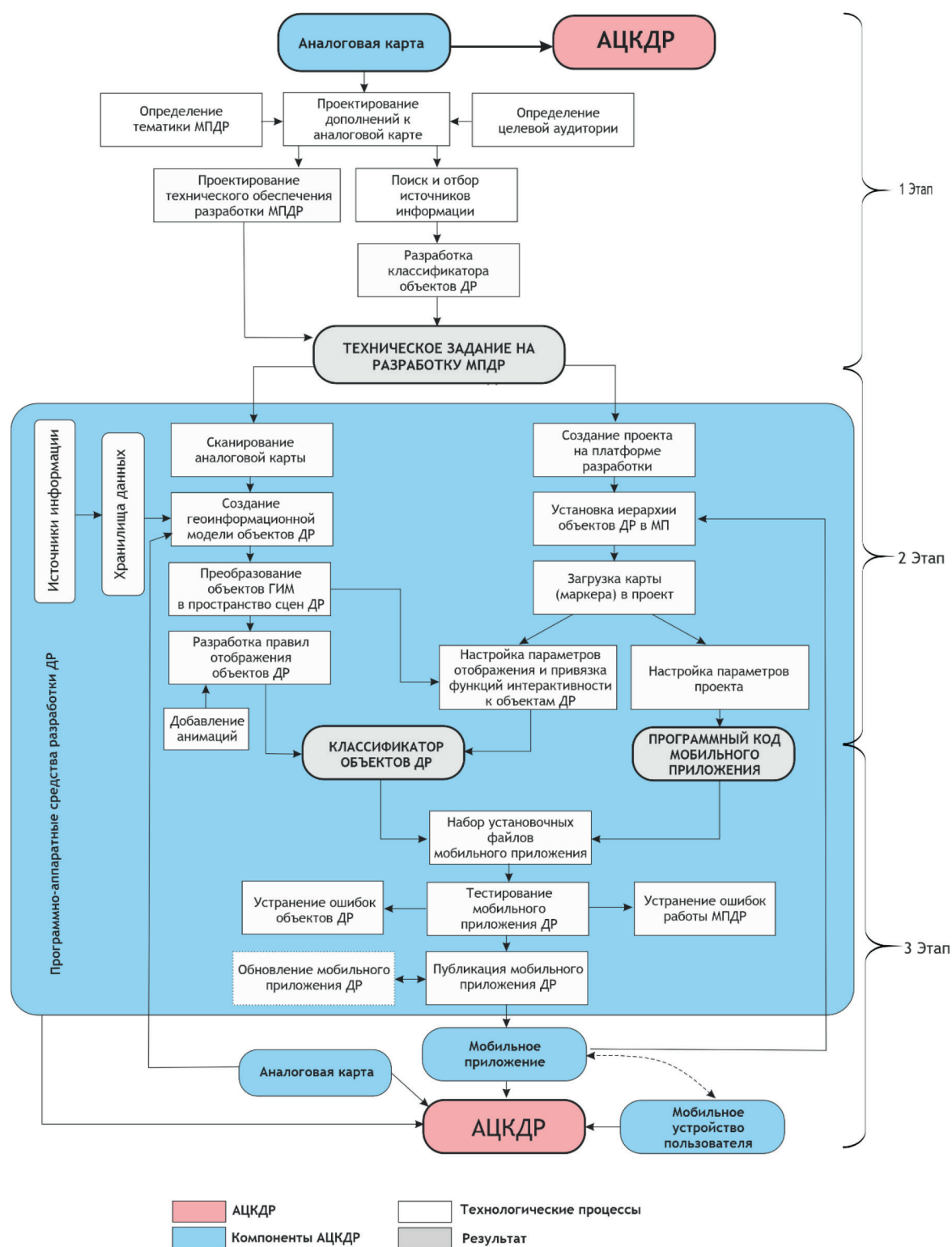


Рис. 4. Технологическая схема создания АЦКДР

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
Территориальное планирование и архитектура		
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
Культура и искусство		
Карта реконструкции	Визуализация утраченных объектов культурного наследия	Визуализация древних городов или замков на современной карте
Интерактивные карты музеев	Интерактивные экскурсии в музеях о исторических событиях или географических открытиях	Визуализация дополнительной географической и исторической информации об экспонатах музея
Экология и природопользование		
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
Военное дело и чрезвычайные ситуации		
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

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

правила их отображения (трехмерный, двумерный, анимационный), семантическое описание и формат объектов ДР. Следует отметить, что формирование системы условных знаков для использования в АЦКДР зависит от тематики выбранной карты.

Результатом описанных выше процессов является техническое задание на разработку мобильного приложения дополненной реальности (МПДР).

2. Этап разработки программного кода МДПР и классификатора объектов дополненной реальности (рис. 4).

Аналоговая карта переводится в электронный вид (сканируется). Затем создается геоинформационная модель (ГИМ) объектов 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 осуществляется преобразование объектов геоинформационной модели 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 определением правил создания анимаций. В результате последовательных действий получается классификатор объектов дополненной реальности.

Одновременно с проектированием внутреннего наполнения мобильного приложения дополненной реальности (МПДР) создается программный код мобильного приложения на платформе разработки (стандартное ПО). Сначала в проект загружается карта (маркер), а далее настраиваются параметры отображения и привязки функций интерактивности к объектам ДР, непосредственно связанные с авторской картой. Также настраиваются параметры проекта мобильного приложения. На данном этапе выполняются компоновка (размещение) данных и привязка графической информации к маркеру, затем производится настройка

отображения элементов дополненной реальности в среде разработки. Также происходит выбор дизайна интерфейса и программирование кнопок.

3. Этап создания АЦКДР.

На основании проектов дополненной реальности и мобильного приложения генерируется набор установочных файлов мобильного приложения. После запуска установочных файлов на мобильном устройстве запускается приложение дополненной реальности, нуждающееся в тестировании корректности его работы. При появлении ошибок в процессе тестирования они идентифицируются на предмет того, на каком этапе необходимо их устранить. Если в процессе тестирования не выявлено существенных недостатков, то работа МПДР апробируется на тестовой группе пользователей. Далее после получения положительного отклика от них МПДР может быть опубликовано для широкого круга пользователей. Далее по мере необходимости производится его обновление.

Перспективы использования АЦКДР

Использование элементов дополненной реальности представляет собой инновационное направление, которое объединяет традиционную картографию с современными технологиями. Эти новые возможности позволяют расширить функционал аналоговых карт и сделать процесс использования картографической информации, представленной на такой карте, интерактивным (табл. 3).

Заключение

В заключение отметим, что предложенный аналого-цифровой картографический комплекс дополненной реальности может использоваться в различных сферах деятельности, где применяется аналоговая картографическая продукция, для ее виртуального обнов-

ления, а также расширения содержания и функционала. Дальнейшие разработки будут направлены на совершенствование мобильного приложения дополненной реальности, в том числе в части создания анимационных объектов аналого-цифровой карты.

Литература

- Пошивайло, Я. Г. Формализация представления технологических процессов картографирования на основе системно-технического анализа / Я.Г. Пошивайло, Д.В. Лисицкий // *Информация и Космос*. – 2023. – № 2. – С. 106–113.
- Цветков, В. Я. Дополненная реальность / В.Я. Цветков // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2017. – № 6-2. – С. 211–212.
- Morgan, K. Forget Google Maps: Why Paper Map Sales Are Booming / K. Morgan // *The Wall Street Journal*. – 2023. – URL : <https://www.wsj.com/articles/why-paper-map-sales-are-booming-11674164824> (дата обращения: 20.05.2025).
- Hurst, P. Will we be lost without paper maps in the digital age? / P. Hurst, P. Clough // *Journal of Information Science*. – 2013. – Vol. 39, No. 1. – P. 48–60.
- Пошивайло, Я. Г. Анализ структурных элементов цифровой тематической карты / Я.Г. Пошивайло // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2020. – Т. 1, № 2. – С. 62–67.
- Пошивайло, Я. Г. Анализ и систематизация технических средств и технологий дополненной реальности в картографии / Я.Г. Пошивайло, К.С. Батырова // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2024. – Т. 335, № 3. – С. 154–162.
- Батырова, К. С. Методика расширения содержания и функционала аналоговых карт с применением технологии дополненной реальности / К.С. Батырова // *Вестник СГУГиТ*. – 2025. – Т. 30, № 1. – С. 88–95.
- Яловкина, Л. В. О результатах разработки методики обеспечения и контроля качества дизайна картографического изображения / Л.В. Яловкина, О.Н. Николаева // *Вестник СГУГиТ*. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 211–221.
- Яловкина, Л. В. Обзор и анализ развития технологии и оценки качества картографической продукции / Л.В. Яловкина, О.Н. Николаева // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2022. – Т. 66, № 2. – С. 20–33.
- Кравцов, А. А. Исследование и разработка информационной системы с технологией интерактивной визуализации средствами дополненной реальности : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.13.01 / Кравцов Алексей Александрович ; КубГТУ. – Краснодар, 2016. – 22 с.
- Liu, X. Application Development with Augmented Reality Technique using Unity 3D and Vuforia / X. Liu, Y. Sohn, D. Park. // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2018. – Vol. 13, No. 21. – P. 15068–15071.
- Supported Versions // URL: <https://library.vuforia.com/platform-support/supported-versions.html> (дата обращения: 21.05.2025).
- Packages and feature sets // Unity documentation [сайт]. – URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/PackagesList.html> (дата обращения: 21.05.2025).
- 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 // *Universal Access in the Information Society*. – 2017. – Vol. 18, No. 2. – P. 257–268.
- Singla, J. G. Virtual reality based novel use case in remote sensing and GIS / J.G. Singla // *Current Science*. – 2021. – Vol. 121, No. 7. – P. 958–961.
- 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 // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2023. – Т. 1, № 2. – С. 101–110.
- ГОСТ Р 70171–2022. Картография. Требования к отображению государственной границы Российской Федерации и границ между субъектами Российской Федерации на цифровых топографических картах и планах. – Москва : Российский институт стандартизации, 2022. – 12 с.