

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

Факультет математики и информатики  
Кафедра информационных и управляющих систем  
Направление 09.04.04 – Программная инженерия  
Магистерская программа Управление разработкой программного обеспечения

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ А.В. Бушманов

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на тему: Программная реализация натуралистичной ГИС г. Благовещенска

Исполнитель магистрант группы 557-ом	_____	К.Г. Мишаченко
	(подпись, дата)	
Руководитель профессор, д-р техн. наук	_____	И.Е. Еремин
	(подпись, дата)	
Руководитель магистерской программы профессор, д-р техн. наук	_____	Е.Л. Еремин
	(подпись, дата)	
Нормоконтроль доцент, канд. физ.-мат. наук	_____	В.В. Еремина
	(подпись, дата)	
Рецензент доцент, канд. физ.-мат. наук	_____	Д.В. Фомин
	(подпись, дата)	
Рецензент доцент, канд. техн. наук	_____	М.Д. Штыкин
	(подпись, дата)	

Благовещенск 2017

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит – 78 с., 59 рисунков, 2 таблицы, 2 приложения, 37 источников. Структура диссертации состоит из трех разделов: «Традиционные методы проектирования ГИС», «Программное и алгоритмическое обеспечение решения задачи», «Программная реализация натуралистичной ГИС».

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, 3D-МОДЕЛИ, ЭЛЕКТРОННАЯ КАРТА, ВИЗУАЛИЗАТОР, НИЗКО-ПОЛИГОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, СЛАЙДОВАЯ БИБЛИОТЕКА, РЕДАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ, НАТУРАЛИСТИЧНАЯ ГИС, СПУТНИКОВЫЙ СНИМОК, ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ДАННЫЕ.

*Актуальность* применения натуралистичных геоинформационных систем для решения задач визуализации, обусловлена широким спектром инструментов, которые включают в себя базы данных, визуальную привязку и возможность связки с глобальными картами субъектов. Внедрение трехмерных технологий позволило решать ГИС новые задачи визуализации, статистики и анализа, что позволило создавать полноразмерные модели целых муниципальных объектов и даже городов, включая модели инфраструктуры. Результаты моделирования и анализа подобных систем можно легко предоставить в удобном для восприятия виде, например, в виде презентаций и видеороликов.

*Целью работы* послужило создание программного средства, предназначенного для визуализации пространственных данных, а также оптимизированного создания и использования натуралистичных ГИС, с помощью библиотеки типизированных объектов.

*Научная новизна* основных результатов работы состоит в следующем: разработанный программный продукт практически реализует среду формирования

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ			
И	Л	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Мишаченко К.Г.			ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НАТУРАЛИСТИЧНОЙ ГИС Г. БЛА- ГОВЕЩЕНСКА	Лит.	Лист	Листов
Пров.		Еремин И. Е.				У	2	78
Консульт.						АмГУ кафедра		
Н. контр.		Еремина В.В.				ИУС		
Зав. каф.		Бушманов А.В.						

натуралистичных ГИС, используя передовые графические технологии и позволяя оптимизировать работу с ГИС за счет масштабируемости системы и использования распределения прав доступа.

*Практическая ценность диссертационной работы:* получено свидетельство о государственной регистрации для ЭВМ № 2015610978 «Реалистичная геоинформационная система городского пространства», зарегистрированное в Реестре программ для ЭВМ 21 января 2015г.

*Защищаемые положения:*

1. Алгоритм оптимизация работы с приложением ГИС, путем распределения прав доступа.

2. Алгоритм формирования пространства натуралистичной ГИС с использованием типизированного набора объектов.

3. Программная реализация натуралистичной ГИС г. Благовещенска.

Основные результаты проведенного квалификационного исследования опубликованы в пяти работах, среди которых 2 журнальных статьи [34, 37], 2 тезиса докладов на научных конференциях [32, 33], свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [35].

					<b>ВКР.155515.09.04.04.ПЗ</b>					
<b>И</b>	<b>Л</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Подп.</b>	<b>Дата</b>	<b>ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НАТУРАЛИСТИЧНОЙ ГИС Г. БЛА- ГОВЕЩЕНСКА</b>					
Разраб.	Мишаченко К.Г.							<b>Лит.</b>	<b>Лист</b>	<b>Листов</b>
Пров.	Еремин И. Е.							У	3	78
Консульт.								АмГУ кафедра		
Н. контр.	Еремина В.В.							ИУС		
Зав. каф.	Бушманов А.В.									

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Развитие геоинформационных систем	9
1.1 Аппаратное обеспечение ГИС	10
1.2 Создание прототипа 3D кадастра в России	15
1.3 Рынок современных ГИС	20
2 Программное и алгоритмическое обеспечение решения задачи	23
2.1 Программное обеспечение решения задачи	23
2.1.1 Обоснование выбора программы для 3D моделирования	24
2.1.2 Обоснование выбора визуализатора	26
2.1.3 Обоснование выбора СУБД	28
2.1.4 Обоснование выбора языка программирования	30
2.2 Алгоритмы проектирования натуралистичной ГИС	31
2.2.1 Представление и модели географической информации в ГИС	31
2.2.2 Технология использования систем координат и проекций	32
2.2.3 Технологии хранения информации ГИС	34
2.3 Алгоритмы проектирования 3D-моделей зданий	36
2.3.1 Создание низко-полигональной модели	36
2.3.2 Реализация синтетической текстуры	38
2.3.3 Пространственная привязка моделей на карте	40
3 Программная реализация натуралистичной ГИС	43
3.1 Проектирование подсистемы слайдовой библиотеки зданий и объектов	43
3.1.1 Подготовка модели для помещения в библиотеку	43
3.1.2 Подсистема распределения прав доступа	45
3.1.3 Подсистема сохранения матриц трансформации объектов	47
3.1.4 Подсистема послойного рендеринга и оптимизации	48
3.2 Проектирование подсистемы 3D-моделей зданий	50
3.2.1 Расчет размеров будущих моделей	51
3.2.2 Моделирование низко-полигональной основы	53

3.2.3 Создание UV-развертки и текстурирование	54
3.3 Проектирование базы данных натуралистичной ГИС	57
3.4 Проектирование подсистемы визуализации и навигации	59
3.4.1 Проектирование навигации с помощью виртуальной камеры	61
3.4.2 Создание карты-подложки и расположение 3D моделей	63
3.4.3 Проектирование пользовательского интерфейса	64
3.5 Структура и возможности программного продукта,	66
3.6 Руководство пользователя	66
3.6.1 Системные требования	67
3.6.2 Примеры экранных форм	67
Заключение	74
Библиографический список	75
Приложение А Логическая и физическая модель БД	79
Приложение Б Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ	80

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей дипломной работе использованы ссылки на следующие стандарты и нормативные документы:

ГОСТ 19.001-77 ЕСПД	Общие положения;
ГОСТ 19.004-80 ЕСПД	Термины и определения;
ГОСТ 19.101-77 ЕСПД	Виды программ и программных документов;
ГОСТ 19.102-77 ЕСПД	Стадии разработки;
ГОСТ 19.103-77 ЕСПД	Обозначение программ и программных документов;
ГОСТ 19.104-78 ЕСПД	Основные надписи;
ГОСТ 19.105-78 ЕСПД	Общие требования к программным документам;
ГОСТ 19.106-78 ЕСПД	Требования к программным документам, выполненным печатным способом;
ГОСТ 19.401-78 ЕСПД	Текст программы. Требования к содержанию и оформлению.

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

ГИС – Географическая информационная система;

БД – База данных;

ПО – Программное обеспечение;

СБ – Слайдовая библиотека объектов;

СУБД – Система управления базами данных;

3D – Трехмерная компьютерная модель.

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность применения натуралистичных геоинформационных систем для решения задач визуализации, обусловлена широким спектром инструментов, которые включают в себя базы данных, визуальную привязку и возможность связки с глобальными картами субъектов. Внедрение трехмерных технологий позволило решать ГИС новые задачи визуализации, статистики и анализа, что позволило создавать полноразмерные модели целых муниципальных объектов и даже городов, включая модели инфраструктуры. Результаты моделирования и анализа подобных систем можно легко предоставить в удобном для восприятия виде, например, в виде презентаций и видеороликов.

Появление трехмерных визуализаторов, позволяющих осуществлять связку базы данных и групп 3D моделей, позволило создавать прототипы 3D ГИС без получения специализированного инженерного образования в сфере геоинформационных технологий. Дальнейшее развитие данных технологий позволило создавать специализированные плагины, осуществляющие привязку 3D объектов к векторной или аэрофотографической подложке ГИС Google, Яндекс и им подобным.

Целью магистерской работы является создание программного комплекса, отвечающего функционалу трехмерной ГИС, с помощью разработки редактора формирования натуралистичных ГИС, использующего типизированные объекты.

Основные задачи исследования состоят в формировании подсистем распределения прав доступа, слайдовой библиотеки объектов, поддержки и сопровождения баз данных.

При создании ГИС использовались бесплатные версии визуализатора Unity 3D, трехмерного редактора CINEMA 4D и СУБД SQLite DOG, что позволило создать полноценный программный продукт, отвечающий заявленному функционалу трехмерной геоинформационной системы, решающий задачу оптимизации проектирования и сопровождения натуралистичной ГИС г. Благовещенска и ей подобных.

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

# 1 РАЗВИТИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В конце XX века началась волна небывалой информатизации общества. Различные виды научного анализа с помощью компьютеров смогли выйти на новый виток быстрого развития, в том числе и появившийся класс программного обеспечения для создания географических информационных систем. В это же время активно развивался экологический менеджмент, главной задачей которого была организация управления окружающей средой. Решение этой задачи было невозможно без применения системного подхода к обработке огромных массивов пространственной информации с помощью специализированных ГИС [6].

До недавнего времени использование ГИС было доступно лишь специалистам, пришедшим из физико-математических наук, и ограничивалось электронной картографией, результаты которой не всегда позволяли на основе полученных данных формировать целостную ландшафтно-экологическую структуру.

Современные программные средства для работы с ГИС развиваются по пути упрощения интерфейса и направлены на использование специалистами прикладного уровня, не имеющих глубокого знания программирования. Данные настольные ГИС предоставляют широкий набор инструментов для анализа и манипулирования данными, свойственный полноценным профессиональным географическим системам. С помощью данных программных продуктов можно исследовать отношения между различными типами географических, экологических и экономических данных.

В настоящее время технологии геоинформатики получили широкое распространение практически во всех сферах деятельности человека. Не смотря на то, что наиболее широко распространены двумерные ГИС, с развитием технологий трехмерного моделирования и ростом мощности вычислительной техники, начали набирать популярность программные продукты включающие трехмерное представление объектов [2]. Данный процесс связан с особенностями двумерных геоинформационных систем:

– отсутствие возможности визуализации сложных географических объектов;

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- проблемы представления планировки территории с большим количеством разноплановых географических объектов;
- финансовые и временные потери в течении разработки многослойной инфраструктуры географических объектов.

Приведенные выше недостатки двухмерных программных решений позволяет обеспечить переход к трехмерному представлению географических объектов, которое позволит решать новые задачи:

- всесторонняя визуализация ландшафтов, инфраструктуры и сооружений;
- анализ и планирование развития территорий и взаимодействия инфраструктурных узлов;
- предоставление аналитических данных в удобном виде, визуализация результатов обработки.

Применение трехмерных ГИС решений возможно благодаря развитию трехмерной графики, наращиванию вычислительной мощностей и параллельным удешевлением аппаратной составляющей персональных компьютеров.

В настоящее время, появился класс открытых ГИС, отвечающих стандартам как 2D так и 3D графики, данные решения позволяют получить свободный доступ к различным картографическим ресурсам, а также принять участие в их доработке. Стоит отметить появление электронных справочников с картами городов, например 2ГИС, которые позволяют активно применять геоинформационные технологии для решения повседневных задач, что несомненно показывает актуальность применения ГИС.

### **1.1 Аппаратное обеспечение ГИС**

В геоинформационных системах ввиду важности интеграции сбора и обработки данных аппаратное обеспечение играет важную роль в получении конечного программного продукта. Функционал ГИС можно разбить на реализацию в машинном и в программном обеспечении, из рисунка 1 мы можем заметить сложность структуры взаимодействия аппаратных компонентов.

Одной из главных компонент ГИС являются приборы сбора данных с местности или картографических данных. Сюда входят приборы геодезических

измерений расстояний, уровня высот, углов поверхностей и для съемки местности [6].

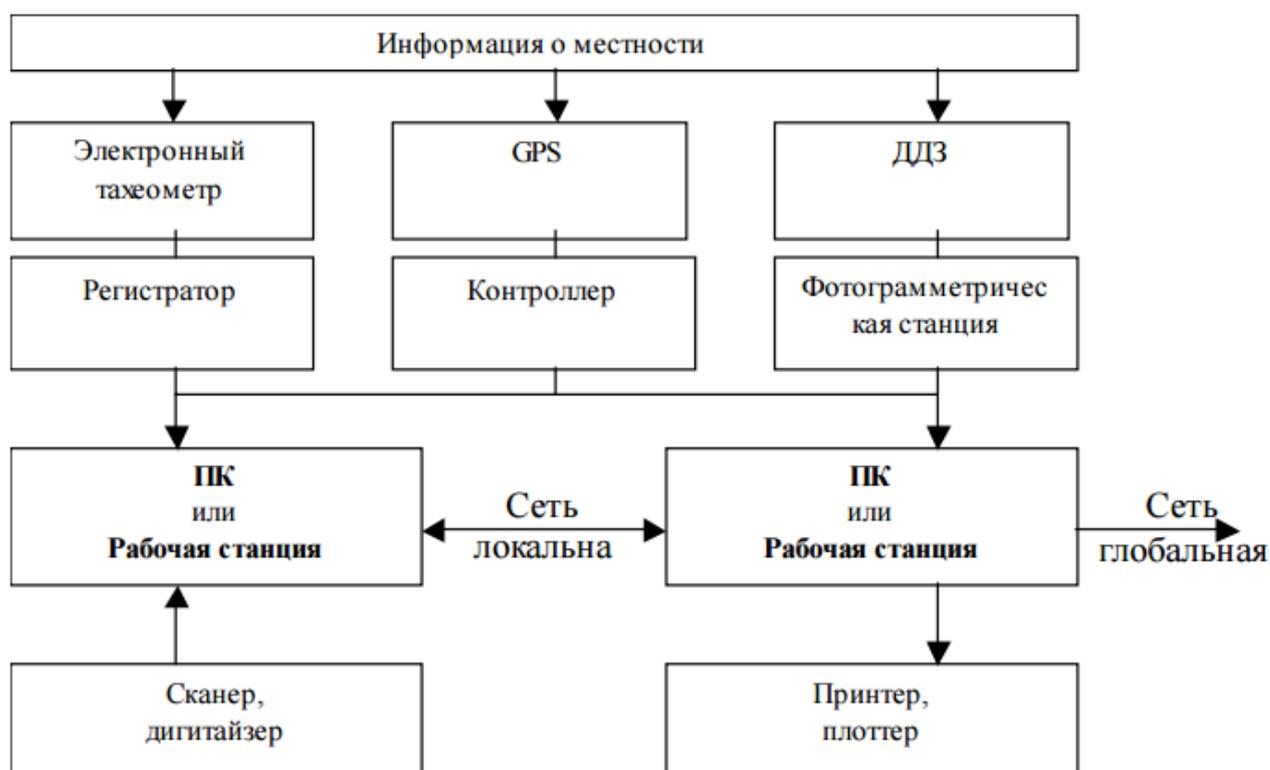


Рисунок 1 – Взаимодействие аппаратных компонентов ГИС

Современные методы измерений, такие как спутниковые и фотограмметрические, позволяют производить крупномасштабные расчеты за короткое время с помощью обработки результатов на ЭВМ. В России с помощью Глобальной навигационной спутниковой системы могут осуществляться измерения основанные на использовании координат, полученных с искусственных спутников Земли [6, 7]. Любую точку Земли одновременно покрывают минимум четыре спутника, это обеспечивает точное определение координат данной точки пространства в ходе решения пространственной задачи (рисунок 2). При этом координаты могут быть получены двумя способами:

1. Абсолютные координаты, определяются одним приемником, в результате чего точность колеблется от одного до трех метров.
2. Относительные координаты, определяются несколькими приемниками, в результате расчета геодезической сети на местности точность данных координат составляет порядка двух сантиметров.

Спутниковые методы определения пространственных координат широко используются в современной геодезии. В США развернута система GPS (Global Positioning System), в России действует система ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система), в Европе - спутниковая система Galileo.

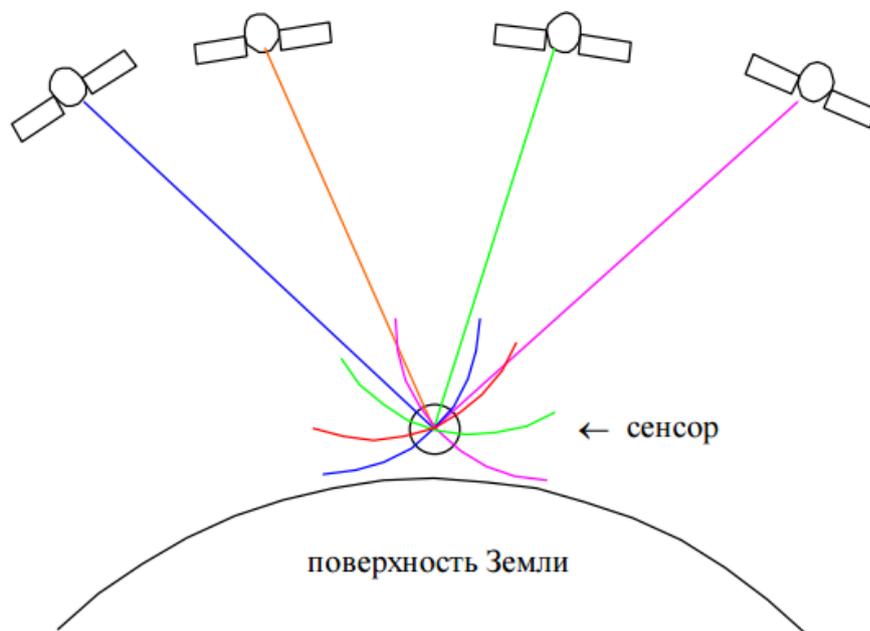


Рисунок 2 – Определение координат наземной точки с помощью спутниковой системы

Фотограмметрия позволяет с помощью аэрофотоснимков не только измерять необходимые объекты, но и проводить интерпритацию изображения, в частности анализ описывающих данных. Фотограмметрические измерительные приборы позволяют проводить реконструкцию геометико-аналитических отношений между полученным изображением измеряемого объекта и математической моделью центральной перспективы. Данная реконструкция может быть аналоговой, с использованием оптикомеханического восстановления лучей и аналитической, с использованием вычислительных методов перевода координат изображения в координаты модели. Для построения трехмерных цифровых моделей на основе стереооценки используются аналитические стереоплоттеры, один из таких аппаратов представлен на рисунке 3. Данная аппаратура позволяет получать изображения в ортогональной проекции, повышая тем самым геометрическую точность объектов без потери информационного содержания

фотографии. Альтернативой дорогостоящим стереоплоттерам могут служить персональные компьютеры со специализированным программным обеспечением и сканирующим устройством высокого разрешения [7, 8].



Рисунок 3 – Аналитический стереоплоттер SD3000

К универсальным приборам получения векторных и растровых данных относят:

- Дигитайзер, для получения векторных данных;
- Сканер, для получения растровых данных.

В геоинформационных системах под дигитайзером понимают устройство преобразования аналоговых данных в цифровые, в частности используемое для получения векторных графических данных на основе исходных аналоговых данных. Формат дигитайзеров колеблется от А4 до А0, преимущественно используется большой формат, при этом среднестатистическое рабочее разрешение прибора равно 1000 dpi. Различают два метода сбора данных:

- съемка отдельных точек, применяется для регистрации регулярно расположенных объектов;
- динамическая съемка, применяется для нерегулярных линейных объектов,

скорость съемки варьируется от 100 до 200 координатных пар в секунду.

При обработке данных сканер служит для оцифровки изображений документов, карт или иного исходного материала с последующим процессом распознавания символов, векторизацией и сохранением в памяти ЭВМ. По типу сканеры делятся на: барабанные, планшетные, рулонные, проекционные, 3D-сканеры. В области компьютерной графики 3D-сканеры стали незаменимым компонентом, для создания трехмерных моделей любых объектов [6]. В связке с 3D принтером инженеры могут быстро и без использования специальных материалов создавать и демонстрировать трехмерные модели географических объектов (рисунок 4).



Рисунок 4 – Распечатанная на 3D принтере географическая модель

Дигитайзер	Аналитический плоттер	Сканер	Измерительные приборы
Магистраль компьютера , порты ввода вывода			
Вычислительное устройство Дисплей Клавиатура Мышь			
Магистраль компьютера , порты ввода вывода			
Жесткий диск	Сетевой адаптер	Принтер	Плоттер

Рисунок 5 – Компоненты аппаратного обеспечения ГИС

Общая схема компонентов аппаратного обеспечения ГИС представлена на рисунке 5, благодаря связи этих компонентов обеспечивается эффективное функционирование ГИС систем. На текущий момент с развитием информационных

технологий многие аппаратные средства отошли на второй план, так как повсеместно распространены карты с высококачественными аэрофотоснимками, карманные GPS системы и свободно распространяемые ГИС системы [7, 8].

Тенденции современных ГИС складываются в сторону развития проектов с открытым исходным кодом, таким образом создание ГИС осуществляется с помощью совокупности обычных персональных компьютеров и сети интернет.

## 1.2 Создание прототипа 3D кадастра в России

В России с мая 2010 г. по июнь 2012 г. разрабатывался российско-нидерландский проект «Создание модели трехмерного кадастра недвижимости в России» в рамках программы «Правительство для правительства» Федеральной службой государственной регистрации, кадастра и картографии России и Агентством кадастра, регистрации земель и картографии Нидерландов [1]. Интерес к подобной тематике был вызван вышеизложенными недостатками двухмерного представления данных и открытием новых возможностей при использовании трехмерного представления объектов. Некоторые аспекты финальной реализации:

- анализ международного опыта и эффективных решений для последующей адаптации их к условия Российской Федерации;
- анализ законодательной базы с целью возможности введения трехмерного кадастра;
- разработка прототипа на основе модели трехмерного кадастра;
- проработка технологий подготовки данных для обеспечения трехмерного кадастра.

Сложность объектов инфраструктуры постоянно возрастает при этом требуя должной регистрации правового статуса, этого не может в полной мере обеспечить существующая двухмерная регистрация. В результате проведения различных научных мероприятий, посвященных трехмерным кадастрам в ряде стран произошли следующие изменения, связанные с трехмерными объектами кадастра:

- Швеция приняла закон о 3D недвижимости в 2004 году;
- Норвегия в 2010 году в законе о кадастре ввела понятие 3D «строительная собственность».

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

В кадастре используется понятие парцеллы – часть территории, ограниченная на местности и/или на плане: по поверхности земной коры границами земельного участка, фиксированной высотой и объемом воздушного пространства, и глубиной и объемом недр. В частности, 3D парцеллы не учитываются ни в одном кадастре, применяются так называемые «поэтажные планы». В таких странах как Австралия, Хорватия, Норвегия и Швеция применяются ссылки на 3D парцеллу на кадастровой карте в виде двухмерных полигонов [1].

В штате Квинсленд (Австралия) 3D регистрация поддерживается системой регистрации прав собственности, и 3D парцелла регистрируется как «объемная парцелла» (рисунок 6).

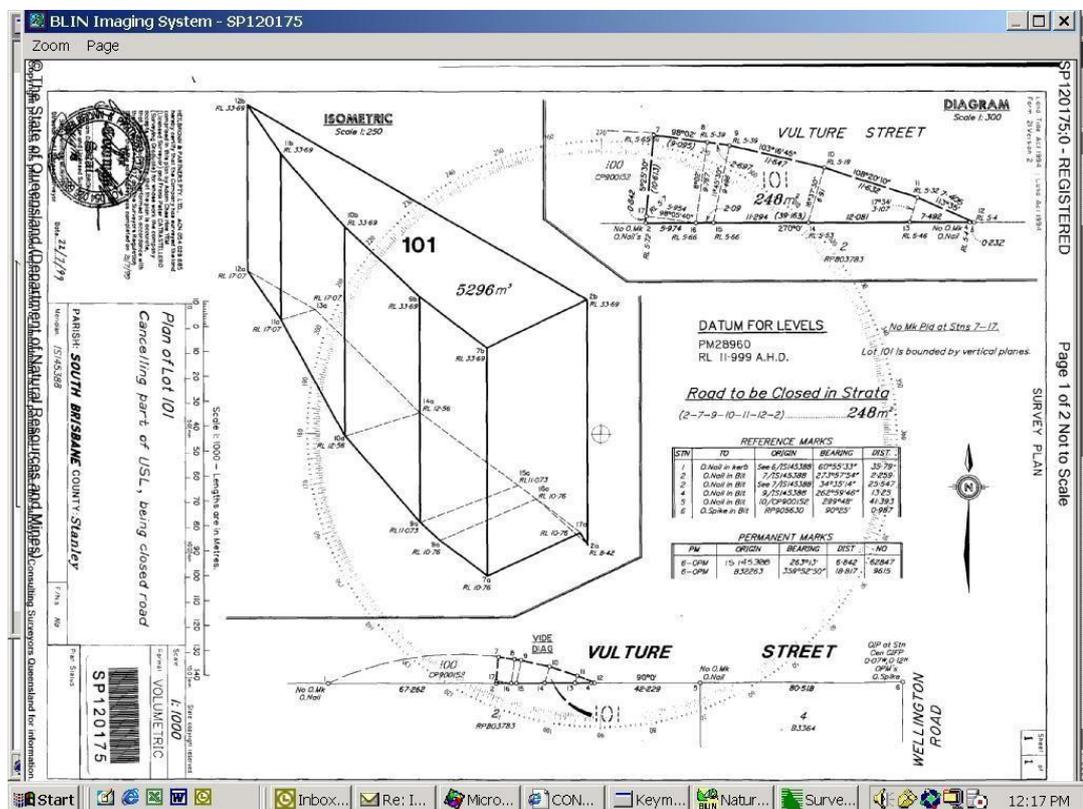


Рисунок 6 – Объемная парцелла (штат Квинсленд, Австралия)

В Италии 3D кадастр состоит из кадастра зданий, связанным с земельным кадастром. На кадастровой карте визуализация 3D объекта производится с помощью отображения стандартной высоты этажа здания, не являясь фактически точной, но все же это дает некоторое реалистичное представление о здании и правах на объекты недвижимости внутри него (рисунок 7).

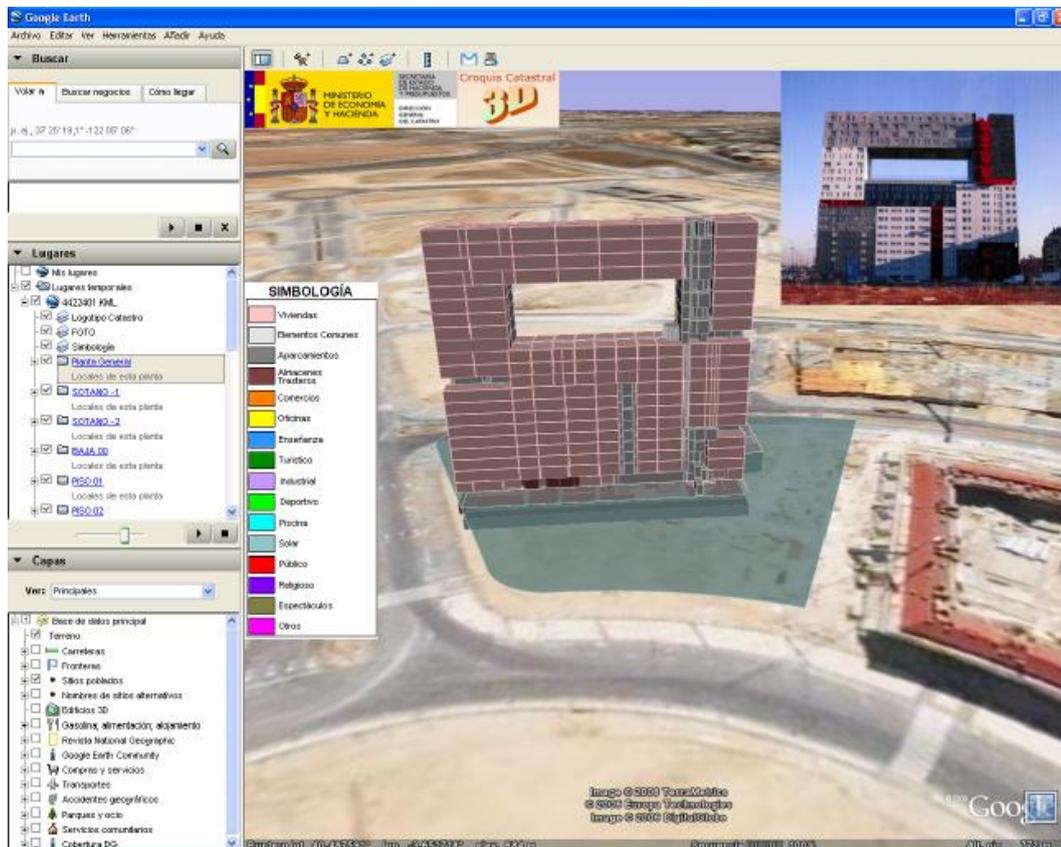


Рисунок 7 – 3D визуализация зданий в кадастре Испании

В результате анализа существующих систем кадастрового учета в Российской Федерации определены главные принципы кадастрового учета новых 3D парцелл:

- для 3D участка определены два представления: PDF визуализация и LADM / CityGML 3D данные для кадастрового учета;
- каждая 3D парцелла имеет временный ID, для создания привязки данных;
- представление 3D кадастрового объекта включает этаж (уровень);
- линейные инфраструктурные 3D парцеллы могут включать следующие параметры: диаметр или высота и ширина;
- 3D парцелла может существовать только как связанный пространственный объект;
- топографической привязке подлежат: 3D здания, дороги, трубопроводы, кабельные линии;
- точность определения координат границ 3D объекта равна точности для соответствующего 2D объекта.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

В базе данных 3D объект хранится в специальной таблице, которая содержит контуры пресечения объекта с поверхностью и проекцию в виде двухмерного контура. Реализация проекта имеет прототип архитектура которого изображена на рисунке 8.

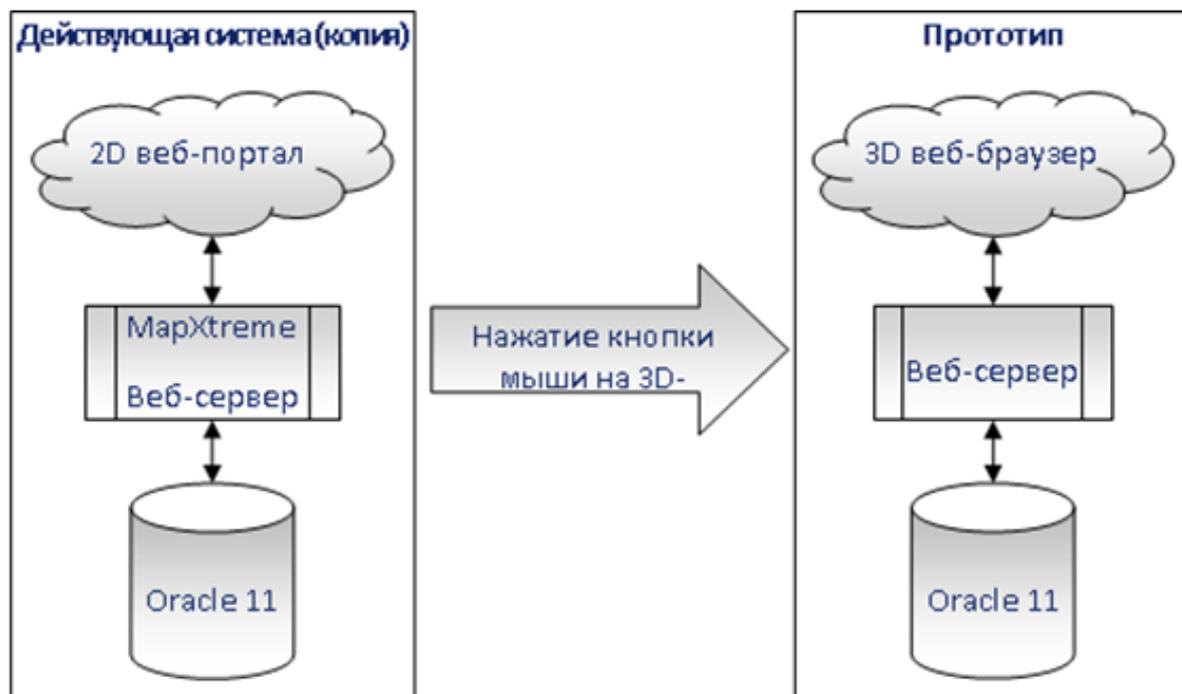


Рисунок 8 – Архитектура прототипа 3D кадастра

На основе выбранной архитектуры разработан пилотный объект «Теледом» (г. Нижний Новгород, ул. Белинского, д. 9/1) – сложный архитектурный объект (рисунок 9), который отображается на двухмерной карте только как основание здания [1, 2]. Для реализации прототипа был собран комплекс данных:

- топографическую основу и цифровую модель рельефа;
- данные ГНК;
- сведения о государственной регистрации прав на земельные участки;
- технические паспорта этажных планов.

С помощью программного комплекса Google SketchUp была получена 3D модель пилотного объекта, изображенная на рисунке 10. В процессе моделирования использованы чертежи здания, открытая кадастровая карта и спутниковый снимок, в результате чего получен трехмерный объект схожий с оригиналом.



Рисунок 9 – Объект «Теледом»

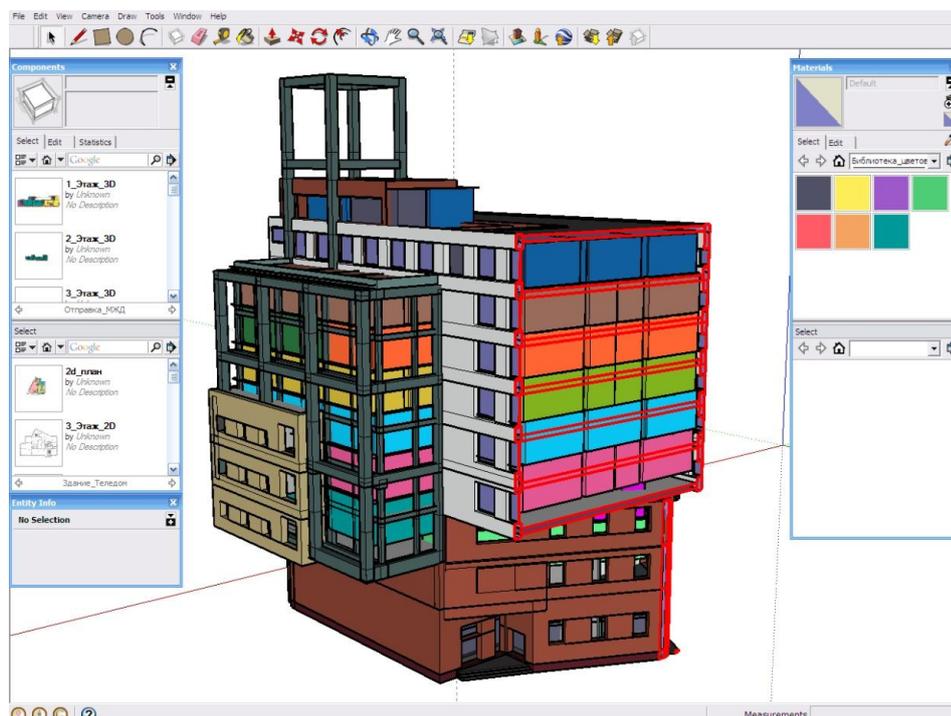


Рисунок 10 – 3D модель пилотного объекта «Теледом»

Конечный прототип 3D кадастра работает с браузером Internet Explorer и плагином для 3D визуализации (BS Contact), конечный интерфейс изображен на рисунке 11. Рабочая область разделена на три зоны: окно 3D просмотра, окно вы-

вода результирующей информации об объекте (справа) и фильтры выборки (снизу).

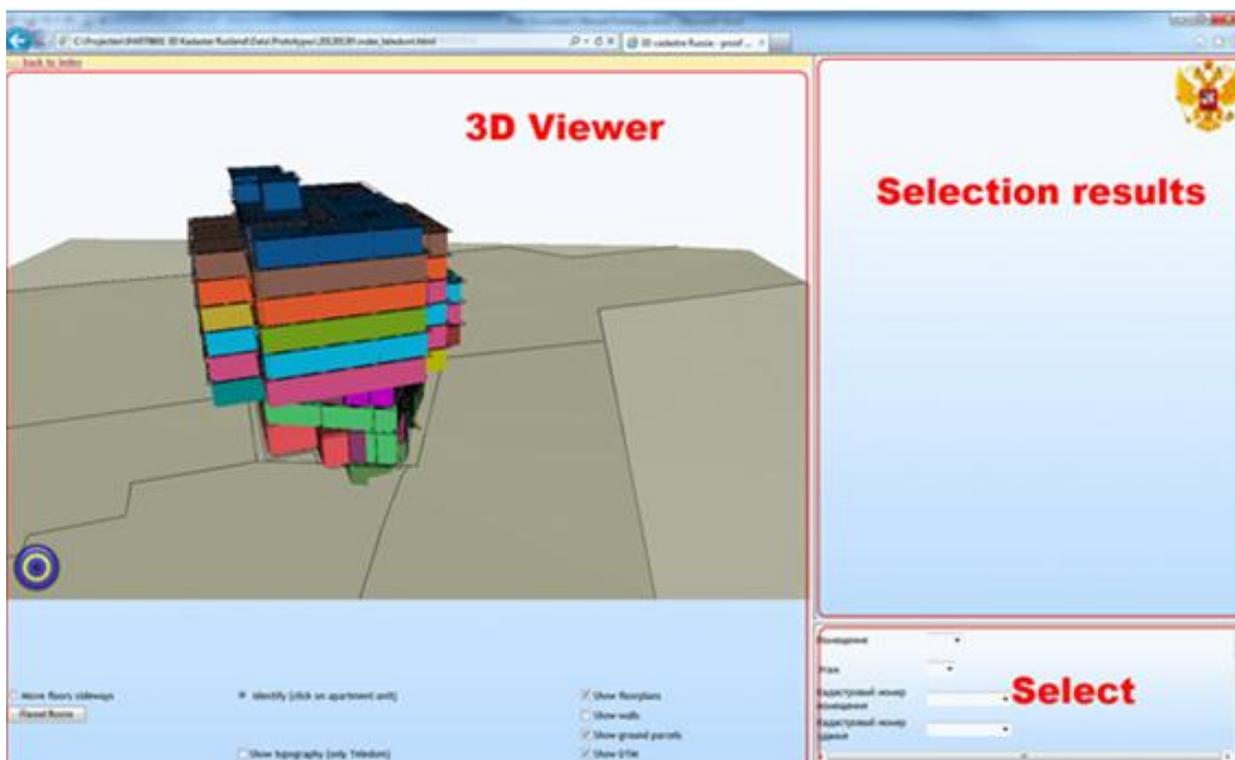


Рисунок 11 – Интерфейс прототипа 3D кадастра

Приложение позволяет визуализировать топографическую карту, поэтажные планы, стены, земельные участки и цифровую модель местности.

### 1.3 Рынок современных ГИС

В настоящее время все большую популярность среди ГИС специалистов получило создание трехмерных реконструкций городов, включающих значимые объекты культурного наследия, инфраструктуру, пространственное планирование, примеры трехмерных ГИС городов России представлены на рисунке 12. Технологии, применяемые при моделировании подобных систем можно классифицировать по степени автоматизации, а именно [37]:

- Моделирование в ручном режиме, с использованием 3D редакторов;
- Автоматическая генерация 3D моделей;
- Полуавтоматическое создание 3D моделей.

Ручное моделирование требует много времени, однако степень детализации и интеграции атрибутов смоделированных зданий достаточно высока, в отличии

от автоматических методов, в которых преобладает быстрая скорость, однако низкое качество визуальной составляющей и самой геометрической модели.



Рисунок 12 – 3D ГИС Ижевска и Москвы

Рассмотрим программные продукты, направленные на ручное создание моделей, используя библиотеки текстур и различные пространственные инструменты [34, 36].

Типичным примером программного комплекса для ручного создания моделей зданий выступает Autodesk 3ds Max – профессиональный программный комплекс, позволяющий создавать трехмерные модели любой сложности с последующим экспортом в программные комплексы визуализации, проектирования и моделирования. Создание трехмерных моделей с помощью подобных редакторов – трудоемкий и долгий процесс, поэтому вводятся специализированные библиотеки однотипных зданий, текстур и элементов инфраструктуры. В данном исследовании используется именно ручной метод проектирования объектов ГИС, оптимизация которого происходит за счет подготовки слайдовой библиотеки типовых объектов и редактора формирования пространства электронной карты.

Крупнейшим в мире поставщиком программного обеспечения для строительства и пространственного моделирования выступает корпорация Autodesk, которая в 1996 году выпустила AutoCAD Map, предназначенный для создания геоинформационных систем. Версия AutoCad Map 3D 2010 включает функции работы с облаками точек, позволяя визуализировать данные лазерного 3D сканирования (рисунок 13).

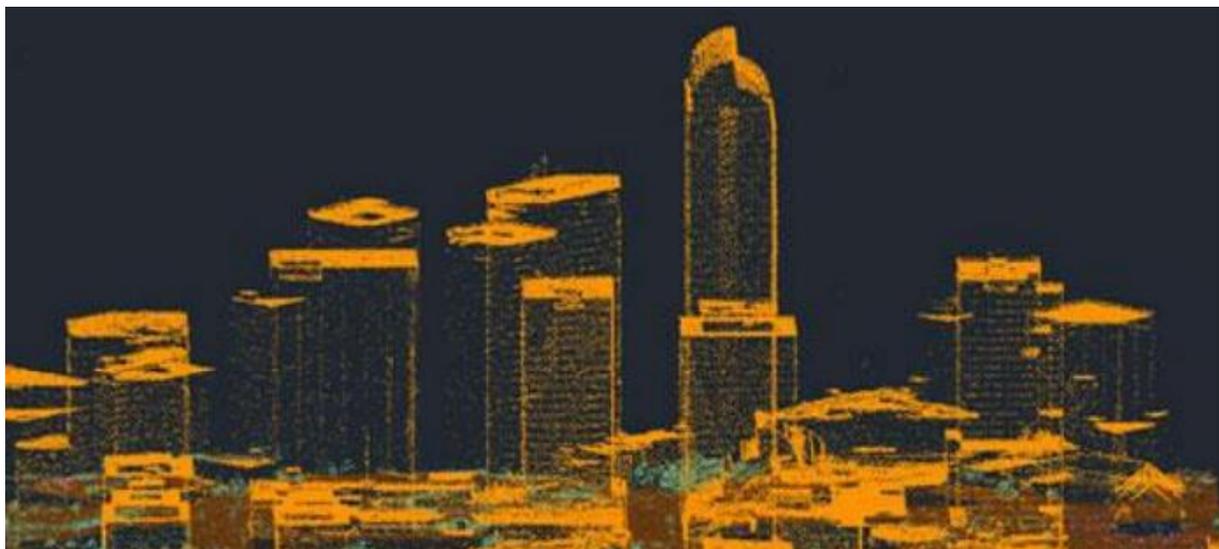


Рисунок 13 – Визуализация лазерного 3D сканирования AutoCAD Map 3D

Данный метод позволяет выполнять построение обширных площадей промышленных, географических или иных объектов. Альтернативой является автоматизированное создание трехмерных карт территорий, основанных на распознавании объектов на аэрофотоснимках высокого разрешения, но скорость построения обоих методов заметно снижает качество конечного продукта, поэтому предпочтение отдается полуавтоматизированным или смешанным методам моделирования [34, 36].

Наиболее яркий представитель смешанного моделирования – OpenStreetMap, данная геоинформационная система открытого типа позволяет пользователям редактировать глобальную карту всех стран мира, добавляя, изменяя или удаляя муниципальные объекты, системы коммуникации и здания. Построение трехмерных моделей зданий ведется также в свободном пользовательском режиме, с помощью плагина JOSM, который выдавликает трехмерные модели на основе составленной векторной карты, более детальные объекты культурного и иного назначения могут создаваться в ручную в сторонних редакторах и добавляться на карту.

## 2 ПРОГРАММНОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Основой обеспечивающей подсистемы натуралистичной ГИС г. Благовещенска является комплекс программного обеспечения, позволяющий реализовать визуальное и информационное пространство исследуемого объекта. Визуализатор в совокупности с программой трехмерного моделирования позволяют создать визуальную часть трехмерной карты, с которой связывается многофункциональная база данных, использующая язык SQL для создания запросов к данным.

Основной принцип выбора ПО заключается в выборе свободно-распространяемого или условно бесплатного программного обеспечения, позволяющего реализовать поставленные задачи.

### 2.1 Программное обеспечение решения задачи

В рамках научного исследования, для решения задачи программной реализации натуралистичной ГИС г. Благовещенска, необходимо использование нескольких типов программного обеспечения, которое позволит обеспечить создание конечного 3D приложения, отвечающего функционалу ГИС.

Основные элементы натуралистичной ГИС – 3D модели зданий, объектов и окружения, их формирование происходит в программе для трехмерного компьютерного моделирования. Основными требованиями являются – наличие полигонального моделирования, формирование текстурной карты и поддержка экспорта конечной модели в формат \*.fbx.

Для формирования конечного приложения ГИС, необходимо использовать среду разработки программного обеспечения, поддерживающую технологии трехмерной визуализации, использования баз данных и формирования пользовательского интерфейса. Следовательно, выбор языка программирования и формата базы данных зависят от возможностей визуальной среды разработки, которая должна поддерживать высокоуровневые языки программирования и обеспечивать мультиплатформенную компиляцию, в частности поддержку использования сетевых протоколов и WebGL.

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

### 2.1.1 Обоснование выбора программы для 3D моделирования

Все трехмерные модели для данного проекта были созданы в программном комплексе CINEMA 4D. CINEMA 4D – многофункциональная комплексная программа для создания и модификации трехмерных эффектов и объектов, аналог таких программ трехмерного моделирования как 3ds Max, Blender и другие. Отличительной особенностью CINEMA 4D является простота пользовательского интерфейса и полная русская локализация. Пример рабочего окна программы приведен на рисунке 14.

CINEMA 4D позволяет формировать трехмерную модель как посредством редактирования простейших примитивов, например куб или сфера, так и с помощью создания сплайновой структуры исходного объекта. Помимо основных компонентов трехмерного моделирования CINEMA 4D поддерживает функцию модульного расширения, что позволяет расширить функционал программы до профессиональной системы создания компьютерной анимации, моделирования физических процессов и многих других [31].

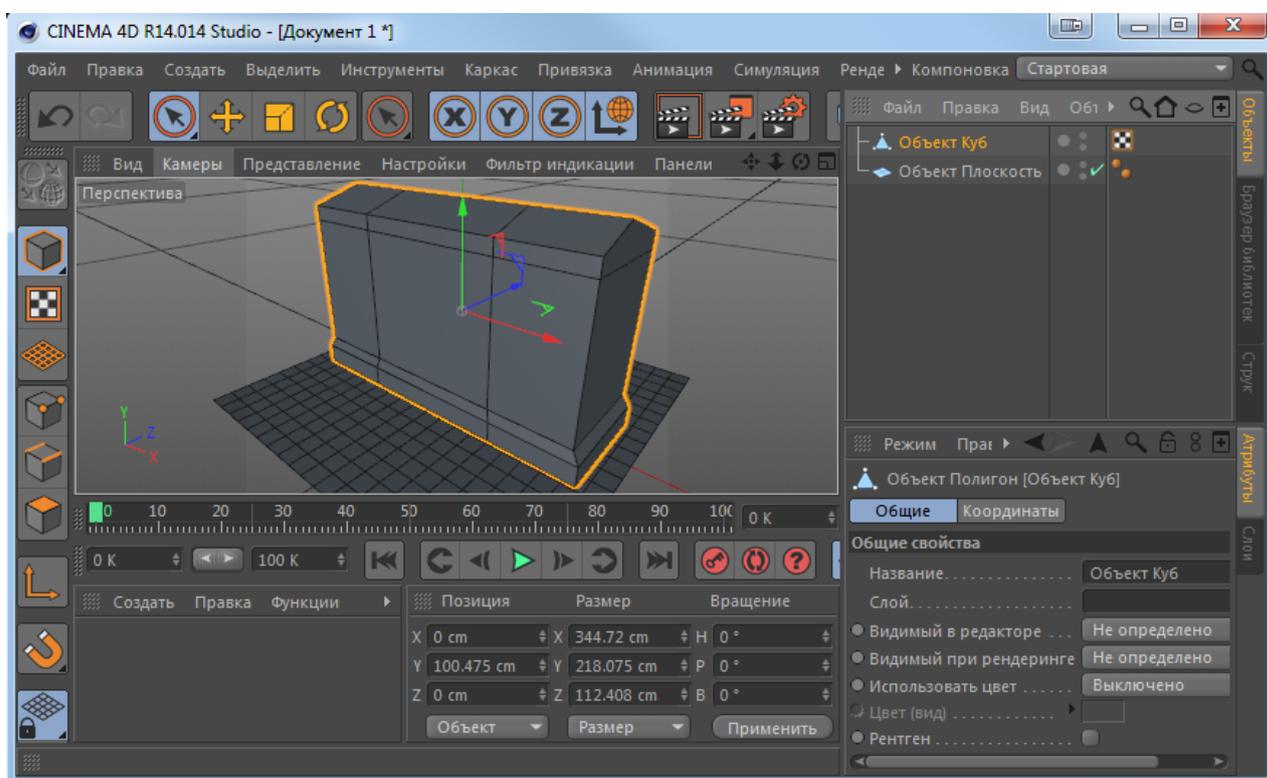


Рисунок 14 – Рабочее окно программы CINEMA 4D

Первоначально CINEMA 4D разрабатывалась для операционной системы

										Лист
										24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Amiga – одной из первых мультимедийных операционных систем для домашних персональных компьютеров. Не смотря на низкую популярность, возможности редактора не уступают современным крупным программным комплексам для трехмерного моделирования.

Компания разработчик – Maxon с недавнего времени осуществляет поддержку студенческих версий CINEMA 4D, которая обладает полной функциональностью версии CINEMA 4D Studio и при этом совершенно бесплатна, единственным ограничением станет невозможность работы с технической поддержкой и сетевым рендерингом. Данная версия программного пакета предоставляется на 18 месяцев. В совокупности с обилием обучающих материалов, примерами проектов и документацией данный трехмерный редактор замечательно подойдет как для обучения трехмерному моделированию, так и для профессиональной работы.

Расширение возможностей CINEMA 4D также осуществляется поддержкой плагинов, созданных на специализированных SDK на таких языках программирования как: python, c++, C.O.F.F.E.E. и Xpresso. Поддержка экспорта проектов в популярные среды композитинга и визуализации, например Adobe After Effects, позволяют выполнять постобработку результирующей модели или статичного изображения после рендера [31].

CINEMA 4D поддерживает обмен данными с САПР системами для архитекторов, например ArchiCAD, что позволяет получить дополнительную обработку трехмерных моделей с получением отчетной информации в виде планов, чертежей и сечений объекта.

Универсальность данному пакету трехмерного моделирования также придает большой спектр поддерживаемых форматов экспорта и импорта, в который входят следующие распространенные форматы:

- 3D Studio (\*.3ds), импорт и экспорт;
- Allplan (\*.xml), импорт и экспорт;
- FBX (\*.fbx), импорт и экспорт;
- Illustrator (\*.ai), импорт и экспорт сплайнов;
- Direct 3D (\*.x), только экспорт;

– ОБЪЕКТ (\*.obj), импорт и экспорт [31].

Отличительной особенностью данного продукта является возможность редактирования моделей в реальном времени, без экспорта в FBX, при этом результат отображается в визуализаторе после сохранения файла проекта. Файл проекта CINEMA 4D имеет расширение \*.c4d, непосредственно он и помещается в папку ресурсов проекта Unity. Тем не менее для оптимизации моделей, после финальной сверки в визуализаторе производится экспорт в универсальный FBX формат. После экспорта работа с UV разверткой становится недоступной, поэтому этап текстурирования предшествует этапу сверки объектов.

### 2.1.2 Обоснование выбора визуализатора

Для создания трехмерной ГИС системы было необходимо выбрать подходящую программную платформу, которая обеспечивает оптимальный уровень визуализации, поддерживает связь с базами данных и обеспечивает работу с трехмерными моделями. Данным требованиям отвечают так называемые игровые движки – программные комплексы для разработки двух- и трехмерных игр, и приложений, работающих под Windows подобными системами, мобильными и Web платформами. Unity 3D поддерживает API DirectX и спецификацию OpenGL, что обеспечивает создание трехмерных приложений с пользовательским интерфейсом [14].

Интерфейс Unity 3D представляет собой среду объектно-ориентированного проектирования, совмещенной со скриптовыми языками программирования, например C# и Java Script и физическим движком PhysX. Наличие бесплатной версии в совокупности с большим количеством обучающих материалов позволяет освоить данный программный комплекс за небольшой промежуток времени, поэтому он подходит для студенческих исследований по трехмерной графике.

Трехмерные ГИС системы подразумевают наличие большого количества зданий, что не может не отразиться на производительности приложения, в свою очередь Unity 3D поддерживает функцию перевода состояния объектов в статическое, то есть необрабатываемые визуальные объекты. Также возможна реализация алгоритмов Occlusion – прорисовка только тех трехмерных объектов, которые



скомпилированная программа для Windows по своему объему значительно выигрывает у визуализаторов-конкурентов.

### 2.1.3 Обоснование выбора СУБД

Одним из важнейших компонентов трехмерной ГИС является база данных, информация которой имеет непосредственную привязку к объектам на карте. Учитывая специфику визуализатора Unity 3D оптимальным выбором стало использование встраиваемой кроссплатформенной базы данных – SQLite.

Учитывая небольшие объемы проекта, требования высокого быстродействия и малого размера конечного приложения SQLite выигрывает по всем параметрам у схожих СУБД использующих язык запросов SQL, как например Microsoft Access или SQL Server. Кроме того, исходные коды библиотек SQLite являются полностью открытыми, что позволяет их свободно использовать, подобрав подходящую СУБД, в нашем случае используется СУБД SQLite DOG. Большинство СУБД для SQLite имеют сходный интерфейс, так же разработаны плагины для браузеров осуществляющие редактирование и создание данных, например плагин для FireFox – SQLite Manager, представленный на рисунке 16 [15].

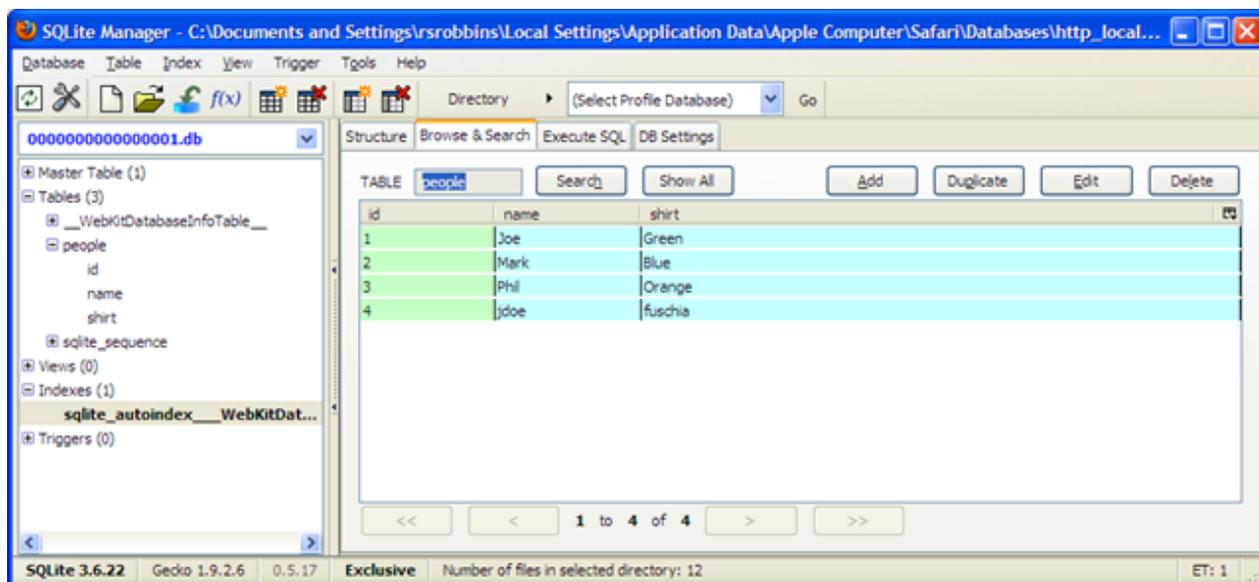


Рисунок 16 – СУБД – SQLite Manager для браузера FireFox

SQLite поддерживает все стандартные типы полей, например INTEGER, TEXT, BLOB, первоначально данная база данных проектировалась без ограничений на размер полей и объем данных, актуальная версия содержит незначительные

ограничения на длину полей BLOB, количество колонок и длину SQL-выражений, но и эти ограничения пользователь может расширять по своему усмотрению. Библиотека SQLite написана на языке C, при этом существует множество привязок к таким языкам программирования как C++, Java, C#, PHP и другие [15].

В настоящее время данную базу данных используют многие популярные программы:

- Mozilla Firefox;
- Skype;
- Adobe Photoshop Lightroom;
- Safari;
- 1С:Предприятие 8.3, хранение журнала регистраций;
- многие другие браузеры и файлообменники.

В связке с визуализатором база данных позволяет реализовать запросы к информации с помощью SQL запросов, внедренных в C# скрипты. Поддержка целостности данных и каскадного обновления облегчает заполнение и сопровождение базы данных, кроме того возможно осуществлять двухканальный доступ к одной базе данных, что позволяет создавать группы пользователей и разграничение прав пользователей. Главной отличительной особенностью файла базы данных является автономность использования – используется только библиотека, включаемая непосредственно в приложение, эта особенность отсутствует у большинства современных СУБД, требующих установки пользовательских библиотек на компьютер пользователя.

СУБД позволяющие редактировать базы данных в формате \*.sqlite имеют простой пользовательский интерфейс, что позволяет быстро освоить данный тип баз данных. Соединение базы данных с визуализатором осуществляется буквально с помощью нескольких строчек кода, единственной трудностью может оказаться создание параметризованных запросов, связанных с объектами визуализатора, но и эта проблема решается при наличии опыта программирования на C# [15, 34, 36].

SQLite поддерживает создание клиент-серверных приложений, реализованных с помощью классов WWW, встроенных в Unity 3D. Данная технология осу-

ществляет передачу запросов со стороны клиента на сервер, хранящий базу данных, данный метод актуален при реализации удаленного доступа к приложению с помощью обычного браузера.

#### 2.1.4 Обоснование выбора языка программирования

Учитывая специфику ГИС приложений и использования базы данных, для хранения информации о матрицах трансформации трехмерных объектов выбор языка программирования C# был закономерен, так как в Unity используется ограниченное число доступных языков программирования: C#, Java Script и Boo.

C# объектно-ориентированный язык программирования, базирующийся на платформе .NET Framework, что означает направленность на создание клиент-серверных приложений. Несмотря на использование для генерации кода, выполняемого в среде .NET, C# является полноценным языком программирования [9].

Язык C# был разработан корпорацией Microsoft в конце 90-х годов как часть общей спецификации .NET. C# имеет непосредственную связь с такими распространенными языками программирования как C, C++ и Java, что обеспечивает его легкое освоение при переходе с этих языков программирования. C# можно считать компонентно-ориентированным языком программирования, поскольку в него включена поддержка написания программных компонентов, включая такие компоненты как свойства, методы и события [9, 10].

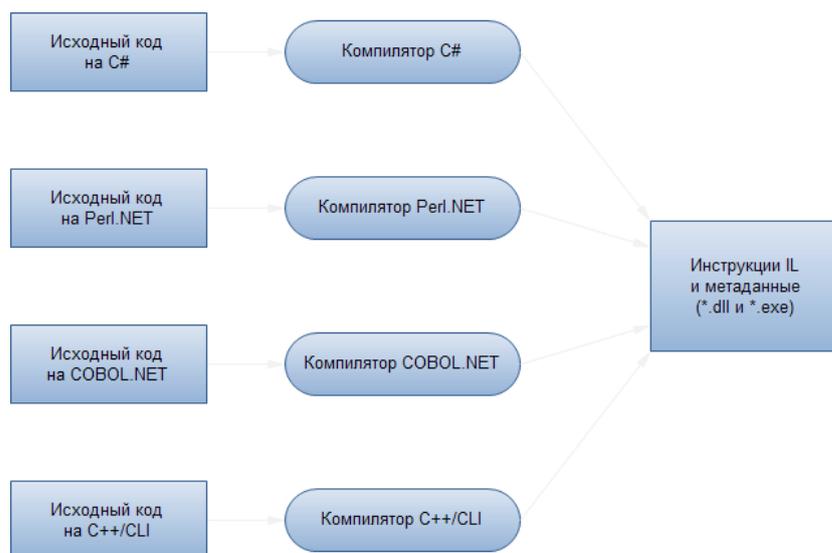


Рисунок 17 – Процесс компиляции различных языков программирования в мультиплатформенные инструкции IL и метаданные .NET

В результате компиляции мы имеем единую инструкцию его выполнения на различных компьютерных и мобильных платформах, что обеспечивает приложению высокий уровень динамики среди пользователей.

## 2.2 Алгоритмы проектирования натуралистичной ГИС

Натуралистичная ГИС – система программных модулей, позволяющая взаимодействовать с объектами и информацией в рамках трехмерной компьютерной модели описываемой местности. Для проектирования подобной системы требуется формирование обеспечивающих подсистем, включающих поддержку системы координат, хранения информации и представления трехмерных и иных формализованных объектов [34, 36].

### 2.2.1 Представление и модели географической информации в ГИС

Трехмерное представление применяется для объектов, расположенных в пределах некоторых границ под или над поверхностью земли. Для отображения объектов двумерных и трехмерных карт в приложениях используются базы условных обозначений, специфичных для различных геоинформационных систем [6, 8].

Можно выделить основные структуры, которые позволяют ГИС обрабатывать географическую информацию:

- Классы пространственных объектов;
- Атрибутивные таблицы;
- Растровые наборы данных.

Любая из основных структур может быть расширена с помощью топологии дополнительных связей. Географические представления имеют структуру наборов данных или слоев, например набор коммуникационных сетей, растровые снимки местности, векторные контуры объектов.

Слои растровых данных могут представлять пространство привязанных изображений, например, растительность использует представление в виде полигонов, спутниковые изображения в виде растра, центральные дороги в виде линий.

В геоинформационной системе существуют наборы тем – комплект тематических слоев. Подобно слоям они имеют определенный вид представления, что

позволяет использовать темы независимо друг от друга. В тоже время темы накладываются друг на друга благодаря географической привязке, пример данной структуры изображен на рисунке 18 [7].

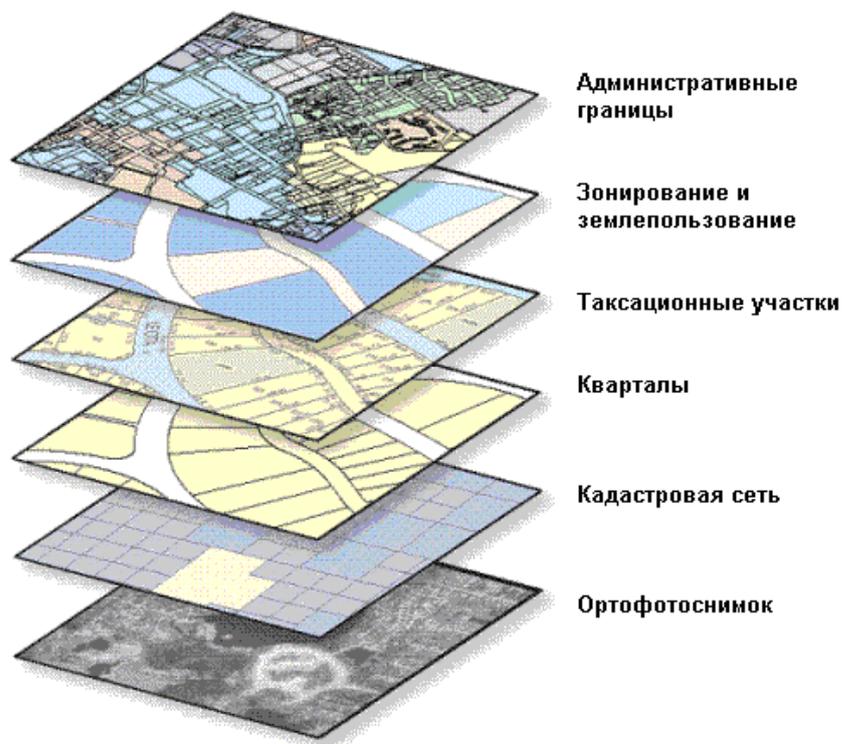


Рисунок 18 – Схема наложения тематических слоев ГИС

Эти основные принципы наследует каждая хорошо структурированная база данных ГИС. В готовом продукте совмещаются 2D и 3D слои, отображающие подписи данных, модели объектов инфраструктуры, региональные границы, кадастровую привязку.

### 2.2.2 Технология использования систем координат и проекций

Согласно Постановлению Правительства РФ от 28.07.2000 N 568 "Об установлении единых государственных систем координат" – все новые топогеодезические и картографические материалы и работы должны выполняться в Системе координат 1995 г. (СК-95) на эллипсоиде ПЗ-90 [17].

В проектируемой ГИС возможен переход к системе координат СК-95, но в рамках решаемой задачи по трехмерной визуализации объектов используется локальная прямоугольная система координат (рисунок 19), при позиционировании на спутниковом снимке и сохранении матриц трансформации трехмерных объек-

тов. Это связано с тем, что данное исследование направлено на оптимизацию технологии проектирования трехмерных объектов, т.е. данная задача может решаться отдельно от задачи проекции системы координат конечного приложения [36, 37].



Рисунок 19 – Локальная прямоугольная система координат натуралистичной ГИС

Выбор прямоугольной системы координат также обоснован необходимостью сохранения координат размещенных в трехмерном пространстве ГИС объектов в виде матриц трансформации. За основную передачу данных о координатах объектов отвечает компонент Unity 3D – Transform (рисунок 20).

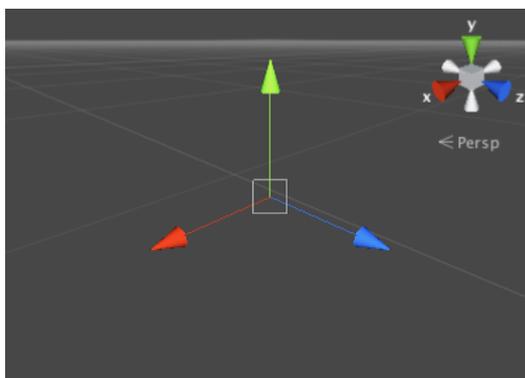


Рисунок 20 – Компонент Transform в Unity 3D

Данный компонент позволяет получать координаты глобальной и локальной позиции, кватернион поворота и вектор масштабирования для каждого объекта, эти данные будут использованы для сохранения сформированного пространства натуралистичной ГИС, с помощью размещения трехмерных объектов, в базе данных.

Среда разработки позволит нам без труда извлекать координаты объектов, сравнивать их, при необходимости проверять наложение объектов и тд. Кроме того, данная система координат соответствует среде трехмерного моделирования. Преобразование координатной системы приложения к любой существующей будет производиться с помощью расчета коэффициентов преобразования.

### 2.2.3 Технологии хранения информации ГИС

До недавнего времени ГИС хранили информацию в файловом виде, например текст или таблица. В настоящее время, учитывая большой объем информации и многопользовательский доступ к приложениям ГИС, появилась необходимость использования СУБД для хранения атрибутивной и пространственной информации. При этом связь с СУБД может осуществляться как посредством модулей, так и встроенным функционалом ГИС.

Учитывая разнообразие программных продуктов ГИС, которые используют предприятия, может возникнуть ситуация, когда отделы предприятия используют различные ГИС, например MapInfo, Autodesk, ArcGis и др [37]. В результате каждый отдел должен иметь несколько конвертеров для преобразования данных одной ГИС в другую, что экономически невыгодно и технически сложно (рисунок 21) [18].

Для решения данной проблемы необходимо работать с единой распределенной базой данных. В 2003 г. ведущие разработчики ГИС корпорации Autodesk, Intergraph, MapInfo (за исключением ESRI) и Oracle заключили соглашение о создании единой инфраструктуры хранения пространственных данных в открытом, стандартизованном формате (рисунок 22). Результаты этой работы включены в модуль СУБД Oracle Oracle Spatial, который полностью соответствует требованиям стандартов Open Geospatial Consortium, Inc [18].

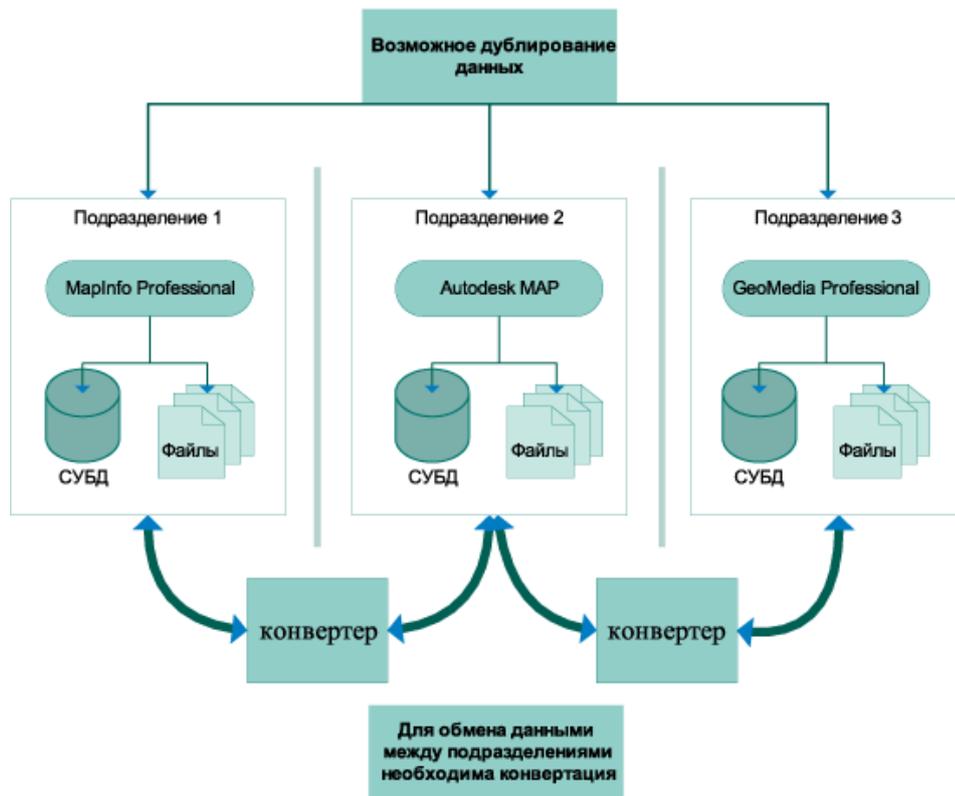


Рисунок 21 – Архитектура предприятия с использованием различных ГИС

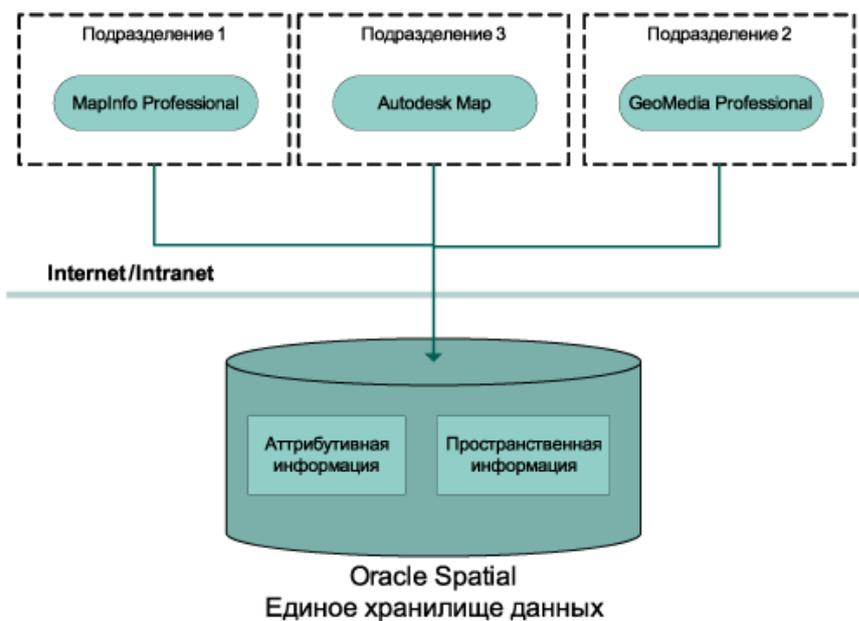


Рисунок 22 – Oracle – единое хранилище данных

Натуралистичная ГИС включает в себя пространственные данные, например 3D модели, что усложняет структуру хранения данных. Поэтому оптимально использовать ссылочный тип хранения в базах данных, в случае сохранения положения зданий и их матриц трансформации. Ссылочный тип хранения также позволяет редактировать связанные объекты без изменений информации в базе данных.

## 2.3 Алгоритмы проектирования 3D-моделей зданий

Основу натуралистичной ГИС составляют низко-полигональные трехмерные модели зданий и иных объектов, созданные в редакторе трехмерных объектов (Cinema 4D, Blender, 3DsMax и др.). Процесс моделирования зданий можно разделить на несколько этапов, включающих создание основной модели с UV разверткой, создание синтетической текстуры с присвоением к развертке и пространственная привязка модели к спутниковому снимку. Для обеспечения лучшего быстродействия рассмотрим технологию низко-полигонального моделирования с вязке с реалистичным текстурированием [11].

### 2.3.1 Создание низко-полигональной модели

В настоящее время, получившие распространение трехмерные ГИС системы хранят представление о трехмерных объектах в виде координат вершин объекта, векторном виде или, реже, в полигональном (рисунок 23), что позволяет оптимизировать работу ГИС в местах крупного скопления трехмерных объектов и уменьшить объем используемой памяти баз данных [34, 36].

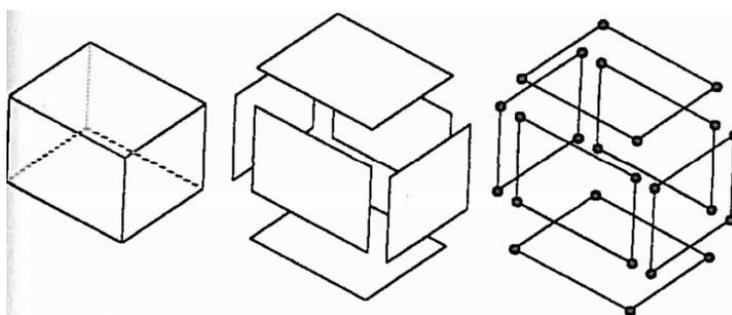


Рисунок 23 – Схематичное представление трехмерной модели в базе данных ГИС

Существует несколько языков представления трехмерных объектов, но среди них можно выделить наиболее распространённые – это FME и CityGML. Язык FME предназначен для хранения и конвертации пространственных данных с привязанными системами координат, данные экспорта и импорта трехмерных представлений объектов. Язык CityGML в свою очередь базируется на создании XML файлов, хранящих данные о трехмерных моделях зданий в векторном виде, включая атрибуты объекта, язык является стандартом Open Geospatial Consortium от 2008 года. На рисунке 24 приведены примеры моделей FME и CityGML [4, 6, 7].

Все трехмерные модели корпусов и остальных объектов хранятся в формате FBX (Filmbox), данный формат позволяет обеспечить максимальную совместимость программ трехмерного моделирования между собой и с другими программными пакетами, в нашем случае с Unity 3D. Кроме геометрических данных модель формата FBX хранит данные об анимации (FbxAnimStack), текстурах (FbxFileTexture), костях (FbxArmatureAndBones) и материалах (FbxSurfaceMaterial). Хранение FBX возможно в виде бинарного кода или ASCII данных [6, 7].

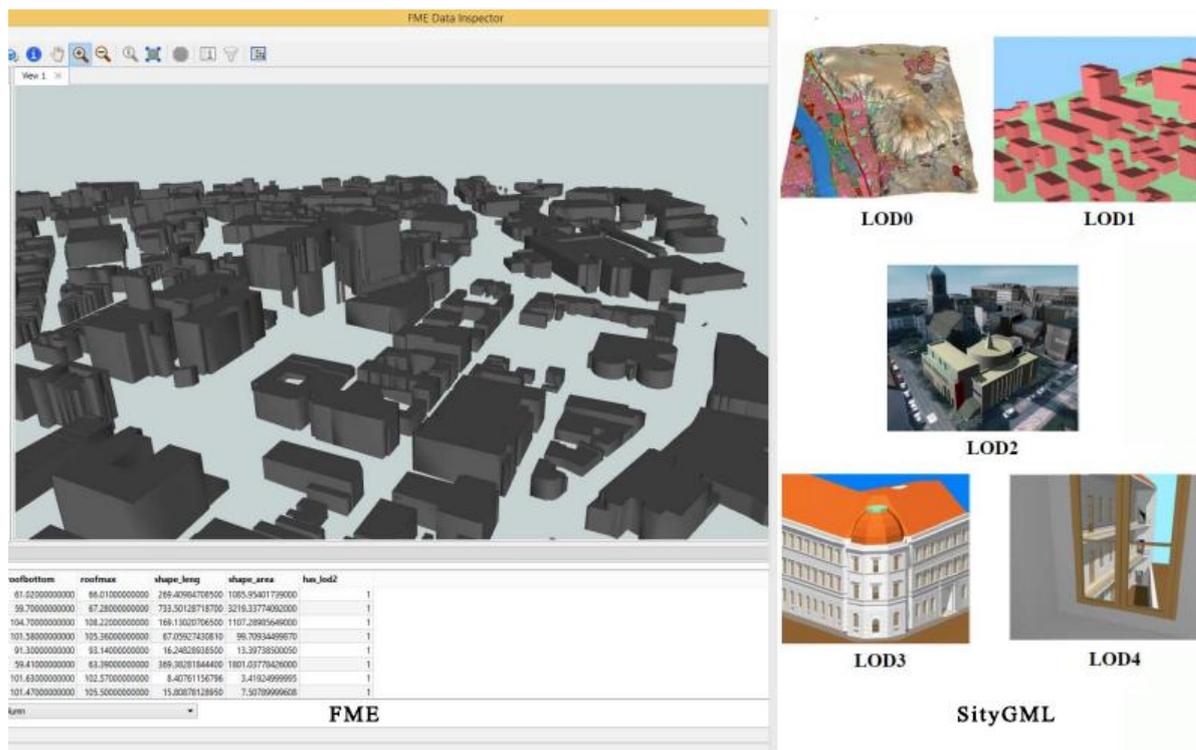


Рисунок 24 – Представление модели на языке FME (слева) и модели на языке SityGML (справа)

Технология создания низко-полигональных моделей в данной работе основывается на использовании приближенных очертаний здания, составляющих каркас модели. Детали, требующие дополнительных полигонов, например, окна и балконы, заменяются на синтетическую текстуру, ввиду отсутствия необходимости в детализированном моделировании и для оптимизации работы приложения. Этот принцип соответствует стандартам FME и SityGML.

Все трехмерные модели зданий на карте имеют тег Static(статический), означающий отсутствие перемещений модели в процессе работы приложения, что

позволяет уменьшить нагрузку на видеоадаптер персонального компьютера и повысить производительность приложения ГИС. Кроме того модели FBX хранятся в визуализаторе в виде GameObjects, объектов для которых доступен набор специализированных функций, например присвоение триггерной зоны, Mesh Render, присвоение скриптов и другие. GameObject с присвоенными ему свойствами и компонентами можно сохранить для последующего использования в шаблонный тип объекта Prefabs [36, 37].

### 2.3.2 Реализация синтетической текстуры

Визуальная схожесть трехмерных моделей зданий с реальными аналогами зданий обеспечивается применением синтетическо-фотореалистичной текстуры, создаваемой на основе фотографий объектов, шаблонных текстур различных поверхностей или их совмещением.

Текстура формируется на основе UV-преобразования между координатами поверхности трехмерной модели здания и координатами текстуры-каркаса, с размеченными областями, пример UVпреобразования представлен на рисунке 25 [5, 11].

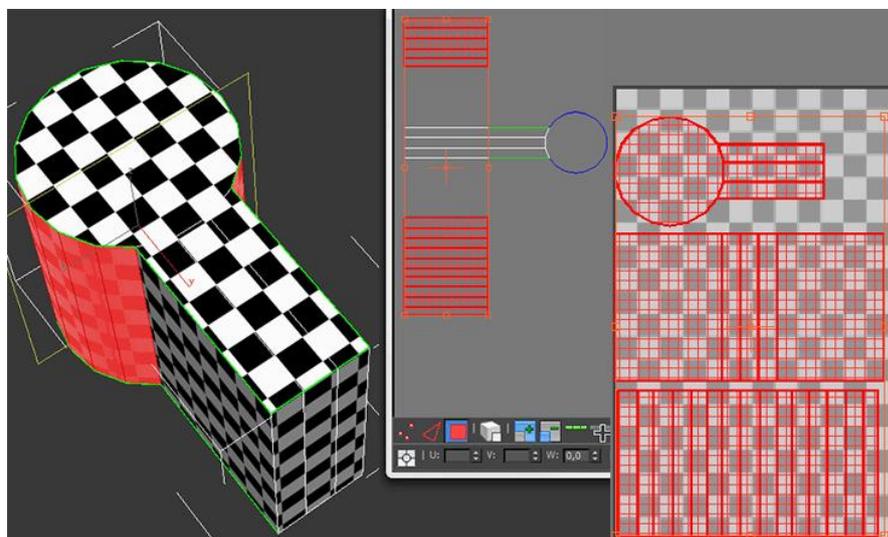


Рисунок 25 – Пример UV-преобразования трехмерных координат в двумерные координаты текстурного каркаса

Текстура редактируется в графическом редакторе Photoshop, с последующим сохранением в формат JPG. На основе сохраненной UV-развертки осуществляется

корректировка фото материала и создание искусственных деталей, например, балконов, окон и теней от них.

Максимальное разрешение текстуры для Unity 3D составляет 4096 пикселей по большей стороне, но для обеспечения лучшей производительности и уменьшения размеров приложения текстуры сжимаются до 2048 пикселей или меньше, этого достаточно для обеспечения визуального распознавания объектов в ГИС.

Текстура непосредственно в визуализаторе Unity 3D имеет несколько параметров настройки, особо значимы из них:

- Фильтр отображения, применяющий точечную фильтрацию, билинейную или трилинейную;
- Дальность применения анизотропного фильтра;
- Максимальный размер текстуры, пропорционально преобразующий текстуру к настроенному размеру;
- Формат сжатия цветовой палитры текстуры (сжатый, 16 бит, исходный).

Кроме вышеприведенных методов для эффективной оптимизации могут применяться текстурный атлас, изображенный на рисунке 26.

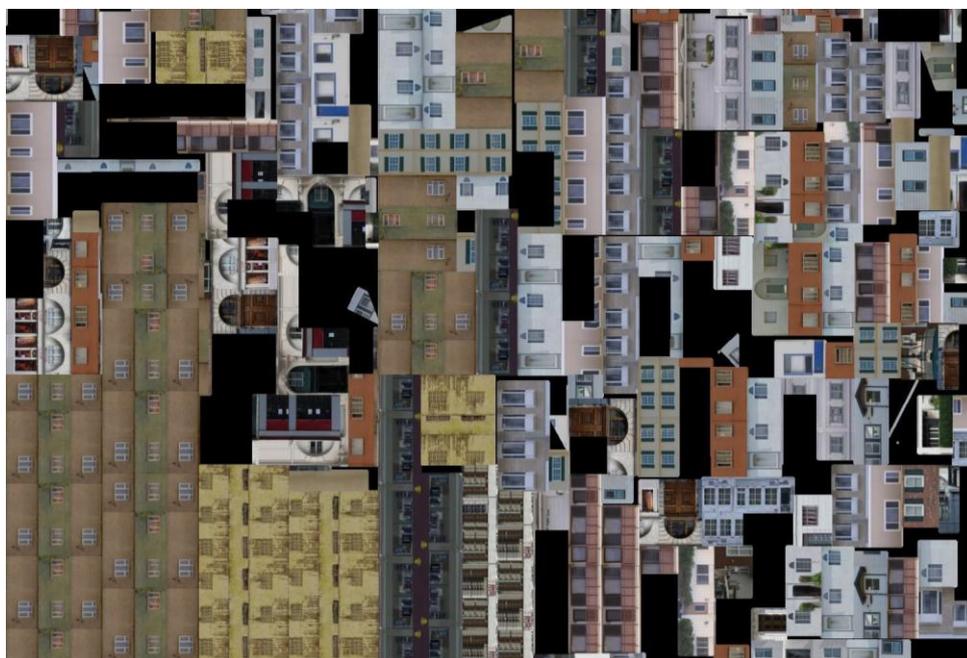


Рисунок 26 – Текстурный атлас

Текстурный атлас представляет собой единую текстуру с набором всех воз-

можных частей текстур моделей и объектов. При загрузке приложения все объекты используют единственный текстурный файл, что сокращает потребление видеопамяти и ускоряет работу приложения в целом, единственное препятствие для использования данного метода – высокие временные затраты на создание [5].

### 2.3.3 Пространственная привязка моделей на карте

Профессиональные трехмерные ГИС используют привязку аэрофотоснимков и моделей по геодезическим и локальным координатам объектов. В нашем случае используется прямоугольная локальная система координат [17]. Исходя из этого привязка моделей на картографической подложке осуществляется по размеченным областям локальных координат объектов на аэрофотоснимке. Первоначально определяются объекты моделирования, в нашем случае это объекты и здания г. Благовещенска, после чего производится разметка аэрофотоснимка с подсчетом высоты здания. Фрагмент аэрофотоснимка с локальной разметкой приведен на рисунке 27.



Рисунок 27 – Локальная разметка зданий и объектов на аэрофотоснимке, для последующей привязки и моделирования

Процесс оценки масштаба происходит в ручном режиме, на начальных эта-

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

пах моделирования возможно использование аэрофотоснимка в качестве исходного плана при создании каркасов моделей корпусов в трехмерном редакторе. Сплайновый контур будущих моделей может не совпадать с точными аналогом, так как за основу берется огрубленная низко-полигональная модель, исключая архитектурные детали, которые возможно заменить искусственной текстурой [34, 36]. Рассмотрена перспектива использования технологии автоматического распознавания контуров объектов с помощью технологии компьютерного зрения на базе библиотеки OpenCV.

Моделирование зданий и сооружений происходит по отдельности, но с учетом добавления будущей модели в пространство натуралистичной ГИС. Предварительная сборка производится в трехмерном редакторе CINEMA 4D, она представляет собой готовый блок, например квартал, включающий здания, сооружения и спутниковый снимок.

Размеченный аэрофотоснимок составляет будущую подложку трехмерной карты г. Благовещенска, что обеспечивает сравнительно высокую точность и реалистичность привязки будущих моделей корпусов больницы. Unity 3D имеет свою систему локальных и глобальных координат в соответствии с пропорциями трехмерной модели, исходя из этого моделирование производится в едином масштабе, после чего масштаб графической подложки и готовых моделей масштабируется к постоянной величине [37].

В трехмерном редакторе CINEMA 4D при моделировании зданий используется сантиметровая система измерений, что позволяет достаточно точно задавать высоту здания исходя из стандартных размеров перекрытий для жилых домов социального назначения – не более 2,8 м. Данная система измерений едина для всех моделей, поэтому конечная сцена на трехмерной карте сравнительно точно передает реальный масштаб и пропорции зданий. Учитывая контур здания со спутникового снимка мы можем точно преобразовать масштаб объекта. На рисунке 28 изображен фрагмент трехмерной карты с размещенными моделями, как видно – размеры зданий вполне совпадают с их реальными аналогами, этого вполне достаточно для визуального опознавания и ориентирования пользователей.

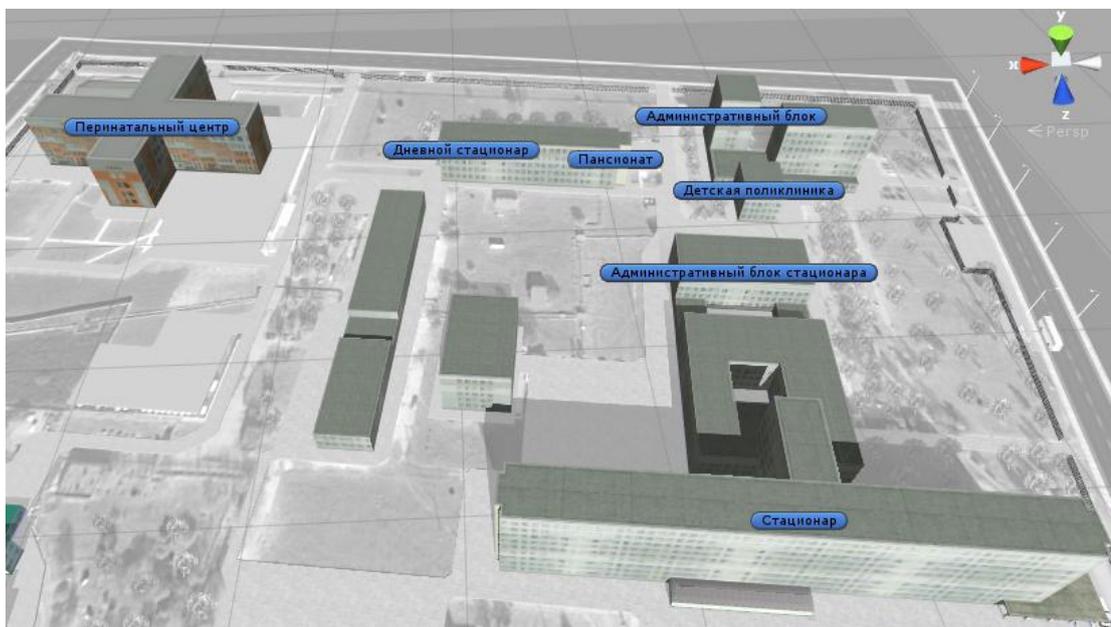


Рисунок 28 – Фрагмент трехмерной карты с размещенными моделями

В данном случае масштаб трехмерной карты можно считать относительным, так как не используется привязка к геоинформационным координатам, но не исключая в будущем переход с системе координат СК-95 или ей подобной, используя коэффициенты преобразования.

## 3 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НАТУРАЛИСТИЧНОЙ ГИС

### 3.1 Проектирование подсистемы слайдовой библиотеки зданий и объектов

Основой редактора натуралистичных ГИС является слайдовая библиотека (далее – СБ) зданий и объектов, которая представляет собой программный модуль для создания, размещения и редактирования пространства будущей трехмерной карты. СБ объединяет в себе подсистемы хранения моделей, ввода и получения координат размещенных объектов и распределения прав доступа [37].

Исходя из вышесказанного, СБ – сложная подсистема, формирующая пространство ГИС, которая в свою очередь также представляет собой сложную подсистему модулей. В связи с этим сформированы обеспечивающие подсистемы оптимизации и послойного рендеринга, а также распределения прав доступа, чтобы формализовать и оптимизировать рутинные процессы размещения объектов.

#### 3.1.1 Подготовка модели для помещения в библиотеку

Для использования 3D модели в качестве объекта СБ необходимо провести настройку конечного объекта. Каждый объект СБ должен находиться в рабочей папке проекта-приложения и содержать следующие компоненты (рисунок 29):

- контур столкновения (Collider), который отвечает за обработку размещения и нажатий на объект, путем проверки пересечений вектора столкновений с поверхностью спутникового снимка или иных объектов;
- матрица трансформации объекта (Transform), хранящая глобальные координаты, вектор масштаба и кватернион поворота;
- C# скрип, хранящий структуру описания параметров объекта (например название, адрес, индекс, количество этажей и т.д.);
- дополнительные компоненты, требуемые для связи с БД.

Стоит заметить, что на данном этапе СБ включает в себя только объекты зданий, для включения иных объектов требуется создание формализованных классов объектов. При грамотной разработке структуры хранения матриц трансформации и представления графики зданий в пространстве ГИС мы получим общую

					VKP.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

структуру для расширения СБ.

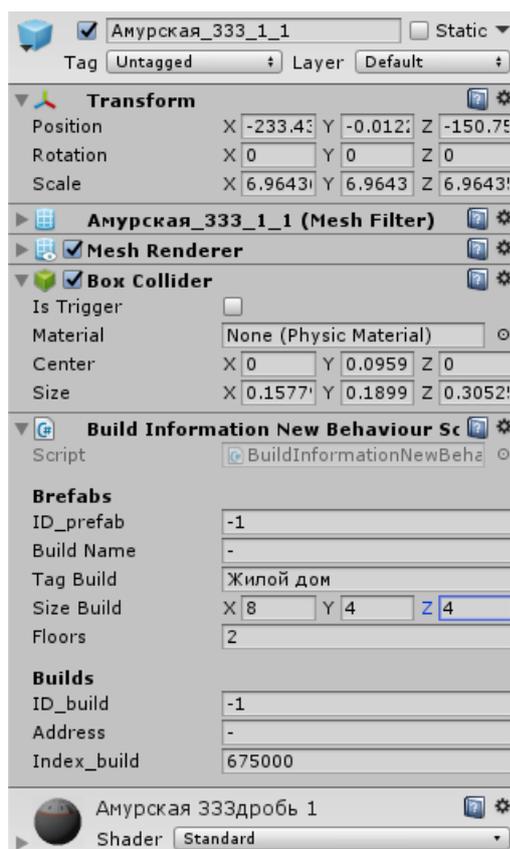


Рисунок 29 – Компонентная составляющая объекта СБ

Объекты СБ сохраняются в папку Resources проекта Unity3D для последующей выгрузки в приложении редактора. Фактически они являются префабами – шаблонами объектов, которые могут модифицироваться в будущем без изменения исходного объекта. Пространство объектов «Resources» может использоваться по необходимости – не загружая объекты при старте программы, что ускоряет загрузку и оптимизирует работу трехмерной карты. Кроме того, это позволяет в перспективе размещать модели на сервере и динамически загружать и обновлять их во время работы с приложением [36, 37].

Ранее при сборке карты производилась ручная подгонка масштабов зданий относительно друг друга, что отнимало треть рабочего времени. В результате применения предварительной сверки масштабов в среде конечного приложения (рисунок 30) и сохранении шаблонов зданий – мы получили абсолютный масштаб объектов, который легко изменить относительно спутникового снимка местности. Кроме того, готовые собранные кварталы сохраняются в шаблонный файл,

который можно также позиционировать независимо от остальных объектов. В перспективе сверка масштаба будет осуществляться по размеру модели столкновений объекта, которая описывает точный размер в текущих прямоугольных координатах.

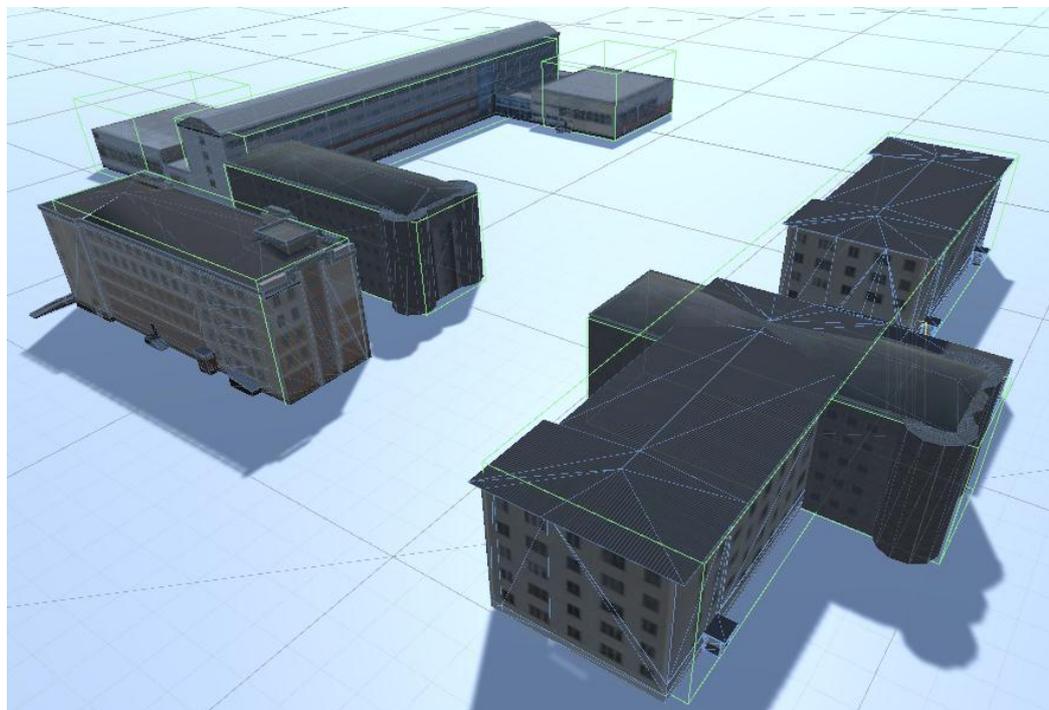


Рисунок 30 – Предварительная сверка масштабов зданий СБ

После включения в СБ объект автоматически подгружается в массив префабов и становится доступен для просмотра, редактирования и размещения при работе с приложением натуралистичной ГИС. На данный момент обновление СБ осуществляет разработчик, но есть возможность импорта готовых объектов в режиме доступа – редактор.

### 3.1.2 Подсистема распределения прав доступа

Ввиду сложности функционала приложения и наличия больших объемов данных, принято решение использовать распределение прав доступа к отдельным модулям натуралистичной ГИС. Для этого формализуется основной блок приложения, включающий обозреватель трехмерной карты, навигационную подсистему и модуль хранения созданных наборов карт (рисунок 31).

Приложение позволяет работать с приложением натуралистичной ГИС в нескольких режимах:

- 1) разработчик – настройка моделей, интерфейса и основных параметров макетных объектов;
- 2) редактор – расположение зданий в пространстве карты, настройка параметров и сохранение информации в базу данных;
- 3) пользователь – загрузка вариантов трехмерных карт, получение интересующей информации с помощью подсистемы пользовательского интерфейса и баз данных [37].

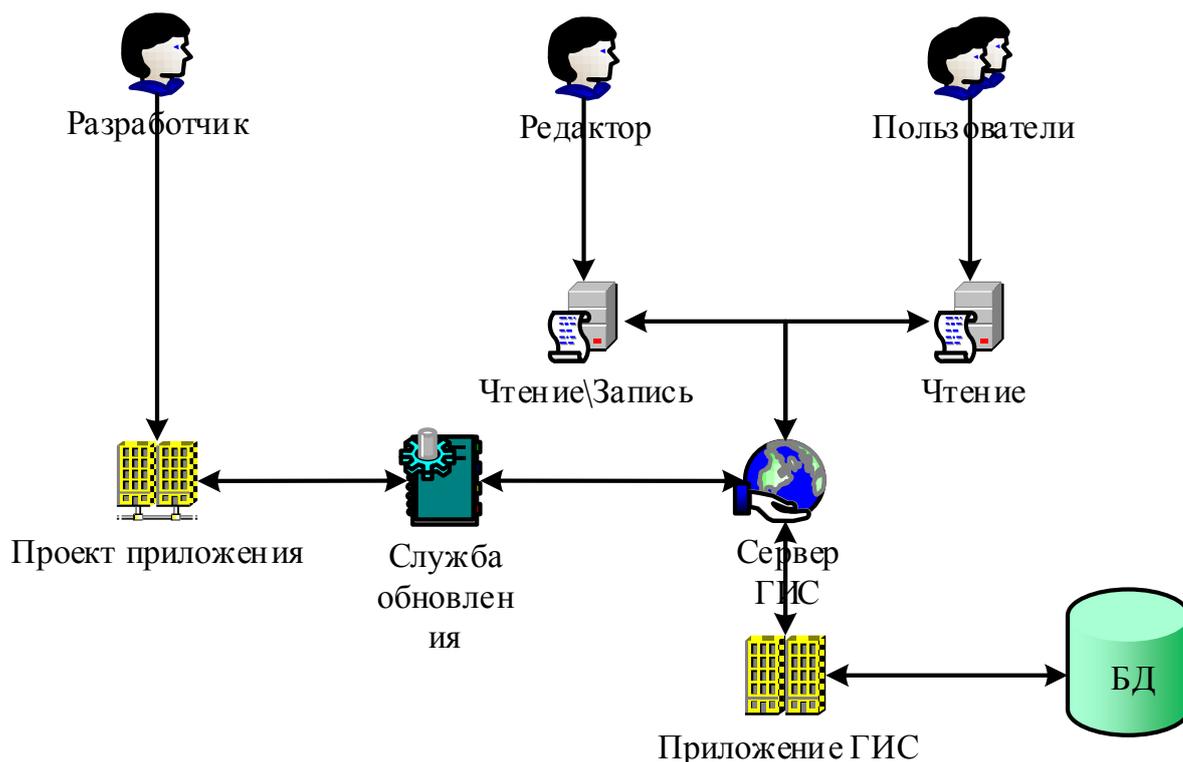


Рисунок 31 – Схема взаимодействия пользователей натуралистичной ГИС

Непосредственно процесс разграничения прав доступа может осуществляться несколькими путями, либо использование одного приложения с подсистемой авторизации, либо использование нескольких версий приложения. Рассмотрим второй вариант, так как он подразумевает меньший размер приложения и гибкость процесса разработки.

Для каждого типа пользователей будет скомпилирована специальная версия программы, отвечающая уровню доступа, в тоже время все версии будут использовать одну базу данных моделей и карт, что позволит синхронизировать работу пользователей и редакторов. Данный процесс возможен благодаря наличию на

платформе Unity 3D системы «сцен», которые представляют собой набор объектов и параметров определяющих конечное приложение, такая «сцена» может дублироваться и настраиваться под любого пользователя. Ещё одним преимуществом данного способа является вырезание излишнего функционала из версий программы, например, для обычного пользователя, что сократит объем конечного приложения и обеспечит безопасность данных.

Данное распределение прав доступа позволяет пользователям приложения эффективно использовать предоставленный функционал, не требуя от них глубоких знаний среды разработки и структуры баз данных. Взаимодействие с конечным приложением осуществляется через удаленный сервер, который хранит актуальную версию приложения и базы данных. Обновление приложения осуществляет разработчик с помощью службы обновлений – FTP клиента.

### 3.1.3 Подсистема сохранения матриц трансформации объектов

Сохранение карты и положения объектов происходит за счет записи матриц трансформации компонента «Transform» всех объектов сцены, которые обладают тегом «Build» (рисунок 32).

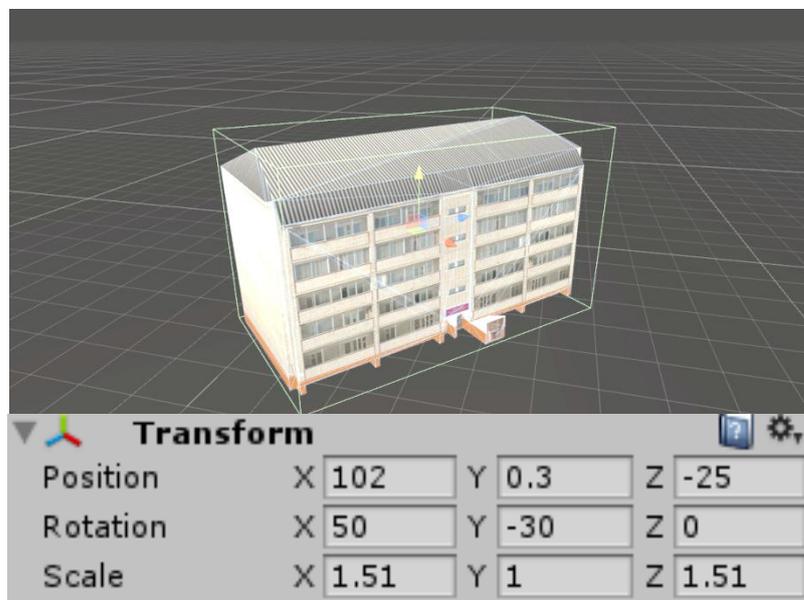


Рисунок 32 – Параметры матрицы трансформации объекта

Изначально сохранение матриц объектов производилось с помощью массива объектов с тегом «Build», которые посредством компонента «StreamWriter» пере-

давали параметры в текстовый файл. Данный способ не актуален ввиду невозможности создания запросов к файлу сохранения и предусматривает лишь ручное редактирование. Однако сохранение в виде текстового файла позволяет легко создавать несколько вариантов позиционирования на карте, в то время как хранение в базе данных позволяет обновлять и сохранять единственный вариант в таблице.

Набор данных, необходимых для позиционирования трехмерных объектов натуралистичной ГИС представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Представление матрицы трансформации объекта

Параметр	Значение
Наименование объекта	Главный_корпус_Амгу
Глобальная координата x	-56.28893
Глобальная координата y	50.19036
Глобальная координата z	46.69447
Кватернион по u	-0.6471032
Кватернион по w	0.7624024
Локальный масштаб по x	1.21204
Локальный масштаб по y	1.34503
Локальный масштаб по z	1.21204

Параметры, приведенные в таблице 1, являются необходимыми для позиционирования объекта в пространстве ГИС и в процессе загрузке сохраненной карты, при этом необязательно хранить все значения кватерниона, т.к. объекты размещаются на нулевой высоте размещения спутникового снимка на плоскости. Возможно расширение хранимых параметров при переходе к трехмерной структуре поверхности земли.

### 3.1.4 Подсистема послойного рендеринга и оптимизации

Для обеспечения экономии вычислительных ресурсов, используется послойный рендер объектов с помощью нескольких камер в перспективной проекции, процесс отрисовки разных слоев трехмерной сцены изображен на рисунке 33. В наше случае отрисовка спутникового снимка будет неограничена, а

трехмерные объекты могут прорисовываться на регулируемой дистанции в зависимости от возможностей аппаратного обеспечения пользователя.



Рисунок 33 – Процесс послойной отрисовки трехмерной сцены с помощью нескольких камер

За многослойную отрисовку – рендер, отвечает подсистема камер с компонентом прозрачности «Clear Flags» и отображения объектов с определенным тегом «Culling Mask». Камера 1 отвечает за отображение трехмерных объектов карты и включает в себя слой прозрачности, который позволяет камере 2 отображать нижний слой, включающий спутниковый снимок и пользовательский интерфейс, при этом каждая из камер имеет собственную дальность рендера. Данное разделение на слои актуально для больших трехмерных пространств с количеством объектов более 50 единиц [20, 21].

Обзор сцены осуществляется в ортографической и перспективной проекции (рисунок 34), для обеспечения удобной навигации по трехмерной и двумерной карте. Это возможно благодаря компоненту «Projection» активной камеры, но в данном случае целесообразно использовать отдельные камеры для разных проекций, т.к. это позволяет настроить управление и отображение слоев



рамках трехмерного редактора, можно разбить на несколько последовательных этапов:

- оценка размера и масштаба здания;
- моделирование низко-полигональной основы;
- создание UV-развертки и натуралистичное текстурирование.

Готовая модель экспортируется в формат FBX и импортируется в Unity 3D для последующей настройки шаблона будущего объекта СБ.

### 3.2.1 Расчет размеров будущих моделей

Разрабатываемая 3D ГИС не имеет ВМ направленности, так как при моделировании зданий не учитываются все архитектурно-конструкторские и технологические свойства объекта. Главная цель визуальной составляющей при моделировании является внешнее сходство с реальными аналогами, но не полное сходство в мелких деталях. Исходя из этого при оценке размеров моделируемого здания учитывается приближенный размер здания по аэрофотоснимку, а высота рассчитывается по минимальному размеру перекрытий в 2,7 метра для зданий, построенных до 90 года, современные жилые здания имеют перекрытия около 3 метров, промышленные около 4 метров. Количество этажей подсчитывается в ручном режиме по фотоснимкам или при обследовании объекта. В частности, для правильного соблюдения масштаба, подготавливается тестовый блок текстуры, после его наложения с соблюдением количества пролетов и этажей визуально можно оценить погрешность в виде растяжений текстуры по осям X и Y [34, 36].

Процесс оценки размера здания изображен на рисунке 35, для примера выбран корпус стационара Амурской областной клинической больницы, далее АОКБ, аэрофотоснимок использовался с сайта Яндекс карты.

Учитывая количество этажей в здании равное 9 и перекрытие крыши по высоте сравнимой с этажом, мы получаем примерную высоту моделируемого здания в 27 метров. Учет длины и ширины здания производится по аэрофотоснимку, используя его в качестве подложки в 3D редакторе создается каркас модели, на примере стационара больницы длина здания составила 124 метра, а ширина 14 метров, данные из CINEMA 4D приведены на рисунке 36.

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51



Рисунок 35 – Процесс оценки высоты моделируемого здания

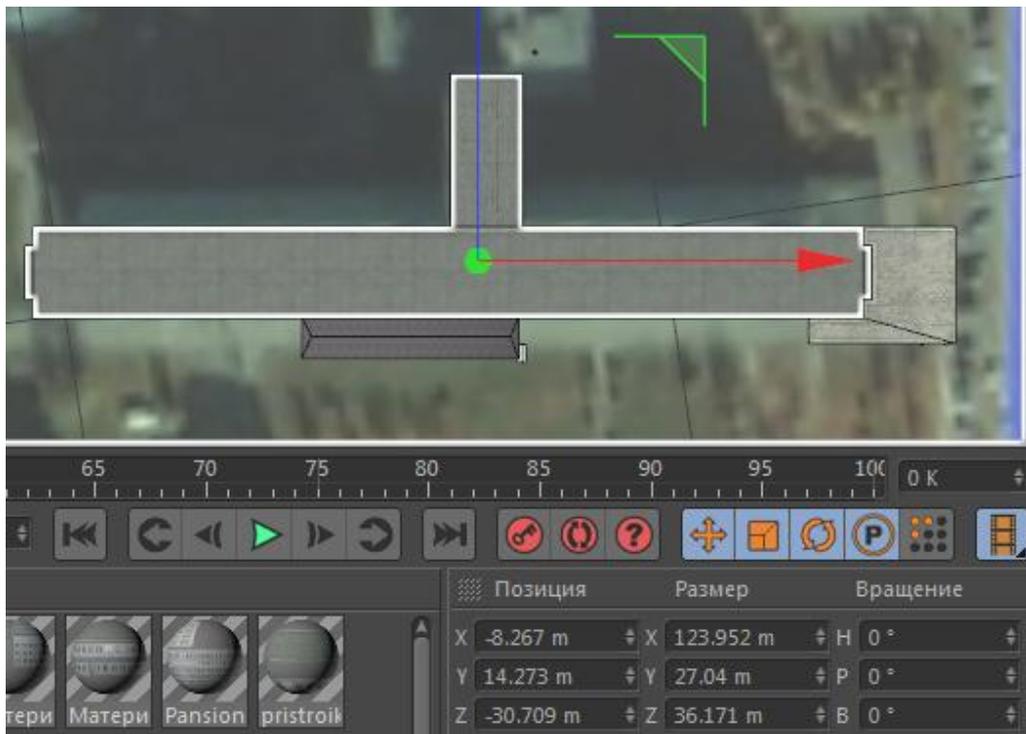


Рисунок 36 – Размеры будущей модели в редакторе CINEMA 4D

После успешного определения размеров и пропорций будущей модели следует этап моделирования. Стоит заметить, что не смотря на приближенные методы определения размеров зданий конечная 3D карта выглядит пропорциональной и визуально схожей с реальными аналогами, ввиду стандартизации архитектурных шаблонов.

### 3.2.2 Моделирование низко-полигональной основы

Моделирование здания по рассчитанным размерам начинается с создания сплайнового контура объекта, используя аэрофотоснимок местности как ориентир. Далее закрытый сплайн с помощью инструмента Выдавливание-NURBS преобразуется в объемную трехмерную фигуру, с заданной высотой, данный процесс изображен на рисунке 37. Сплайновый контур представляет собой совокупность векторов, объединенных в замкнутую ломанную линию, описывающую двумерный контур объекта с видом сверху.

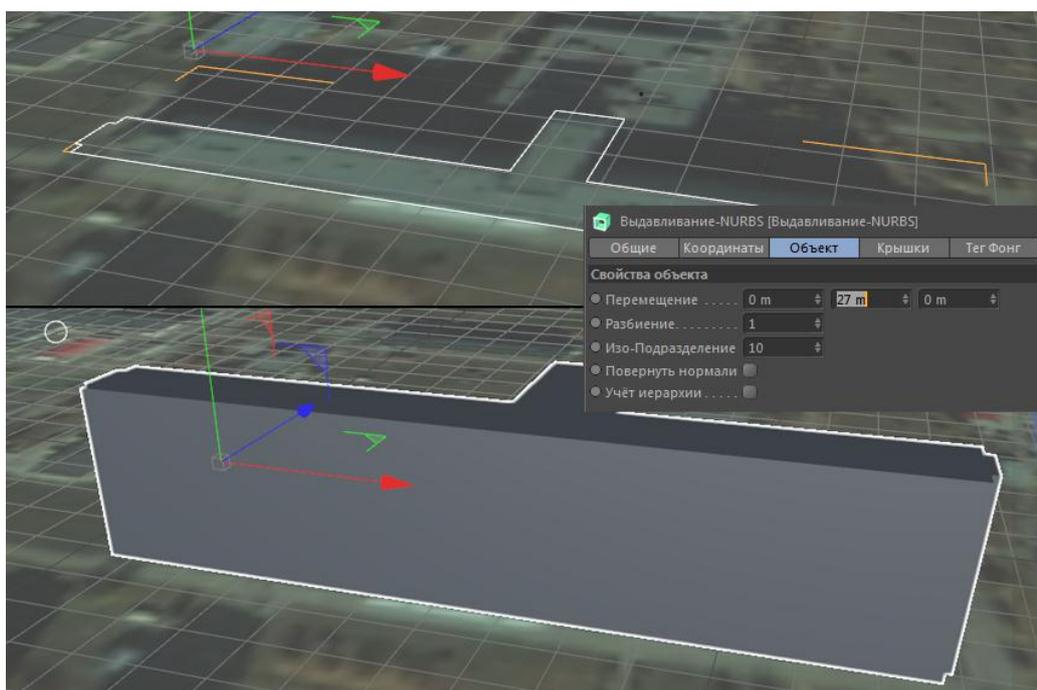


Рисунок 37 – Процесс преобразования сплайнового контура объекта в объемную модель

Существует альтернативный способ создания низко-полигональной модели – деформация стандартных примитивов, но данный метод больше подходит для более сложных зданий и при наличии пристроек нестандартной архитектуры. В данном методе используются инструменты стандартной осевой деформации, инструмент создания ребер и точек – нож и выдавливание NURBS. Примером данного метода является пристройка к стационару АОКБ со стороны главного входа, модель которой представлена на рисунке 38.

Все модели имеют минимальное количество полигонов, при этом мелкие де-

тали зданий, не влияющие на зрительное опознавание, не учитываются при моделировании. Большое внимание низко-полигональной структуре уделяется исходя из особенностей работы визуализатора Unity 3D [36]. После экспорта модели в FBX происходит триангуляция полигонов – декомпозиция многоугольных полигонов на множество треугольников, что при большом количестве полигонов в модели может существенно снизить производительность будущего приложения и усложнить процесс создания UV-развертки.

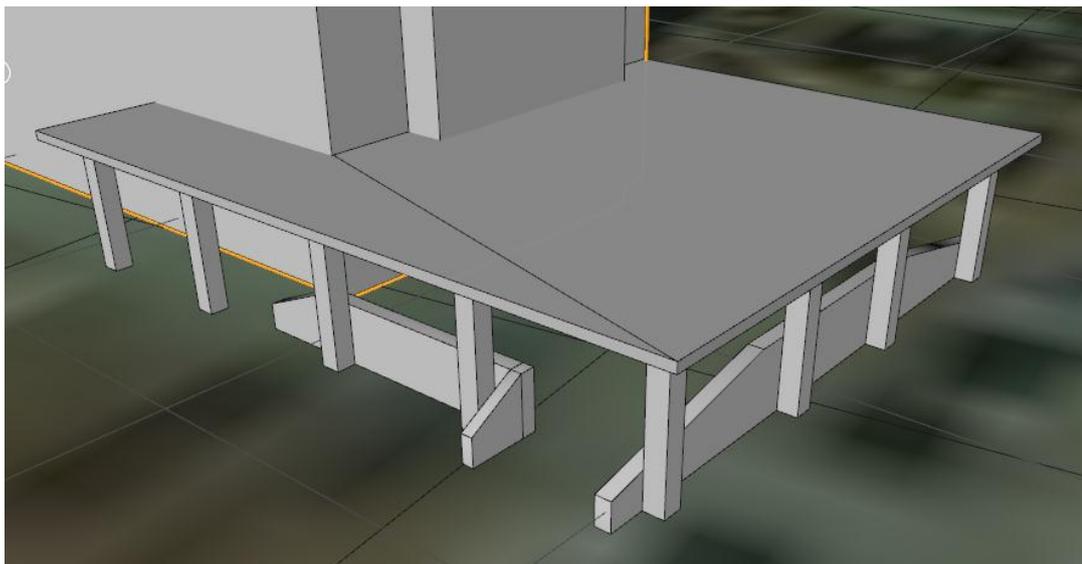


Рисунок 38 – Моделирование с использованием метода деформации стандартных примитивов на примере пристройки стационара

После подготовки всех моделей осуществляется сборка сцены непосредственно в трехмерном редакторе CINEMA 4D, если модели соответствуют реальным пропорциям относительно друг друга, то производится экспорт всех зданий по отдельности в визуализатор для последующей сборки и расстановки.

### 3.2.3 Создание UV-развертки и текстурирование

UV-развертка или UV-преобразование – соответствие между координатами на поверхности трехмерного объекта и координатами на текстуре. Существует несколько типов UV-развертки, но в нашем случае из за использования простейших геометрических форм объектов используется кубическая развертка, с пропорциональным разделением [36, 37]. В качестве примера приведена развертка

модели стационара АОКБ на рисунке 39.

Важным условием является соблюдение пропорций полигональных зон при создании UV-развертки, так как текстура должна иметь одинаковый масштаб для всей модели, поэтому используется ручное масштабирование зон развертки.

Для уменьшения конечного размера текстуры здания используется паложение полигонов развертки, если они совпадают по содержанию, например стены здания используют дублирующую отраженную текстуру.

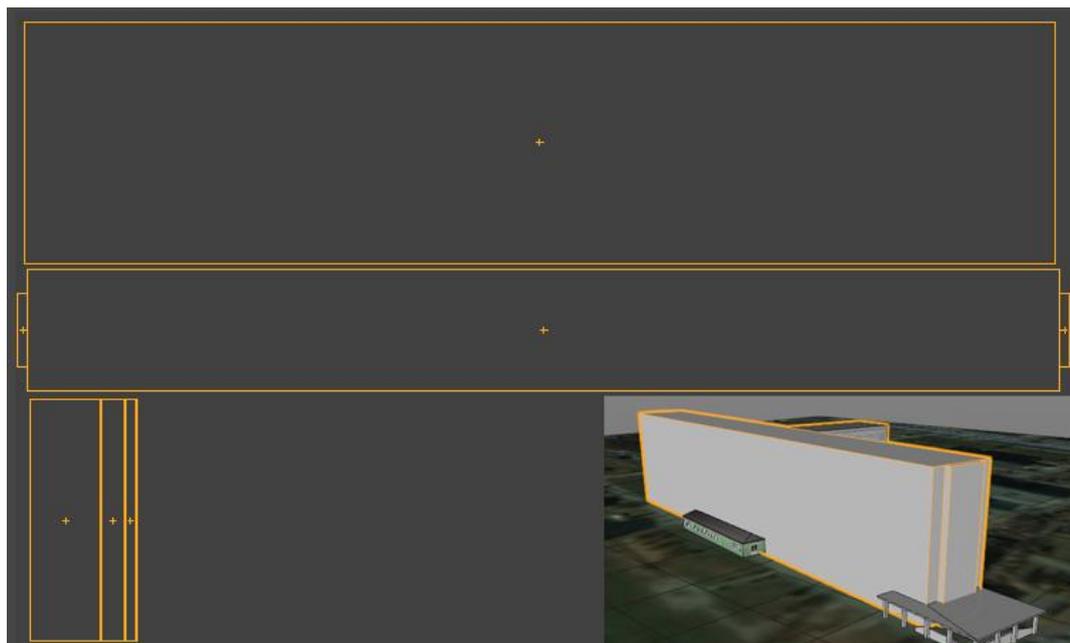


Рисунок 39 – UV-развертка стационара АОКБ

Полученная UV-развертка экспортируется в формат \*.PSD, для редактирования в графическом пакете Adobe Photoshop. Создание текстуры в редакторе осуществляется на основе собранного фото материала, а при его отсутствии по типовым текстурам отдельных частей здания, то есть создается синтетическая искусственная текстура из библиотечных наборов. Одним из полезных инструментов, при текстурировании, является Яндекс карты, предоставляющие доступ к полноразмерным панорамам улиц большинства крупных городов всего мира. Это помогает при моделировании, расстановке моделей и текстурировании, так как фотоматериал имеет высокое разрешение и некоторые фотографии могут использоваться для создания синтетической текстуры.

Большинство текстур корпусов АОКБ имеет текстуры, основанные на фотографиях, учитывая однотипность многих зданий это упростило работу по текстурированию моделей. На рисунке 40 изображена текстура, наложенная на UV-развертку блока стационара АОКБ, как видно, повторяющиеся блоки стен были наложены друг на друга для сокращения размеров текстуры. Ещё одной особенностью является максимальный размер текстуры для Unity 3D в 8192 пикселей, что также требует экономичной развертки и наложения симметричных частей полигонов друг на друга.

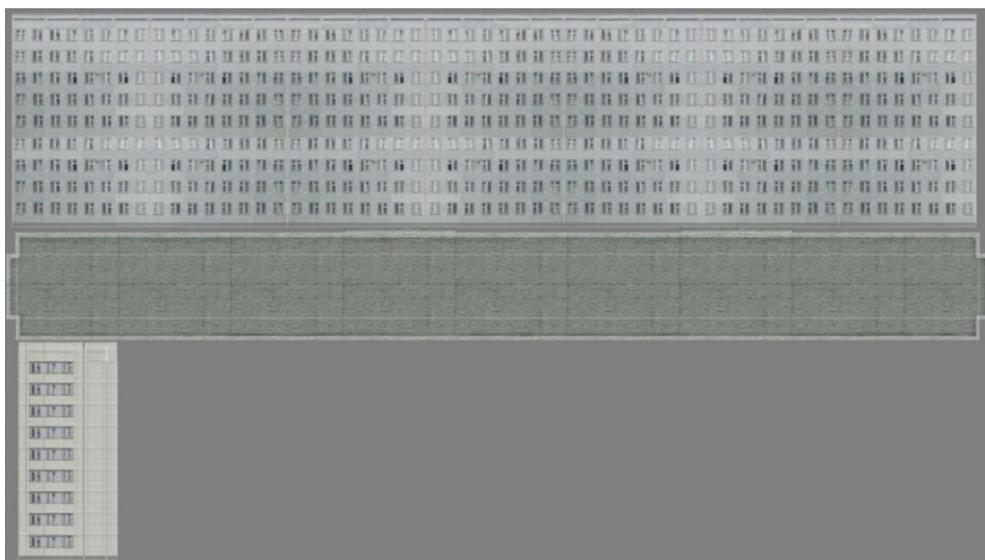


Рисунок 40 – Текстура, наложенная на UV-развертку модели стационара АОКБ



Рисунок 41 – Финальный вариант модели стационара АОКБ, готовый к экспорту

Готовая текстура экспортируется в CINEMA 4D в формате \*.jpg и

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

присваивается соответствующему материалу текстурируемой модели. На этом этапе создания низко-полигональной модели заканчивается – модель готова к экспорту в визуализатор Unity 3D. На рисунке 41 приведена готовая к экспорту модель стационара АОКБ.

Стоит заметить, что трехмерный редактор CINEMA 4D в отличие от аналогов позволяет автоматически запаковать текстуру в файл \*.fbx, что облегчает экспорт и работу в моделью в визуализаторе.

### 3.3 Проектирование базы данных натуралистичной ГИС

База данных является информационным ядром натуралистичной ГИС, так как обеспечивает хранение и доступ к информации о зданиях и иных объектах. Для связи базы данных SQLite и визуализатора Unity 3D необходимо создать SQL-запрос к данным и связанный с ним C# скрипт, обеспечивающий вывод информации в пользовательский интерфейс, данный процесс схематически представлен на рисунке 42 [36, 37].

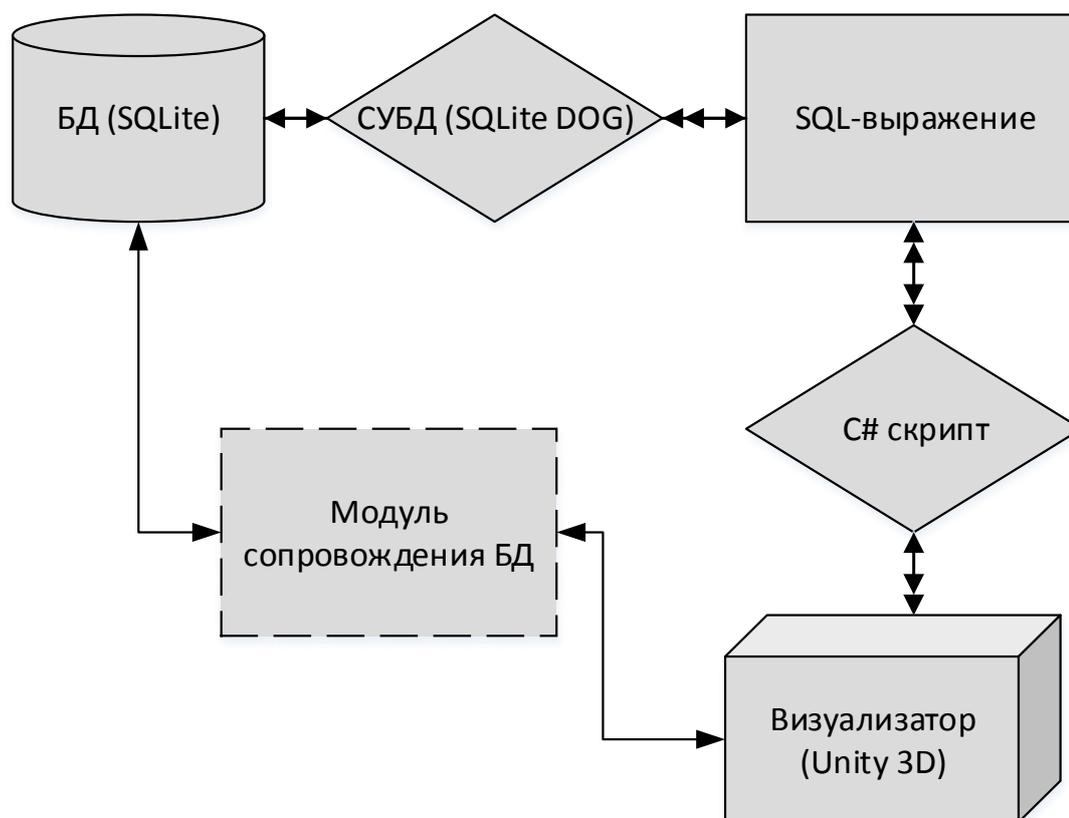


Рисунок 42 – Процесс выборки информации из базы данных и передачи в пользовательский интерфейс визуализатора

База данных представляет собой реляционную структуру, описывающую связь зданий корпусов больницы с их контактными данными и информацией о предоставляемых услугах. Формирование структуры базы данных и её заполнение производится в специализированной СУБД для баз данных SQLite – SQLite DOG. Предварительное проектирование производится в ERwin Data Modeler [3, 15]. Логическая и физическая модели базы данных натуралистичной ГИС приведены в приложении А. Основной функцией базы данных – обеспечение сохранения внешних ссылок на трехмерные объекты в виде матриц трансформации, названий префабов и т.д.

В результате анализа структуры предприятия были определены основные сущности будущей базы данных:

1. Сущность «Шаблоны» содержит информацию о шаблонах объектов, в частности ссылки в виде названия объектов в среде визуализатора, количество этажей, тип и размеры объекта.

2. Сущность «Здания» содержит информацию о частных объектах шаблонов, в данном случае о зданиях, включая адрес и индекс структура полей может меняться в ходе разработки.

3. Сущность «Координаты» содержит информацию о матрицах трансформации связанных зданий и объектов, включает координаты положения, вращения и масштабирования.

На рисунке 43 приведена концептуально-инфологическая модель базы данных, описывающая отношения между выделенными сущностями.

Формирование структуры базы данных осуществляется в СУБД SQLite DOG, можно отказаться от использования СУБД после окончания этапа проектирования. Схема базы данных будет иметь вид, представленный на рисунке 44.

Типы данных строк таблиц базы данных будут иметь вид, представленный на физической диаграмме в приложении А, основными типами данных в SQLite базе данных будут: TEXT, INTEGER, REAL. Использование типа REAL необходимо для точного позиционирования объектов и сохранения матриц трансформации в пространстве прямоугольной системы координат.

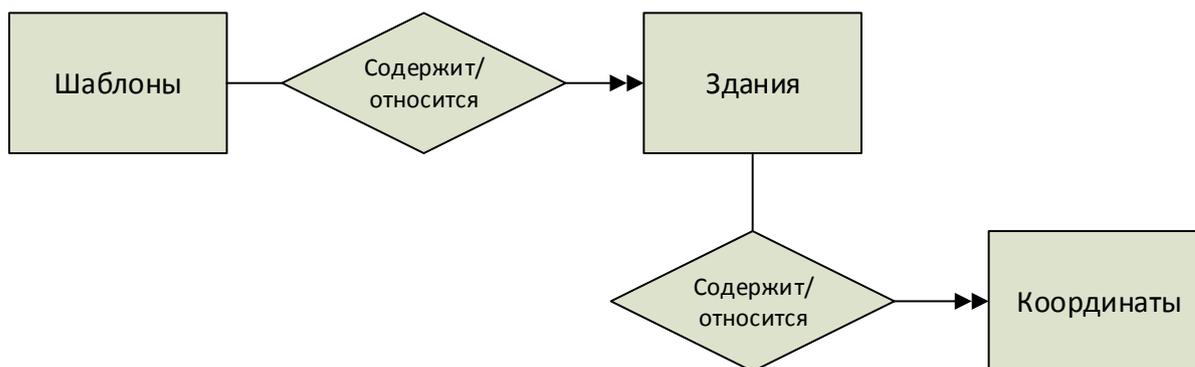


Рисунок 43 – Концептуально-инфологическая модель базы данных ГИС

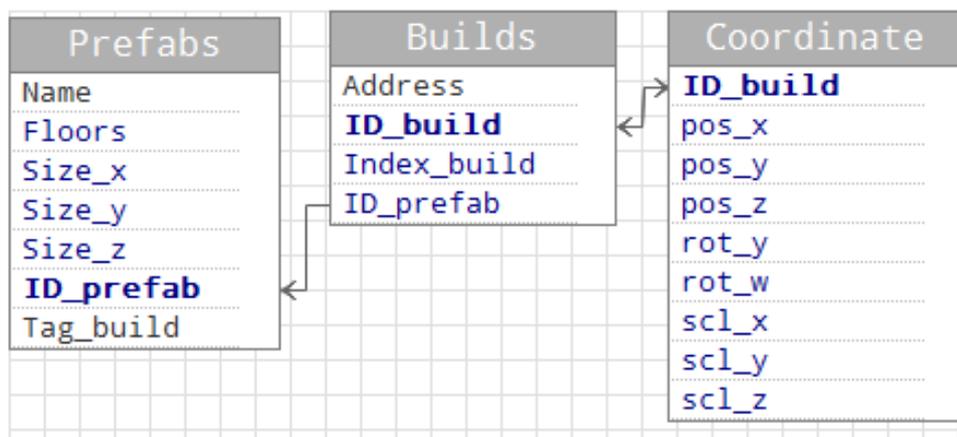


Рисунок 44 – Диаграмма базы данных ГИС после проектирования в СУБД SQLite DOG

Сформированная база данных размещается в папке проекта Unity 3D, для связи с визуализатором посредством создания скриптом на языке C#, так же после компиляции база данных копируется в рабочую папку приложения. Листинг скрипта подключения базы данных приведен в приложении Б.

### 3.4 Проектирование подсистемы визуализации и навигации

Система визуализации и навигации создается непосредственно в среде программирования Unity 3D, на основе созданных 3D моделей и базы данных. Процесс проектирования каждого модуля можно разбить на несколько последовательных этапов, которые будут описаны ниже.

На первом этапе проектирования создается программный контейнер – сцена (Scene), которая будет содержать все модели, интерфейс, скрипты и будущую си-

стему навигации. Все объекты, используемые в приложении хранятся в папке проекта Assets, в том числе и библиотеки базы данных SQLite в дочерней папке Plugins [36]. Соблюдение данной иерархии позволит избежать ошибок на этапе компиляции приложения. Иерархия проекта натуралистичной ГИС представлена на рисунке 45.

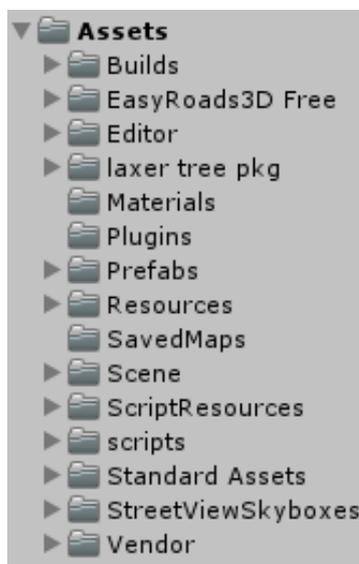


Рисунок 45 – Иерархия каталогов проекта натуралистичной ГИС в Unity 3D

Второй этап включает в себя процесс размещения объектов в виртуальном пространстве и их настройку. Среда проектирования Unity 3D поддерживает импорт и настройку групп файлов, приведенных в таблице 2.

Таблица 2 – Поддерживаемые для импорта форматы файлов в Unity 3D

Тип файлов	Поддерживаемые форматы
Трехмерные модели и анимации	*.fbx, *.dae, *.3ds, *.dxf
Звуковые файлы	*.mp3, *.ogg, *.wav, *.aif, *.mod, *.it, *.s3m, *.xm
Текстуры	*.jpg, *.png, *.bmp, *.tga, *.ico
Внутренние форматы	*.scene, *.asset, *.anim, *.mixer

На заключительном этапе происходит программирование основного функционала приложения, создание интерфейса и компиляция программы.

### 3.4.1 Проектирование навигации с помощью виртуальной камеры

Основу визуализации пространства сцены натуралистичной ГИС составляет виртуальная камера (Main Camera), с помощью которой осуществляется навигация и управление трехмерным приложением. По существу виртуальная камера – объект с заданным компонентом – «Камера», данным объектом может стать любая модель на сцене. Основными параметрами виртуальной камеры является угол обзора, дальность прорисовки изображения, тип проекции, отображаемые объекты и вид фона окружения, пример настройки данных параметров в Unity 3D представлен на рисунке 46. Основные настройки камеры остались близкими к стандартным, однако дальность прорисовки (Far) увеличилась до 3000 единиц [36, 37].

Расширение функционала просмотрщика карт обусловлено использованием нескольких активных камер, работающих в разных проекциях, но использующих связанные компоненты управления. Данный подход обеспечивает гибкую настройку видов отображения виртуальных объектов.

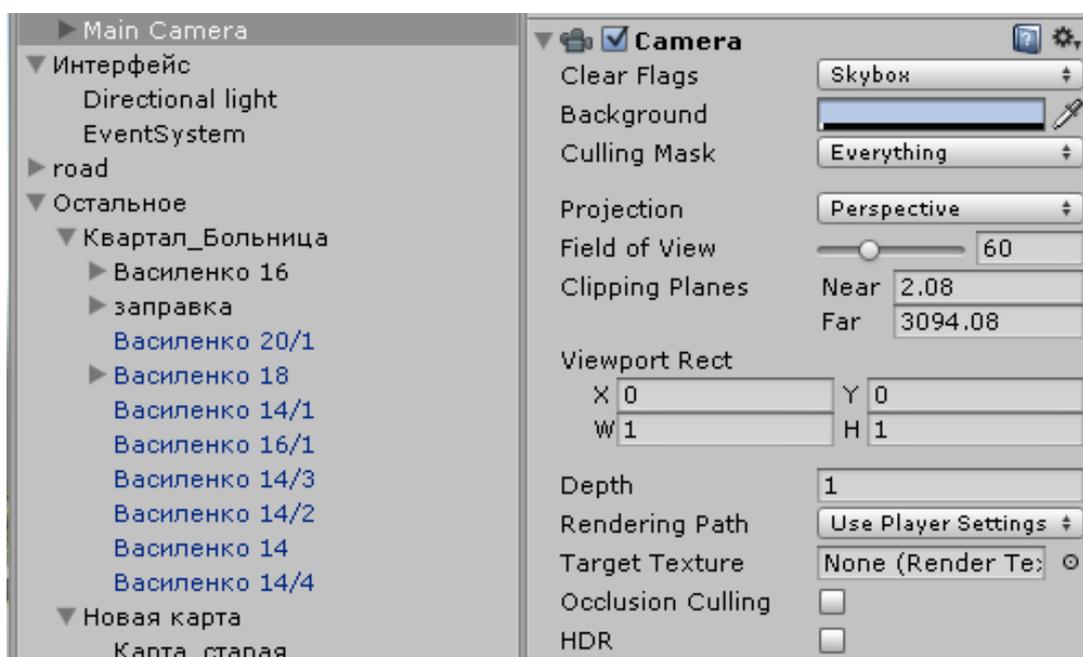


Рисунок 46 – Пример настройки параметров виртуальной камеры в Unity 3D

Навигация по 3D пространству карты осуществляется с помощью C# скрипта (Mouse Ellipse Orbit), осуществляющему измерение высоты расположения камеры и обработку нажатий клавиш мыши. Принцип основан на вычислении точки

столкновения испускаемого вектора из центра камеры к объекту спутникового снимка с компонентом Collider – обработчик столкновений с физическими или векторными объектами, после чего вокруг точки столкновения образуется область возможного перемещения в виде эллипса, параметры которого можно регулировать в настройках скрипта. Площадь эллипса перемещений влияет на скорость и возможность перемещения камеры или её поворота (рисунок 47).

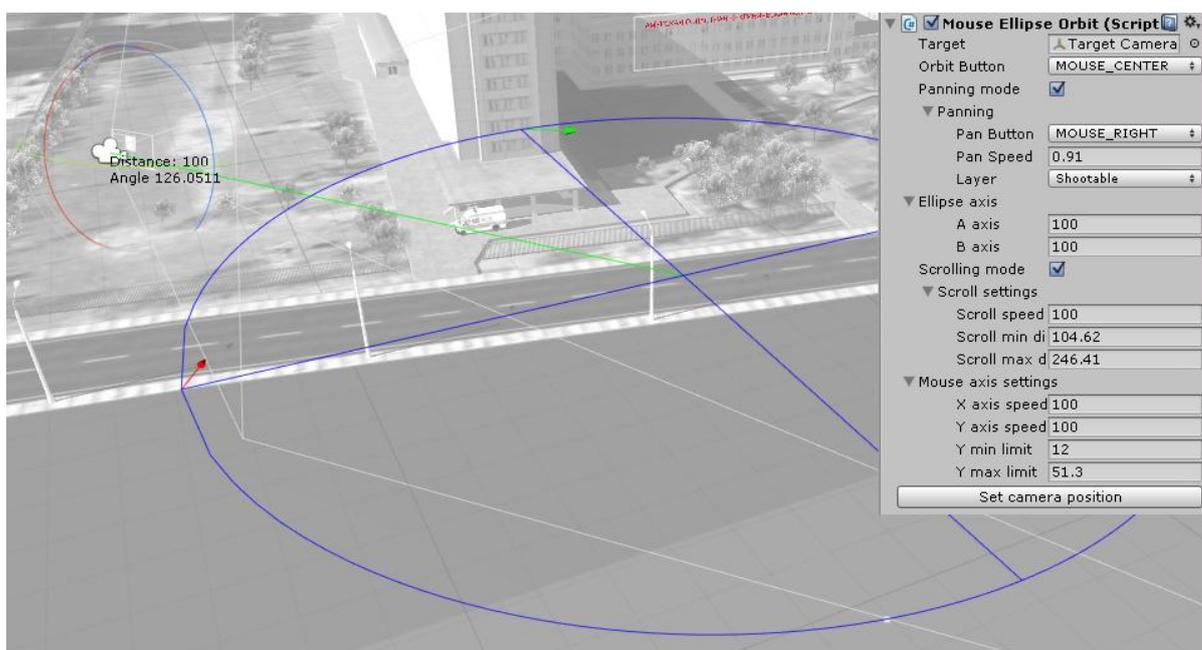


Рисунок 47 – Навигация камеры на основе вектора столкновений

Трансляция камеры к объекту осуществляемая путем интерполяции координатных векторов двух точек трехмерного пространства относительно времени смены кадра, выражается следующей формулой:

$$CurrentPos = Vector3.Lerp(StartPos, EndPos, Time), \quad (1)$$

где  $CurrentPos$  – текущие координаты транслируемого объекта;

$Vector3.Lerp$  – функция интерполяции векторов по времени ( $Time$ );

$StartPos$  – начальные координаты транслируемого объекта;

$EndPos$  – координаты конечной точки пути трансляции;

$Time$  – скорость трансляции, в зависимости от частоты смены кадров на сцене.

Данный метод позволяет транслировать камеру в трехмерном пространстве к любому объекту сцены, а также управлять проекцией вида и анимировать объек-

ты, например транспортные потоки.

### 3.4.2 Создание карты-подложки и расположение 3D моделей

Расположение моделей на карте и создание карты-подложки можно разделить на три этапа:

1. Текстура подложки в формате \*.jpg присваивается модели плоскости (Plane), с установкой компонента BoxCollider, для проверки столкновений при навигации.

2. Импортированные модели в формате \*.fbx перемещаются в иерархический список объектов на сцене с присвоением каждому объекту BoxCollider, для проверки нажатия на модель и обработки обращения к базе данных. Также каждая модель содержит C# скрипт обработчика нажатий Find\_game\_obj\_click и скрипт отображения имени объекта GUINAME.

3. Заключительный этап – расположение моделей на карте-подложке согласно их реальному расположению, учитывая ранее созданную сборку в 3D редакторе CINEMA 4D.

После расположения 3D моделей зданий на сцену добавляются дополнительные детали окружения, такие как дороги, растительность и коммуникации, результирующая 3D карта изображена на рисунке 48.



Рисунок 48 – Результат расположения объектов в пространстве ГИС

Стоит отметить, что расположение объектов на карте осуществляется инструментами, имеющими функционал навигационных инструментов стандартного 3D редактора, это перемещение, вращение и масштабирование. Перемещение объектов возможно как с привязкой к глобальной сетке сцены, так и с привязкой к поверхности других моделей, что помогает привязать модели точно к поверхности карты-подложки [34, 36]. В данный момент этот способ размещения оптимизирован и осуществляется с помощью редактора формирования натуралистичных ГИС, что позволяет сократить временные затраты на создание конечного приложения.

### 3.4.3 Проектирование пользовательского интерфейса

При создании пользовательского интерфейса использовались библиотеки Unity UI – интерфейс пользователя (User Interface). Основными компонентами пользовательского интерфейса в Unity 3D выступают:

1. Canvas – область, включающая в себя все элементы UI, в тоже время является объектом сцены. Все элементы UI должны быть дочерними объектами относительно Canvas.
2. EventSystem – объект включающий в себя компоненты обработчика нажатий на элементы UI, настройки клавиш активации окон и мультинажатий.
3. Элементы UI – кнопки, области ввода текста, текстовые панели и так далее.

В начале проектируется визуальная часть интерфейса, которая программируется в зависимости от конечного функционала приложения.

Основной задачей ГИС является предоставление информации пользователю, исходя из этого пользовательский интерфейс представляет собой строку ввода запроса к данным и панели вывода информации. Приложение имеет несколько уровней запросов к данным:

- Запросы, осуществляемые вводом параметров в строку поиска;
- Запросы на сохранение введенной информации;
- Запросы на получение ранее сохраненных данных;
- Запросы по клику на здания;

– Запросы по клику на элементы интерфейса информационных окон.

Отличительной особенностью UI в Unity 3D является осуществление дочерней привязки элементов друг к другу с образованием семейств окон. Родительское окно интерфейса включает в себя несколько более мелких дочерних окон, они могут быть привязаны к краям или центру родительского окна и использовать относительное выравнивание местоположения, что помогает сохранять пропорции интерфейса при использовании различного разрешения экрана пользователя. Результирующий интерфейс позволяет получить доступ к информации из базы данных или объектах на карте, на рисунке 49 изображен интерфейс пользователя натуралистичной ГИС в режиме редактора.



Рисунок 49 – Интерфейс пользователя натуралистичной ГИС в режиме редактора

В результате проектирования интерфейса созданы элементы поиска объектов в трехмерном пространстве ГИС с помощью векторного метода, формы для доступа к информации из базы данных о координатах и иных параметрах зданий, а также доступ к различным режимам доступа. Интерфейс взаимодействует с компонентной составляющей любого объекта, что облегчает его редактирование,

отображение и сохранение изменений.

### **3.5 Структура и возможности программного продукта**

На основе рассмотренного программного и алгоритмического обеспечения разработано программное обеспечение, предназначенное для решения следующих задач:

- 1) визуализация трехмерного пространства натуралистичной ГИС, включая здания, сооружения, растительность, инфраструктуру и иные объекты, поддающиеся формальному описанию;
- 2) объединение пространственных данных с соответственными 3D объектами, а также их ввод, редактирование, сохранение, удаление и обновление;
- 3) оптимизация процессов формирования пространства ГИС, в частности размещения зданий и объектов, за счет создания редактора электронных карт;
- 4) распределение прав доступа к функционалу приложения натуралистичной ГИС, для оптимизации работы пользователей и защиты данных.

Программный продукт представляет собой конечное приложение, работающее под линейкой операционных систем Windows с возможностью компиляции версий для web-браузеров, а также мобильных устройств.

Взаимодействие с программой требует наличия стандартных устройств ввода – клавиатура и компьютерная мышь, в случае мобильных устройств – сенсорный экран.

### **3.6 Руководство пользователя**

В результате этапа разработки функциональных подсистем была получена программная реализация подсистемы, включающая модуль работы с базой данных и систему визуализации – натуралистичная ГИС г. Благовещенска. Приложение работает в нескольких режимах доступа, для более эффективной работы, а также позволяет изменять настройки качества и разрешения в зависимости от возможностей аппаратного обеспечения.

Принципы работы с приложением соответствуют принципам работы с интерактивными приложениями Windows, содержащим оконный интерфейс. Интерфейс приложения спроектирован на основе интуитивного управления с элементами

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

ми интерактивных взаимодействий с трехмерными объектами ГИС.

### 3.6.1 Системные требования

Для обеспечения качественной работы натуралистичной ГИС необходимо учесть минимальные требования к технической базе:

- Операционная система Windows XP SP2+, 7 SP1+, 8 (рекомендуемая разрядность x64);
- Процессор с поддержкой набора инструкций SSE2;
- ОЗУ: 512 Мб (рекомендуется 1 Гбайт);
- Дополнительно место на HDD до 1000 Мбайт;
- Видеокарта с поддержкой Shader Model 2.0;
- DirectX 9.0c и позднее;
- Microsoft Framework 3.5 и позднее;

### 3.6.2 Примеры экранных форм

Приложение может работать как стационарно под линейкой операционных систем Windows, так и удаленно в Web-браузере, но интерфейс и основные элементы будут одинаковы для обеих реализаций. При использовании приложения важно учесть разрядность вашей операционной системы, т.к. плагины для работы с БД sqlite компилируются отдельно для 32 и 64 разрядных ОС.

Исполняемый файл приложения имеет расширение \*.exe, при запуске которого выводится окно главного меню, предоставляющего доступ к нескольким режимам работы с редактором ГИС, обзорной карте и настройкам приложения (рисунок 50). Взаимодействие с интерфейсом осуществляется с помощью клавиш компьютерной мыши, нажатием на соответствующие пункты меню.

Панель настроек позволяет пользователю выбрать разрешение приложения и качество графической составляющей, зависящей от разрядности ОС и комплектующих компьютера. На рисунке 51 приведена экранная форма настроек приложения натуралистичной ГИС. Настройки качества графики повлияют на дальность прорисовки трехмерных элементов, разрешение текстур, наличие освещения и теней от него. Для удобства все эти настройки объединены в один пункт уровня графики.

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

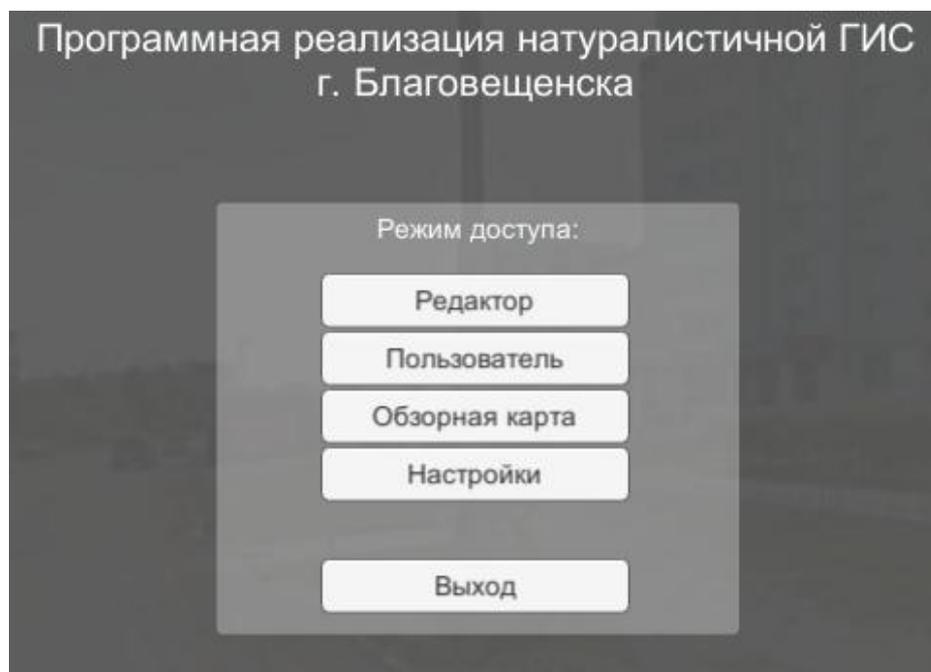


Рисунок 50 – Экранная форма главного меню приложения натуралистичной ГИС

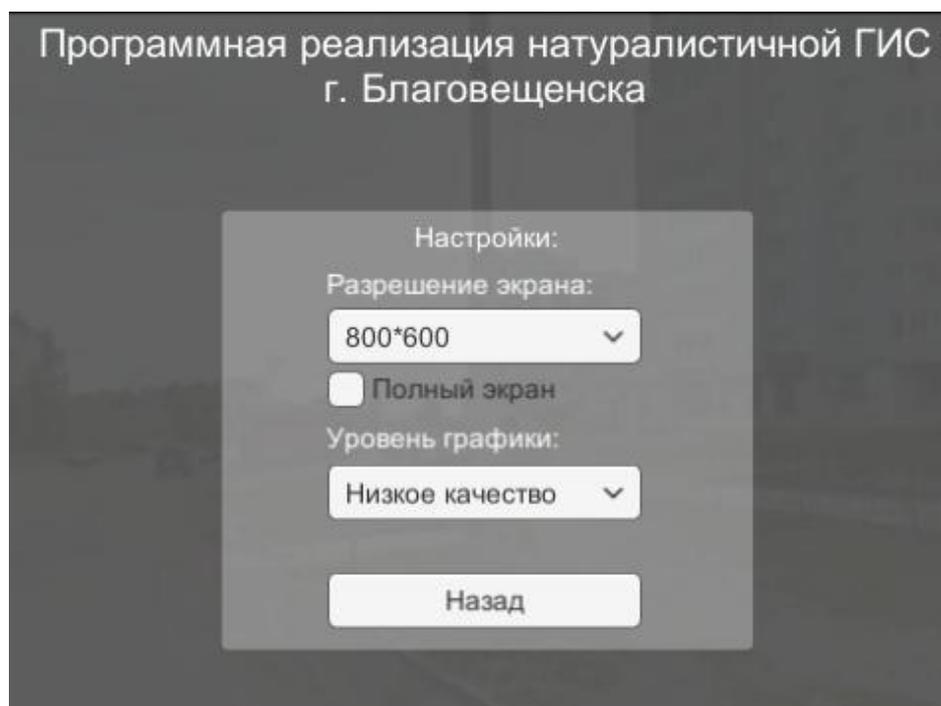


Рисунок 51 – Экранная форма настроек приложения натуралистичной ГИС

Переход в режим редактора загружает форму редактора натуралистичной ГИС, интерфейс которого можно разбить на несколько частей.

Слайдовая библиотека редактора в левом нижнем углу, изображенная на рисунке 52, позволяет просматривать массив зданий и объектов, с выводом информации о них. При клике по объекту он становится активным для размещения и ре-

дактирования в пространстве ГИС, которое осуществляется с помощью клавиш мыши, при наведении на спутниковый снимок. На данный момент для размещения доступны только трехмерные модели зданий.

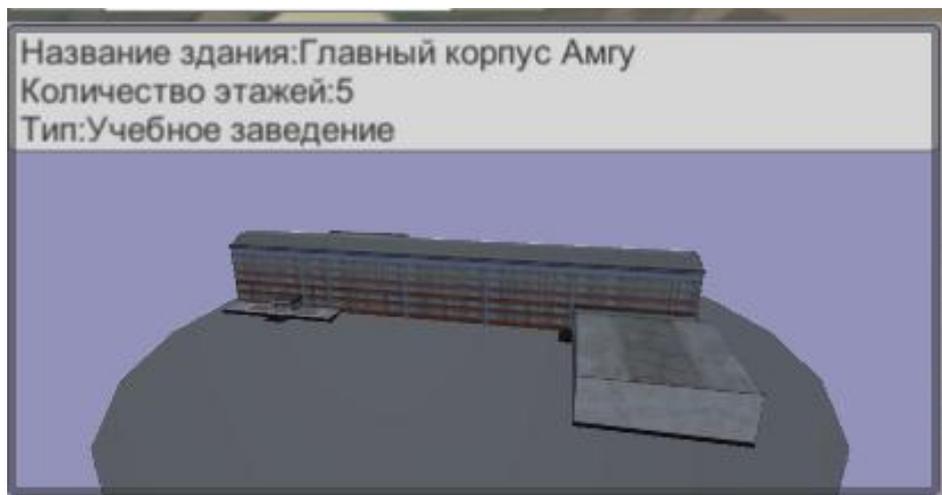


Рисунок 52 – Интерфейс модуля слайдовой библиотеки

Размещение объекта в пространстве ГИС осуществляется с помощью клавиш мыши и функциональных клавиш трансформации, панель трансформации изображена на рисунке 53.

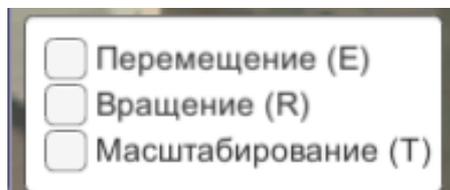


Рисунок 53 – Панель трансформации объекта

Размещенный объект имеет информационный компонент, содержащий данные из СБ, а также адрес и индекс (для зданий). Название улицы и индекс вводятся автоматически, учитывая область нахождения объекта. После ввода данных необходимо нажать клавишу «Сохранить». На рисунке 54 представлена панель ввода данных объекта.

После размещения объектов и ввода информации можно сохранить текущее состояние карты в базу данных с помощью меню карт (рисунок 55). Также можно загрузить ранее сохраненный вариант или перейти в главное меню. В рамках магистерской диссертации раскрыты основные виды взаимодействия пользователя с

натуралистичной ГИС, которые могут использоваться в дальнейшем для расширения функционала приложения.



Рисунок 54 – Панель ввода данных объекта

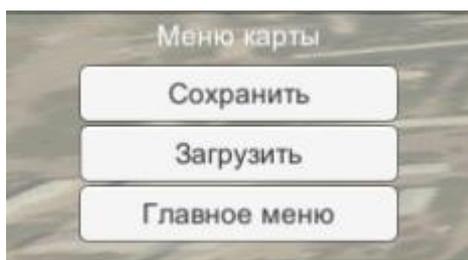


Рисунок 55 – Меню сохранения и загрузки карт

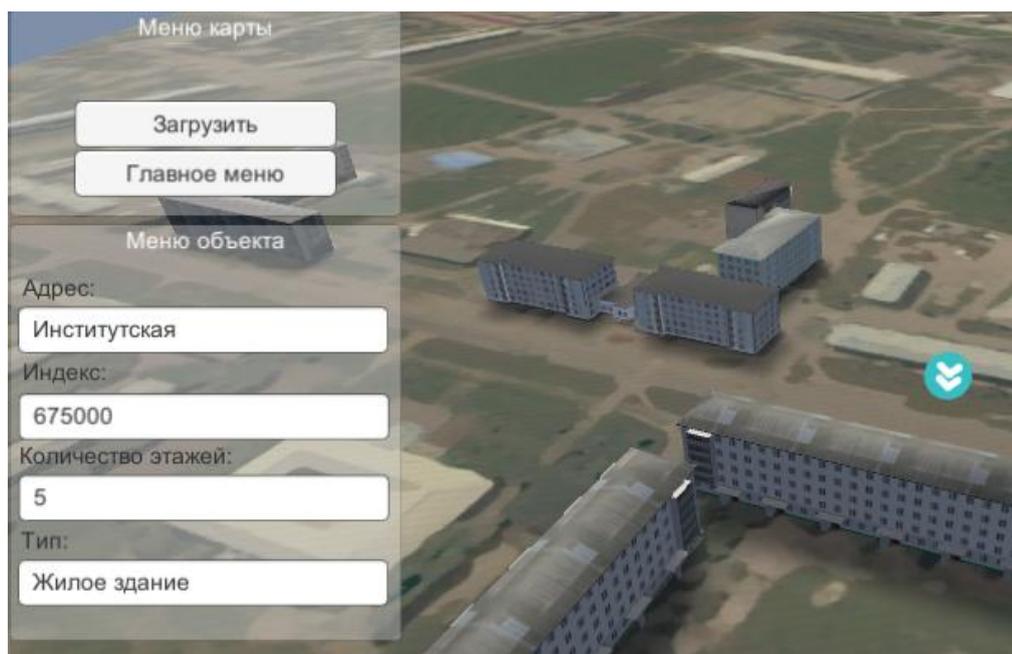


Рисунок 56 – Экранная форма в режиме пользователя

Интерфейс модуля формирования пространства ГИС в режиме пользователя (рисунок 56) отличается от режима редактора отсутствием элементов модификаций объектов и просмотра окна СБ.

В режиме обзорной карты приложение позволяет просматривать пространство ГИС, сформированное в ручном режиме и представляющее собой площадку для крупномасштабного тестирования основного функционала приложения.

Обзорная карта доступна в нескольких режимах проекции. Для быстрой навигации на больших территориях, используется ортографическая проекция с выключенным слоем трехмерных объектов (рисунок 57).



Рисунок 57 – Ортографическая проекция натуралистичной ГИС

Переключение из ортографической в перспективную проекцию осуществляется кликом мыши в пространстве ГИС. Перспективная проекция отображает трехмерные объекты, слой освещения и, в зависимости от задач, дополнительный слой пользовательского интерфейса (рисунок 58, 59).

Стоит заметить, что данная карта не предоставляет доступ к полному функционалу приложения, т.к. создавалась в рамках научно-исследовательской работы

студенческого конструкторского бюро «Трёхмерное компьютерное моделирование». Формирование данной области ГИС производилось вручную, без использования редактора формирования натуралистичных ГИС, разработанного в рамках нашего исследования. Основной задачей данного модуля – тестирование производительности собранных кварталов г. Благовещенска и отладка подсистемы поиска объектов.

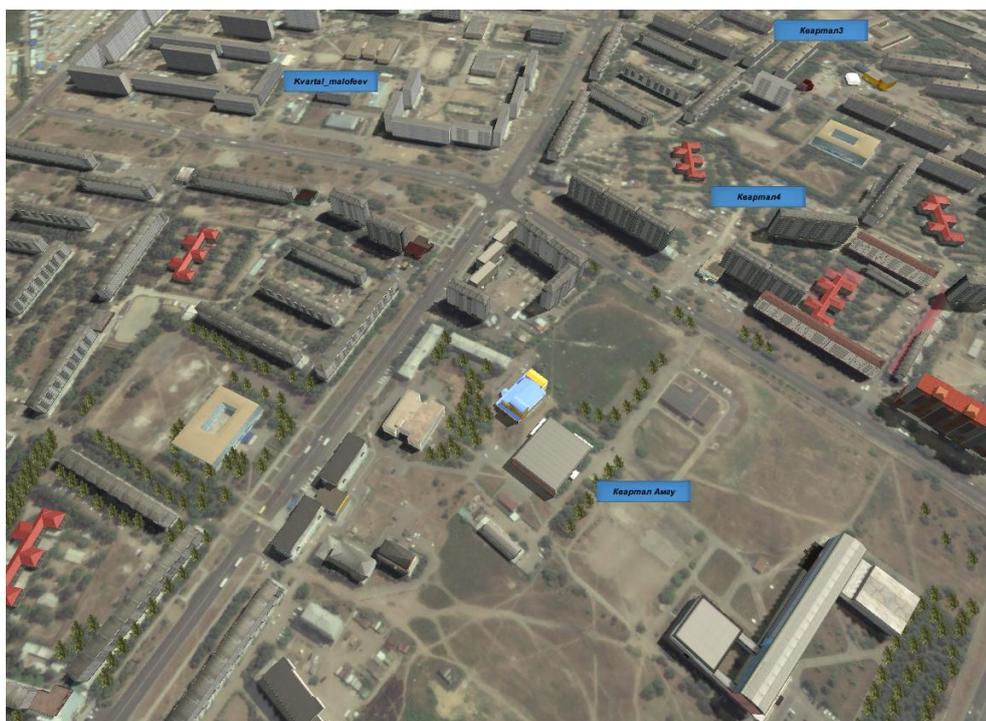


Рисунок 58 – Крупномасштабная перспективная проекция натуралистичной ГИС

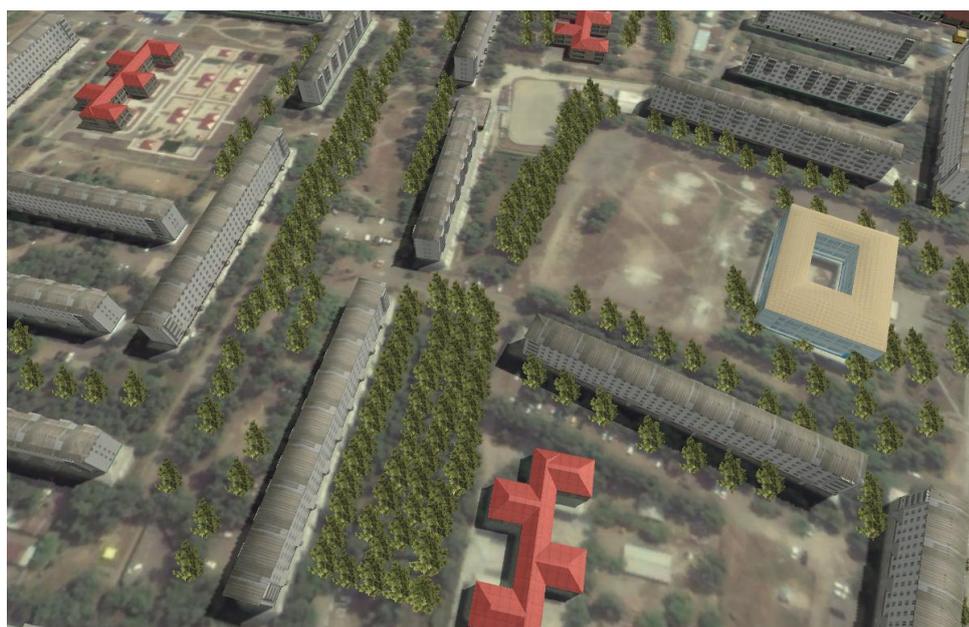


Рисунок 59 – Мелкомасштабная перспективная проекция натуралистичной ГИС

Навигация в 3D пространстве осуществляется комбинацией кнопок мыши:

- левая кнопка мыши позволяет переключать проекции из ортогографической в перспективную и обратно;
- правая кнопка мыши отвечает за перемещение камеры в зависимости от положения курсора;
- колесо мыши отдаляет или приближает камеру к объектам, в зависимости от направления прокрутки;
- комбинация зажатых правой кнопки и колесика мыши позволяет менять угол обзора камеры в пространстве;
- комбинация shift + любая вышеперечисленная функция позволяет ускорить выполнение действия в несколько раз.

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования процессов проектирования натуралистичной ГИС г. Благовещенска была выявлена проблема оптимального размещения большого количества объектов на пространстве натуралистичной ГИС. Изначально для этого использовался ручной метод с применением среды разработки.

Технология создания натуралистичной ГИС прошла предварительную апробацию на нескольких научных конференциях, с получением свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, приведенном в приложении Д.

Для разработки информационной подсистемы предприятия использовались средства 3D редактора CINEMA 4D для создания трехмерных моделей корпусов больницы и окружения, СУБД SQLite DOG для создания базы данных SQLite для хранения информации о телефонах и отделениях больницы, визуализатор Unity 3D для связки БД и 3D моделей, с созданием пользовательского интерфейса и конечного приложения справочной системы.

В результате программной реализации натуралистичной ГИС г. Благовещенска, было получено приложение обеспечивающее визуальную навигацию по трехмерной ГИС, включающую здания и объекты, связанные с базой данных, а также модуль размещения объектов и сохранения изменений. Кроме того, программная реализация позволяет создавать и наполнять натуралистичные ГИС с помощью слайдовой библиотеки типовых объектов, системы навигации и модулем сохранения и загрузки редактируемых карт для просмотра.

Конечный программный продукт работает под распространённой линейкой операционных систем Windows, обеспечивая высокую производительность ввиду использования технологий низкополигонального моделирования. Благодаря возможностям визуализатора Unity 3D программный продукт может быть скомпилирован в WEB приложение для загрузки на сайт. Приложение имеет интуитивно понятный интерфейс и простое управление, что устраняет необходимость в обучении пользователей.

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Беляев, В.Л. Опыт и перспективы применения 3d кадастра при управлении градостроительным развитием подземного пространства / В. Л. Беляев // Журнал «Имущественные отношения в Российской Федерации». – №1 (148). – 2014.

2 Гречищев, А. Трехмерное моделирование и фотореалистичная визуализация городских территорий Текст. / А. Гречищев, В. Бараниченко, С. Монастырев, А. Шпильман; М. DATA+. // ArcReview. 2003. – № 2, С. 12 – 13.

3 Калугин, В. Глава 1. Реляционные базы данных [Электронный ресурс] / В. Калугин // Режим доступа: <http://vaskalugin.narod.ru/info/rusql/ch1.html>. – 06.03.2017.

4 Аврутин, В.Д. О трехмерной модели городского пространства города Санкт-Петербурга / В. Д. Аврутин, В. Ю. Руденко. – Санкт-Петербург : ГИС Review, 2009. – №4. – 6 с.

5 Степанов, Д.И 3D моделирование [Электронный ресурс] / Д.И. Степанов // ООО «НПП «Бента». – Режим доступа: [http://www.benta.spb.ru/work/foto/3d\\_model/index.html](http://www.benta.spb.ru/work/foto/3d_model/index.html). – 15.02.2017.

6 Цыганок, Д.А. Геоинформационные системы / Д.А. Цыганок – Красноярск : Красноярский государственный университет, 2004. – 110 с.

7 Иванников, А.Д. Геоинформатика / А. Д. Иванников, В. П. Кулагин, А. Н. Тихонов, В. Я. Цветков. – Москва : МАКС Пресс, 2001. – 349 с.

8 Кошкарев, А.В. Геоинформатика / А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов // Под ред. Д. В. Лисецкого. – Москва : ”Картогеоцентр” – “Геодезиздат”, 2004. – 213 с.

9 Джейсон Visual C# .NET. Полное руководство / Джейсон, Майк Прайс, Гандэрлой. – М. : Корона Принт, 2010. – 446 с.

10 Нейгел, К. C# 2005 для профессионалов / К. Нейгел. – Москва : Вильямс, 2006. - 378 с.

11 Верстак, В. 3ds Max 8 на 100% / В. Верстак, М. Бондаренко, С. Бондаренко. – М.: СПб: Питер, 2006. – 416 с.

12 Гурский, Ю. Компьютерная графика: Photoshop CS, CorelDRAW 12,

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

Illustrator CS / Ю. Гурский, И. Гурская, А. Жвалевский. – М.: СПб: Питер, 2005. – 812 с.

13 Акритас, А. Основы компьютерной алгебры с приложениями / А. Акритас. – Москва: СИНТЕГ, 2009. – 171 с.

14 Creighton, R.H. Unity 3D Game Development by Example / R.H. Creighton. – Packt Publishing, 2010. – 384 с.

15 Rick, F. The SQL Guide to SQLite / F. Rick. – lulu.com, 2009. – 542 с.

16 Александров, П.С. Введение в гомологическую теорию размерности и общую комбинаторную топологию / П. С. Александров. – М.: ИЛ, 2011. – 237 с.

17 Андрианов, В. Координаты пространственных данных. «ArcReview. Современные геоинформационные системы». №2(17). М., изд-во Дата+, 2001.

18 Рубцов, Б. К вопросу о взаимодействии ГИС и СУБД [Электронный ресурс] / Б. Рубцов // Режим доступа: <http://www.gisa.ru/32529.html>. – 17.03.2017.

19 Хокинг, Д. Unity в действии. Мультиплатформенная разработка на C# / Д. Хокинг. – Изд-во Питер, 2016. – 336 с.

20 Ламмерс, К. Шейдеры и эффекты в Unity. Книга рецептов / К. Ламмерс. – Изд-во ДМК Пресс, 2014. – 274 с.

21 Дикинсон, К. Оптимизация игр в Unity 5 / К. Дикинсон. – Изд-во ДМК Пресс, 2017. – 306 с.

22 Никулин, Е.А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики / Е. А. Никулин. – М.: БХВ-Петербург, 2005. – 576 с.

23 Топорков, В.В. Модели распределенных вычислений / В. В. Топорков. – М.: ИЛ, 2004. – 947 с.

24 Гуц, А.К. Математическая логика и теория алгоритмов / А. К. Гуц. – М.: СПб: Питер, 2003. – 711 с.

25 Панфилова, Д.Г. Новое измерение ГИС: Contex 3D увеличивает точность и эффективность макетирования [Электронный ресурс] / Д. Г. Панфилова // Режим доступа: <http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm32contex3d.html=KPct0gq>. – 06.04.2017.

26 Расцвет неокартографии [Электронный ресурс] / Блог компании Airbnb //

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/airbnb/blog/250623/>. – 06.04.2017.

27 Степанова, Л.А. 3D моделирование в ГИС "Карта2011" [Электронный ресурс] / Л. А. Степанова. – Тверской Государственный технический Университет, 2012 // Режим доступа: <http://gisinfo.ru/item/104.htm>. –10.02.2017.

28 Савченко, К.А. Возможности трехмерного ГИС-моделирования размещения средств организации дорожного движения на транспортных развязках. / К. А. Савченко, Ю. Г. Котиков // ArcReview № 3, 2012.

29 Петрухин, С. Создание 3D модели средствами ГИС Карта 2008 [Электронный ресурс] / С. Петрухин. – Географические информационные системы и дистанционное зондирование GIS LAB // Режим доступа: <http://gislab.info/qa/giskarta-3d.html>. – 12.01.17

30 Gibson, J. Introduction to Game Design, Prototyping, and Development: From Concept to Playable Game with Unity and C# / J. Gibson. – Addison-Wesley Professional, 2014. – 944 с.

31 Cinema 4D [Электронный ресурс] / Материал из Википедии — свободной энциклопедии // Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Cinema\\_4D](https://ru.wikipedia.org/wiki/Cinema_4D). – 12.09.16.

32 Мишаченко, К.Г. Интерактивная имитационная модель городского пространства / К. Г. Мишаченко, М. В. Дубинин // Молодежь XXI века: шаг в будущее: материалы XVI региональной научно-практической конференции с межрегиональным и международным участием: в 5 т. – Благовещенск: АГМА, 2015. – 2 т.: Физико-математические науки. Технические науки. – С. 44 – 46.

33 Мишаченко, К.Г. Разработка редактора для формирования натуралистич- ных ГИС / К. Г. Мишаченко // Молодежь XXI века: шаг в будущее: материалы XVII региональной научно-практической конференции с межрегиональным и международным участием: в 4 т. – Благовещенск: Изд-ва БГПУ, 2016. – 3 т.: Физико-математические науки. Секция 2 «Математика и информатика». – С. 228 – 230.

34 Еремин, И.Е. Реалистичная модель городского пространства / И. Е. Ере- мин, М. В. Дубинин, К. Г. Мишаченко, П. И. Пузанов // Электронное научное из-

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

дание «Ученые заметки ТОГУ». – 2014. – Том 5. – № 4. – С. 1379 – 1384.

35 Свид. о гос. рег. прогр. для ЭВМ (РФ) 2014661887. Реалистичная геоинформационная система городского пространства / И. Е. Еремин, К. Г. Мишаченко, М. В. Дубинин; АмГУ. – № 2015610978; Заявл. 20.11.14; Зарег. 21.01.15.

36 Коростылев, Р.И. Электронная карта с использованием реалистичных 3D-моделей зданий / Р. И. Коростылев, И. Е. Еремин // Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ». – 2013. – Том 4. – № 3. – С. 67 – 71.

37 Еремин, И.Е. Реалистичная электронная карта муниципального образования с элементами городской инфраструктуры / И. Е. Еремин, К. Г. Мишаченко, А. О. Мищенко, П. И. Пузанов // Ученые заметки ТОГУ. – 2016. – Т. 7. – № 3. – С. 117 – 122.

					ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Логическая и физическая модели базы данных

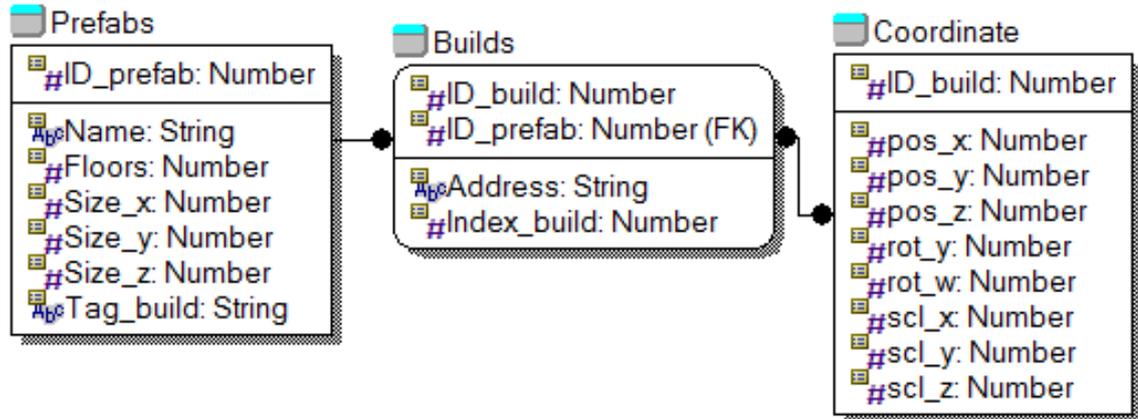


Рисунок А.1 – Графическое представление логической модели

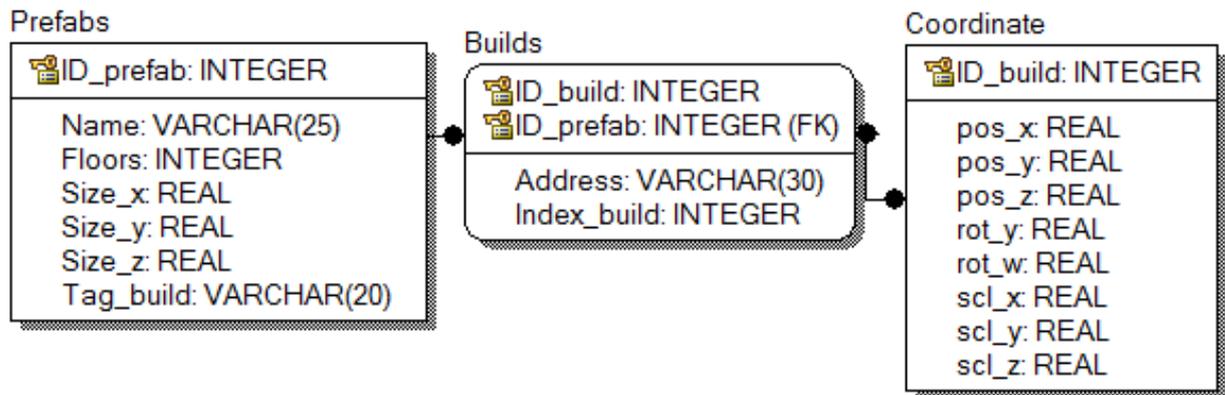


Рисунок А.2 – Графическое представление физической модели

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2015610978

Реалистичная геоинформационная система городского пространства

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Амурский государственный университет» (RU)*

Авторы: *Еремин Илья Евгеньевич (RU), Мишаченко Константин Геннадьевич (RU), Дубинин Максим Витальевич (RU)*

Заявка № 2014661887

Дата поступления 24 ноября 2014 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 21 января 2015 г.



Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий

Рисунок Б.1 – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

						ВКР.155515.09.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			80