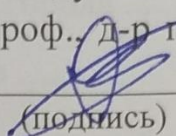


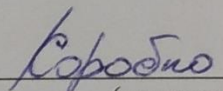
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)

Институт географии, геологии, туризма и сервиса  
Кафедра геоинформатики

Допустить к защите  
Заведующий кафедрой  
проф., д-р геогр. наук  
  
\_\_\_\_\_ А.В. Погорелов  
(подпись)  
23.06 2020 г.

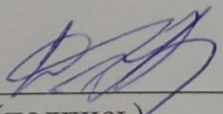
**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

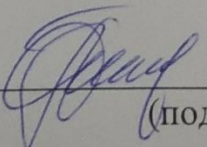
**ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРОДА В РАМКАХ  
КОНЦЕПЦИИ SMART CITY**

Работу выполнил \_\_\_\_\_   
(подпись) С-Н.К. Коробко

Направление подготовки 05.03.03 «Картография и геоинформатика»

Направленность (профиль) геоинформатика

Научный руководитель  
доц., канд. геогр. наук \_\_\_\_\_   
(подпись) Д.А. Комаров

Нормоконтролер,  
доц., канд. геогр. наук \_\_\_\_\_   
(подпись) А.Н. Пелина

Краснодар  
2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1 Трехмерная модель города .....	4
1.1 Проект Smart City .....	4
1.2 Актуальность и применимость в составе Smart City .....	9
2 Технологии и методики получения 3D-моделей .....	12
3 Технологии и методики получения 3D-модели города.....	21
3.1 Аэрофотосъемка, съемочное оборудование .....	21
3.2 Виды лазерного сканирования.....	27
4 Программное обеспечение для 3D-моделирования .....	36
5 Практический опыт создания модели .....	41
Заключение .....	49
Список использованных источников .....	50

## ВВЕДЕНИЕ

В данный момент управленцы нашего государства и регионов принимают ответственные решения, связанные с развитием и внесением инновационных и прорывных технологий и концепций из программы Smart City. В связи с тем, что Краснодар теперь один из 8-ми городов нашей необъятной родины, которые удостоились быть первыми среди тех, кто получили этот статус. Список городов, попавших в эту программу, объявили на научной конференции под названием «Открытые инновации», проходившей в городе Сколково. Как раз, одним из основных важнейших направлений развития Краснодара как краевого центра и являлось вступление в список городов, внедряющих концепцию Smart City. Помимо этого, денежные средства, выделяющиеся на осуществление проекта, будут поступать напрямую из государственного бюджета, что позволит безотлагательно приступить к процессу совершенствования. В связи со всем вышесказанным, создание трехмерной модели зданий, улиц и города в целом, является крайне актуальной задачей не только для учебного процесса, но и для внедрения проекта Smart City в Краснодаре.

Целью данной дипломной работы является апробация технологии создания трехмерной модели центральной части города Краснодара на основе воздушного лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки. Задачи дипломной работы – освоение программного обеспечения для обработки лазерных данных, выполнение моделирования застройки и уличной инфраструктуры в крупном масштабе. Выбор программного обеспечения для визуализации трехмерной модели и создание трехмерной динамической модели – среда ArcScene.

# 1 Трехмерная модель города

## 1.1 Проект Smart City

Выражение «Умные города», судя по всему, берет свое начало от социального движения «Умный рост», действующего с начала 1990-х гг. Целью этой структуры являлось вынесение на обсуждение госструктурами проблемы политики городского планирования того времени и ее преобразование. Ярким примером, подверженным влиянию движения, является город Портленд (штат Орегон, США). Выражение «Умный город» официально было утверждено в 2005 г. – тогда группа компаний, занимающаяся развитием технологий и информационных систем, нуждалась в емком определении, описывающем все технологические процессы в городе. В них входило распределение ресурсов, безопасность, а также интеграция городской инфраструктуры и услуг в общем. Начиная с этого момента данной фразой принято называть новшества в сфере планирования городской среды, ее развития и использовании.

В настоящее время города подвержены влиянию многих социально-экономических проблем: недостатку социальной инфраструктуры, порой слабо контролируемому росту населения, экологическим проблемам, превышающим налоговую базу расходам и многим другим. Для комфортной деятельности и поддержания всех систем в работоспособном виде управляющие городами обязаны находить и разрабатывать инновационные методы управления жизнью города и решения проблем, понижающих его жизнеспособность. К ним относятся множество ситуаций – от критической безработицы и порой неадекватных цен на жилье до высокого уровня преступности и ухудшения экологического положения. Выделяют также так называемые долгосрочные городские проблемы – трудности с выделением жилья малоимущим, отсутствие необходимого уровня инфраструктуры, недостатки систем жилищно-коммунального хозяйства и многие другие.

Рост, достигнутый городами, обусловлен их способностью решать проблемы урбанизации и связанные с ними социальные, экологические и экономические проблемы целостным образом, в полной мере используя будущие возможности. Понятие «Умный город» можно рассматривать как основу для реализации концепции развитой и современной урбанизации. Видение «Умных городов» – это объединение данных о конкретном городе, которые помогают организовать его эффективное управление. Там, где стабильная и корректная работа всех структур организации города возможна и выстроена при помощи особых современных элементов наблюдения исследование и разного рода задачи на пути к этой концепции, включают в себя многие технические области, от физики и биологии до бухгалтерского учета и электроники. Каждая из этих важнейших частей должна быть идентифицирована или адаптирована для соответствующего использования, если она уже существует. Следующим уровнем является система проектирования, которая использует вышеописанные компоненты. Таким образом, она объединяет интерфейс с компьютеризированной возможностью отслеживания для каждого элемента системы. После системы проектирования следует этап объединения всей полученной информации во все аспекты городской инфраструктуры, порой кажущихся абсолютно не связанными [20].

Город, контролирующий и объединяющий условия всех важных элементов инфраструктуры, к которым относятся дорожно-транспортный комплекс и жилищно-коммунальное хозяйство, способен к лучшей оптимизации внутренних ресурсов, планированию работ по техническому и профилактическому обслуживанию и контролю вопросов безопасности при расширении услуг для своих граждан. Благодаря современным системам мониторинга и встроенным интеллектуальным датчикам данные могут быть собраны и оценены в режиме реального времени, что облегчает принятие решений городским руководством. В «Умном городе», среди прочего, необходимо уделять внимание состоянию физической среды, воздуха, воды и зеленых насаждений, окружающих их. Большинство элементов из вышеупомянутых плюсов

«Умного города» не соответствуют реальному положению дел и не дотягивают до того уровня благосостояния городской среды, которое может быть достигнуто после реализации проекта. Конечная цель программы Smart Cities очень проста – увеличение уровня жизни населения. При использовании этого проекта все сферы социальной жизни населения достигаются с меньшими затратами и за более короткий промежуток времени. Главной функцией Smart Cities Vision должна стать организация управления и нормативно-правовой основы, оперативно устанавливающей государственные стандарты жизни города.

Цель принятия и внедрения концепции «Smart City» – это, конечно же, повышение условий и уровня жизни населения городов при помощи использования сложнейших технических решений городской информатики что влечет за собой более эффективное предоставление гражданам услуг и удовлетворение их нужд и потребностей. Все вышесказанные технологии дают возможность администрации и органам государственной власти общаться с обществом на прямую, управлять и следить за состоянием инфраструктуры, наблюдать за тем что происходит в городе в общем, как он живет и прогрессирует, а также какие из предпринимаемых методов действительно работают на благо общества и какие необходимо пересмотреть и возможно отказаться от них. При помощи различных датчиков, внедренных в жизнь общества, работающих непрерывно в реальном времени, происходит сбор информации и данных и ее дальнейшая обработка, и анализ. Вся информация поступает непосредственно от людей и различных устройств. Каждая крупинка информации по итогу дает решение к проблеме неэффективности.

Технологичность и современность получаемой информации позволяет повышать уровень и качество предоставляемых услуг. Все технологии и методики, входящие в концепцию «Smart City» при условии их повсеместного использования, дают значительный результат в управлении городскими потоками и своевременное реагирование на непредвиденные ситуации, именно поэтому «Smart City» готов решать любые возникающие сложности лучше,

нежели в простых «оперативных» взаимосвязях с обществом. Однако сама концепция продолжает быть непонятной в вопросе того, что касается ее специфики, что требует большого количества толкований и дискуссий [9].

Среди иных понятий, которые употребляются в подобных терминах, можно назвать кибергород, смарт-город, цифровой город. К отраслям производства и услуг улучшающим технологии «умных городов» можно отнести услуги, предоставляемые страной, контроль и управление муниципальным транспортом, энергоэффективность, привнесение новых технологий в процесс и технологию сельского хозяйства, управление утилизации бытовых отходов.

Города, в которых уже работают некоторые аспекты и технологии уже доказали свою продуктивность в сферах экономики, технологий, улучшении состояния окружающей среды, которые в свою очередь привнесли большой вклад в общую структуру экономики и климата, чем притянули к себе большое количество внимания. В ряде некоторых случаев наблюдается локальный переход от оптовой торговли к розничной, проведение населением часов досуга в интернете. Страны Европы неустанно пытаются разработать новую и более оптимальную стратегию роста и развития своих городов. ЕС привел в действие свои ранее разработанные программы в рамках «европейской повестки дня». Десять лет назад ряд этих программ был сосредоточен на расширении и привнесении современных инноваций, финансовых вложений в ИКТ-услуги для повышения уровня качества услуг, которые предоставляет государство и жизни общества в целом. По различным оценкам большинства прогнозистов лидирующих мировых компаний уже в этом году глобальный рынок услуг достигнет 400 миллиардов долларов в год. В качестве отличного примера работы технологий и программ можно привести такие города как Амстердам, Барселону и конечно же Москву с ее инновационными решениями разработанными предыдущим мэром в плане прокладки сотен километров тротуаров и велосипедных дорожек, которые позволяют тысячам горожан и туристам более быстро и рационально передвигаться даже в центре города.

Большая часть компаний, задействованных в технологиях обустройства и развития городов сосредоточена в Израиле, где его столица получила всемирную премию «Умный Город» в недалеком 2014-ом году. Израильские компании внедряют и используют интеллектуальные городские инновации по всему земному шару, в каждой стране. В городе курорте Сочи уже начал реализовываться этот проект, для города уже разработан документ с планом действия и планирования развития институтом технологий и коммуникаций, название этому документу дали ничуть не менее гениальное, чем сам проект «стратегия умного города Сочи».

Основной миссией этого проекта является обеспечение стабильного роста качества жизни горожан и благоприятных условий ведения малого и среднего бизнеса, также неотъемлемой частью концепции является централизация городского руководства и повышение эффективности государственных расходов, включая частное партнерство.

При внедрении концепции в жизнь города были поставлены основные цели, такие как создание условий для горожан, при которых они чувствовали бы себя более счастливыми и здоровыми, получали лучшее образование и повысили свое благосостояние. Также сам город должен стать более безопасным, чистым и зеленым. Помимо этого, одной из преследуемых целей является создание благоприятных условий для ведения малого и среднего бизнеса, предпринимательства и научной деятельности, стимулирующие рост благосостояния населения. Следующей целью можно отметить создание виртуальной связи между людьми для повышения эффективности управления городом.

На данный момент почти 95% государственных услуг в области градостроительства разрабатывается в электронном виде, что составляет, несомненно, большую часть. Также был создан проектный офис по внедрению технологии BIM, помимо этого активно разрабатываются стандарты, системы классификации и требования к информационным моделям. Был разработан и утвержден некоторый стандарт, который включает в себя список реко-



мендаций по производству предпроектных решений по использованию перспективных технологий в создании комфортабельной среды внутри города. Также была реализована инфраструктура, состоящая из информационно-технологического комплекса исполнительных органов, которые позволяют при необходимости оперативно автоматизировать внутренние процессы и организовывать эффективное взаимодействие с участниками строительства. Существует информационно-аналитическая система управления деятельностью градостроительного комплекса-базовая информационная система строительного комплекса, которая является единственной информационной средой для всех участников строительства [18].

## 1.2 Актуальность и применимость в составе Smart City

Трёхмерное моделирование городских территорий и застройки, в частности, является одной из составляющих цифровых данных, которые обеспечивают полноценную комфортную цифровую среду для введения в работу проектов концепции «Smart City». Актуальной и современной тенденцией в использовании пространственных данных является несомненно грамотное и рациональное применение BIM технологий (Building Information Model) на протяжении всех этапов возведения зданий либо промышленных конструкций, от планирования до непосредственного начала пользования им. BIM – это совокупность способов и методов, а также инструментов для сбора, построения, хранения и использования получаемой информации об объектах с целью эффективного решения градостроительных задач. Внедрение технологий BIM предполагает накопление и всестороннюю работу с данными по архитектуре, конструкции и технологиях строительства и огромное количество информации об объекте со всеми его связями с городом в целом. Процесс оцифровки на базе BIM полностью охватывает все этапы постройки объекта, от стадии планирования градостроительства до момента начала полного функционирования объекта. Цифровые копии сооружений и не только на ос-

нове трехмерных моделей позволяют следить за всем циклом жизни сооружения от начала и до конца, что в дальнейшем дает более точное прогнозирование поведения постройки в тех или иных ситуациях. Также они позволяют структурам ответственным за спасательные операции более эффективно и быстро производить свою работу, предугадывать отказы каких-либо инфраструктурных элементов, таких как линии водоснабжения, линии электропередач, лифты. Помимо этого, трехмерная модель может дать информацию, необходимую для принятия решения о сносе или капитальном ремонте здания. В случае надобности цифровые модели могут быть востребованы у различных служб как интерактивная трехмерная карта, например, при возгорании дома, внутри которого находятся люди. Автоматизированные системы управления, внедренные в здания, обеспечивают на достаточно высоком уровне автоматизированное управление, а также диспетчеризацию всех инженерных систем, сбор статистических данных о состоянии несущих элементов и систем зданий на базе данных, полученных из информационной модели.

Актуальной задачей является создание в городе геопортала цифровых трехмерных моделей зданий, сооружений и транспортных объектов для предоставления коммунальных услуг, с дифференциацией доступа по отраслям или обозначениям ролей.

Создание единой цифровой площадки в области территориального градостроительного планирования – платформы для электронного взаимодействия застройщиков и органов власти в рамках строительного проекта, поддерживающей единый подход к управлению территориальным планированием, также является важной и неотъемлемой составляющей «умного города».

Использование трехмерной модели для планирования территории на основе анализа градостроительных данных, повышения качества разработки документов территориального планирования и градостроительного районирования, а также принятия планировочных решений и документации по пла-

нированию территории является современной и актуальной проблемой, стоящей перед органами местного самоуправления.

3D-модель позволит сократить время и стоимость инвестиционного строительства за счет оцифровки всех стадий строительного цикла объектов и внедрения технологий информационного моделирования в строительстве.

## 2 Технологии и методики получения 3D-моделей

Космосъемка занимает одно из ведущих мест среди различных способов получения (ДДЗ). Для проведения процесса дешифровки чаще всего используют такие аппараты как межпланетные автоматические станции, находящиеся на орбите Земли, искусственные спутники Земли, которые оснащены съемочным оборудованием, орбитальные станции, которые предназначены для долгосрочного пребывания на ней космонавтов так же не стоит забывать и о космических кораблях с возможным пилотированием человеком. Существуют космические комплексы наблюдения и слежения, а также оценки биосферы и ее состояния, состоящие из различных космических аппаратов и иных наземных установок, контролирующих их. Все это дает возможность накопления и упорядочивания полученных данных из космоса.

Орбиты движения спутников можно подразделить на экваториальную (движение вдоль экватора Земли), полярную и наклонные.

Орбиты по своей форме делятся всего на два вида, первый – это круговой (форма максимально приближена к кругу), спутниковые снимки, снятые со спутника, перемещающегося по такой орбите в большинстве случаев имеют одинаковый масштаб, так как он (спутник) постоянно равноудален от поверхности Земли.

Второй вид орбиты – это эллиптическая, ее форма просто говоря напоминает овал, более точно ее формулу можно описать так, ее эксцентриситет отличный от единицы причем в меньшую сторону, то есть высота на которой летит спутник в точке апогея кратно превышает высоту в точке перигея.

Траектории полета спутников делятся на два вида, в зависимости от их отношения к Земле:

- геосинхронный;
- гелиосинхронный.

Траектория движения спутников, находящихся на орбите, рассчитываемой относительно Солнца, движущихся в пространстве со скоростью,

приравненной к суточному вращению Земли, сохраняет видимость замирания спутника на постоянном месте над Землей, которое пригодно для проведения непрерывного процесса съемки конкретного участка Земли, что может использоваться при наблюдении за каким-либо процессом. Говоря простым языком, спутник летит одновременно с вращением Земли с одной скоростью над какой-либо местностью. Космический корабль, находящийся на гелиосинхронной траектории полета, проходит по ней циклично через конкретную просчитанную зону, в одно и то же время. Такой космический аппарат используется для проведения серий съемок, для которых важен фактор стабильного и одинакового освещения. Гелиосинхронная орбита имеет преимущество в том, что объем света остается неизменной в течение длительного периода времени, на протяжении сезона. Этот эффект получается при условии того, что из-за неидеальности поверхности Земли курс движения спутника немного искривляется, поэтому, подобрав правильный угол, получится добиться корректного значения прецессии, который равнялся бы совокупности дневного и ночного вращения Земли вокруг Солнца, то есть это значение должно быть приближенно к 1 в сутки. В промежутках таких орбит вблизи Земли может образовываться небольшое количество гелиосинхронных траекторий, наклон которых всегда противоположен. Так, на высоте около 1000 километров наклон орбиты равен 99 градусам.

Спутниковые снимки производятся с использованием различных методов. А поделить их можно на следующие виды по характеру покрытия поверхности Земли. Самый часто используемый в художественных целях – это одинарный или же выборочный, при его выборе съемка производится ручными специализированными фотоаппаратами непосредственно самими космонавтами; минусом такого способа можно считать то, что получаемые фотографии довольно перспективны, с очень большими углами наклона, практически пологими. Второй способ – это маршрутный, в данном случае съемка относительно узкой полосы поверхности Земли, которая осуществляется по траектории полета космического аппарата. Ширина исследуемой полосы

напрямую зависит от удаления спутника от Земли и ширины поля съемки аппарата. Следующий способ – это так называемая прицельная съемка, она используется для отображения конкретных зон, которые не попадают под траекторию полета космического аппарата. Третий и последний метод выполнения съемки называется глобальный, в данном случае исследование производится со спутников, находящихся на геосинхронных, либо полюсных орбитах. Число спутников необходимых для съемки в зоне экватора приблизительно равняется пяти единицам, только в таком случае мы получим бесшовные обзорные снимки поверхности Земли в мелком масштабе, помимо, конечно же, полюсов [14]

Аэрофотоснимок представляет собой плоское отображение объектов на поверхности Земли, которые получают при помощи различных способов, их всего три, это геометрический, радиометрический и фотометрический способ. Используют его для изучения видимых и недоступных объектов или явлений и процессов, так же для определения положения, в том числе и координат, какого-либо объекта. Спутниковый снимок не отличается геометрическими особенностями от аэрофотосъемки, но имеет ряд недостатков, связанных с высотой проведения исследования и огромной скоростью, с которой перемещается спутник. Поскольку любой искусственный спутник Земли движется в несколько раз быстрее самолета, то при съемке он требует настройки съемочной аппаратуры на короткую выдержку фотографирования. Качество изображения и разрешения на местности, получаемые напрямую со спутников, на прямую влияет на возможность или наоборот невозможность дешифрирования, которое в свою очередь влияет на качество и скорость проведения картографических работ и создание по этим данным карт. Космические снимки можно поделить на несколько видов, например, по количеству пикселей на дюйм или отношению размеров на местности к размерам на изображении.

Объем и видимость, изображений, получаемых со спутников, дают возможность идентифицировать различные зоны исследования разных рядов

одновременно при этом не менять режим съемки. Возможность подробного исследования благодаря высокому качеству изображения зависит еще и от площади обозреваемой территории, показанной на спутниковом снимке. Самый востребованный и популярный формат космического изображения – 19x19 сантиметров, это дает возможность нам наблюдать все снимки сразу, не перемещая свой взгляд, то есть без пошагового обзора.

Снимки можно поделить по площади охвата территории на глобальные и региональные. Ширина зоны покрытия первых получается более 1000 км, а площадь выходит больше 100 млн км<sup>2</sup>. Следующие, это крупные региональные снимки, охватывающие площади целых континентов, их части, компоненты и основные регионы – снимки производятся в основном со спутников, предназначенных для метеорологических исследований, находятся они на крайне низких относительно среднего высотам, также снимки среднего и низкого качества из баз спутников. Площадь зоны покрытия может варьироваться от 1000 км для изображений с относительно низким разрешением, до полутысячи километров для изображений, имеющих уже более лучшее разрешение с охватом территории уже миллионы квадратных километров. Один снимок данного вида можно отобразить, например, всю Западную Европу, центральную Азию либо почти что всю Австралию. Следующие это региональные космические изображения регионов либо их отдельных административных единиц – это космоснимки, сделанные со специализированных спутников созданных и запущенных намеренно для съемки, либо с использованием управляемых кораблей. Стандартная зона отображения 350x350 км, 180x180 км, 60x60 км. Изображение этого типа позволяет отобразить скромную по размерам страну, например, Молдавия либо большой регион или крупный город как Москва. И в конце, это изображения, которые называются локальными, показывающие маленькую площадь. Космоснимки, снятые специально для гораздо более подробного исследования и фотографирования, размером 11x11 км. Такие фотографии показывают огромные здания, или среднего размера город, однако, для Москвы надо сделать несколько сним-

ков. Интервал масштабов снимков от 1:1000 до 1:100000000, это показывает то, что он не стабилен. Наиболее популярный – это от 1:2000000 до 1:10000000. Все зависит от большого количества условий настроек аппаратуры, таких как высота, на которой проводится фотосъемка, дистанция фокусировки, зуммирование и угол атаки съемочного оборудования, не стоит забывать о таких вроде бы несущественных моментах, которые можно отнести к погрешности как кривизна Земли в изучаемой местности, ведь по итогу этот фактор может повлиять на качество изображения, и оно станет уже не пригодным к дальнейшей обработке.

Пространственное разрешение, то есть получаемое разрешение на местности, определяется размером самого маленького объекта, различимого на космоснимке, и определяется по отношению масштаба изображения к удвоенному разрешению изображения.

Достоверную и качественную дешифровку объектов возможно проводить только при условии крупного масштаба и высокого разрешения снимков. Спутниковые снимки подразделяются по различным уровням, соответствующим генерализации по убыванию, от менее подробных до максимально точных. Первый, это глобальный, далее идет континентальный, региональный, местный и в конце подробный.

Исходя из угла сканирования разрешение может быть изменяемым для сканирующих систем, которые будут проходить вдоль линейных объектов, эта разность может как увеличиваться, так и уменьшаться. Это является причиной, при которой во время расшифровки используется только центральная линия. Чаще всего используется конкретная осевая полоса, которая обязательно должна быть узкой при сравнении ее с общей шириной сканируемой области. Это применимо для систем, которые производят сканирование вдоль конкретной линии. Есть исключения, когда изображение достигает максимального увеличения и тем самым обретает наихудшее свое разрешение. В таких случаях допускается охват нескольких генерализированных уровней [11].



Если необходимо захватить большую часть полушария, то помогут спутниковые снимки глобального уровня. Именно их используют при проведении каких-либо масштабных, охватывающих большие территории исследований.

Такие снимки позволяют производить установку и выявление структурных уникальных черт больших территорий Земли, выявить структурный состав различных горных образований, более подробное уточнение границ литосферного слоя Земли.

Карты масштаба 1: 1000000 и 1: 500000.

Локальный уровень снимков. Спутниковые снимки этого ряда получаются благодаря использованию фотоаппаратов космического экипажа, находящегося на международной космической станции, а также при использовании высококачественных средств съемки, такими как МКФ-6, и с ресурсов искусственного спутника Земли Landsat. Специфика таких снимков – это уточнение геологической составляющей района, также они позволяют использовать их в качестве базы для геологического картографирования. При работе с такими масштабами качество снимков значительно возрастает, так как используются камеры уже более высокого уровня, которые позволяют получать даже 3D-модели. Эти снимки пользуются уже большей популярностью среди организаций, занимающихся кадастром и инвентаризацией, также незаменимы при создании карт среднего и крупного масштаба.

Карты масштаба 1:200000 до 1:100000.

Снимки детального уровня. Эти снимки уже похожи по своим показателям на изображения, получаемые при проведении аэрофотосъемки на максимальной высоте. При фотографировании используются высококачественные камеры с узким углом обзора, на высоте порядка 200 километров. Для космофотогеологических исследований используются детальные снимки, а также аэрофотоснимки.

Масштабный ряд карт: 1: 50000 и 1: 25000.

Все аэрофотоснимки делятся на:

- аналоговые (обычно фотографические);
- цифровые (электронные).

Цифровое изображение. Изображение цифровых снимков создается из отдельных одинаковых элементов-пикселей. Яркость каждого пикселя характеризуется одним числом. Аэрофотоснимок состоит из миллионов пикселей.

На основе материалов космической съемки разрабатываются:

- цифровые изображения участков земной поверхности с разрешением 1 и 2 метра;
- ЦМР;
- ортотрансформированные цифровые изображения (фотоплан);
- топографические карты разного масштаба;
- специальные и тематические карты разного масштаба;
- секторные геоинформационные слои (используются при создании специальных геоинформационных систем);
- тематические обработанные материалы.

Комплекс тематической обработки. Тематическая обработка космической информации позволяет оценить состояние окружающей среды и природных объектов. Многофункциональный комплекс тематической обработки позволяет осуществлять комплексную обработку данных из различных систем. Совместная обработка данных осуществляется с использованием специального программного и алгоритмического обеспечения, разработанного в НЦ ОМЗ.

Характеристики изображения на спутниковых снимках зависят от влияния различных факторов: технических и природных (естественных).

Техническими факторами, влияющими на информативность спутниковых снимков, являются:

- параметры полета (траектория, высота полета, тип орбиты, скорость движения);
- характеристики систем космической съемки (фокусное расстояние аппаратуры, спектральный диапазон, разрешение системы съемки;

- методы обработки материалов.

Природные (естественные) факторы:

- электромагнитное излучение Солнца;
- погодные условия;
- сезон, в который производится съемка;
- ландшафтные и климатические особенности съемок.

Преимущества космической съемки. Полет спутника не испытывает каких-либо вибраций или резких колебаний извне, поэтому спутниковые снимки могут быть получены с более высоким разрешением и высоким качеством изображения, лучшим чем аэрофотоснимки. Изображения могут быть оцифрованы для дальнейшей обработки компьютером.

К недостаткам спутниковых снимков можно отнести то, что информация, получаемая в процессе съемки недоступна для обработки без предварительных преобразований. Помимо этого, во время пространственной фотосъемки точки смещаются (под влиянием кривизны Земли), их толщина по краям изображения достигает 1,5 мм. Также недостатком космосъемки на аналоговые носители является ее неоперативность, так как контейнер с пленкой возможно отправить на Землю не чаще одного раза в несколько недель. Поэтому фотографические спутниковые снимки редко используются в оперативных целях, но являются качественной информацией при длительном использовании.

К недостаткам способа можно отнести:

- трудность обеспечения частого регулярного мониторинга объектов с периодичностью более 1-2 часов, особенно для низкоширотных районов, расположенных южнее  $30-40^{\circ}$  с. ш., тяжелое детальное и высокодетальное наблюдение, когда на орбите работают 1-2 космических аппарата невозможно добиться периодичности лучше 6-12 часов;
- облачность – это большая проблема для оптоэлектронной фотографии, так как период повторных посещений одного и того же объекта наблюдения одним и тем же космическим аппаратом – от 3 суток и более;

– сложность модернизации систем: как правило, запущенные космические корабли не обслуживаются, а новые образцы датчиков могут работать только с новыми запускаемыми аппаратами;

– в космических условиях трудно реализовать размещение определенных типов чувствительных приборов, работающих в интересном диапазоне электромагнитного спектра (например, РСА с длиной волны не менее 1-2 м для подповерхностного зондирования);

– при выполнении требований часто наблюдается недостаточная эффективность из-за строгой зависимости времени прибытия космического аппарата на разведку и баллистических параметров рабочей орбиты. Для большинства домашних систем средний срок доставки изображения после заказа составляет 7 дней. Для некоторых облачных или дождливых районов этот период может быть продлен до месяца;

– съемка маршрута возможна в основном в направлениях, отмеченных баллистиками. Учитывая преобладание полярных спутниковых орбит, приоритетнее получать изображения с севера на юг, чем с востока на запад;

– высокая стоимость создания и развертывания КС связана со сложностью космической техники и необходимостью запуска дорогостоящих РН для выхода на рабочую орбиту космического аппарата.

### 3 Технологии и методики получения 3D-модели города

#### 3.1 Аэрофотосъемка, съемочное оборудование

Аэрофотосъемка – это комплекс работ по получению и разработке топографических карт, планов и цифровых моделей местности с использованием материалов, полученных при помощи съемки местности с самолета или из космоса. Аэрофотосъемка является одним из основных видов геодезических работ, что позволяет резко повысить производительность труда в полевых условиях, перенеся основной объем работ по получению информации о местоположении в камеральную среду с использованием средств автоматизации и компьютерных технологий. Также аэрофотосъёмка включает в себя комплекс специальных воздушных, наземных, полевых и лабораторных работ по получению различного рода информации, необходимой для разработки топографических проектов [3]. Аэрофотосъемка является одной из самых ранних форм дистанционного зондирования и до сих пор является одним из наиболее широко используемых и экономически эффективных методов дистанционного зондирования. До разработки многоспектральных датчиков и компьютеров люди использовали традиционную фотографию для съемки аэрофотоснимков. С момента своего создания аэрофотосъемка перешла от воздушных шаров и воздушных змеев к самолетам, спутникам и теперь беспилотным авиационным системам (БАС). Хотя качество, разрешение и платформы изменились, аэрофотосъемка все еще является краеугольным камнем дистанционного зондирования и становится дешевле и доступнее, чем когда-либо. Аэрофотосъемка полезна как для регионального анализа, так и для оценки конкретных мест. Это может также обеспечить историческую перспективу, которая позволяет нам просматривать изменения в ландшафтах с течением времени.

Аэрофотосъемка проводится в 3 этапа:

– подготовительный – сбор и первоначальная обработка материалов, полученных после предыдущего проведения мероприятий по аэрофотосъемке и топокарты прошлых лет с целью обоснования объема работ и подготовки ППРС полевой и служебной аэрофотограмметрии;

– полевой – геодезические работы на местности и полевая дешифровка местности, создание средств воздушной разведки планово-высотного обоснования; определение и маркировка опознавательных знаков; аэрофотосъемочной работы; привязка и расшифровка аэрофотосъемки;

– камеральный (его же можно назвать офисный) – обработка и вычисление геоданных; подготовка картографических топопланов масштабов 1:500 – 1:2000 и ЦММ.

При использовании персональных компьютеров либо специализированной техники стереографической обработки изображений и специализированного программного обеспечения, позволяющего работать с электронными данными полученными после аэрофотосъёмки, аэрогеодезическая обработка заключается в преобразовании изображений земной поверхности для представления топопланов и ЦММ в одной системе координат [13].

Основные виды и характеристики аэрофотосъемки можно достаточно кратко и без пояснений наглядно продемонстрировать в таблице 1.

Таблица 1 – Виды аэрофотосъемки [13]

1) По высоте летательного аппарата		
Космическая – до 200 км	Аэрофотосъемка – до 2 км	Крупномасштабная аэрофотосъемка – до 200м
2) По положению оси аэрофотоаппарата		
Плановая аэрофотосъемка	Перспективная аэрофотосъемка	
3) По конструкции аэрофотоаппарата		
Кадровая съемка	Щелевая съемка	Панорамная аэрофотосъемка

Таблица 1 (продолжение)

4) По носителям информации		
Фотопленка	Электронные носители	
5) По зонам спектра электромагнитной волны		
Черно-белая съемка	Цветная съемка	Спектрзональная съемка
Многозональная съемка	Инфракрасная съемка	Радиолокационная съемка
6) По способу организации работ		
Маршрутная аэрофотосъемка	Площадная аэрофо- тосъемка	Комбинированная аэрофотосъемка

Leica RCD 30 – это единственная в своем роде камера среднего размера мультиспектрального типа, которая обеспечивает огромную производительность для выполнения различных задач дистанционного зондирования земли, так же камера имеет функцию установки ее помимо самолетов и вертолетов на беспилотные летательные аппараты и совмещение с ЛИДАРом, а также является самой производительной в области лазерного сканирования каких либо вытянутых объектов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Leica RCD 30 Penta

#### Особенности камеры RCD 30:

- возможность сбора данных мультиспектрального типа с разрешением в 80 мегапикселей;
- инновационные системы стабилизации и гашения смазывания по двум осям и гашения вибраций позволяют достигать высочайшего качества;
- прочная конструкция, обеспечивающая хорошую защиту линз, но предусмотрена их быстрая замена при помощи крепления типа байонет;
- полная возможность совмещения с другими продуктами компании Leica.

Также сканер рассчитан на установку датчиков от сторонних производителей, повышающих универсальность получающейся системы, помимо этого на борту есть поддержка программного обеспечения, позволяющего производить расчет и прокладку траектории полета и сканирования. Также уникальные в своем роде технические решения позволяют установку на специализированный беспилотный летательный аппарат Dragon 50V2 которые обеспечивают рассчитанную с техническим запасом грузоподъемности, вре-



мени полета и характеристиками стабильности и удержания курса полета приближенным к полноразмерным летательным аппаратам. Помимо этого, компания и инженеры позаботились о безопасности и удобстве его эксплуатации управляющим.

RCD30 также используется в качестве решения для расширенной установки: RCD30 наклонная модель в версии Trio или Penta (корпус содержит 3 или 5 модулей, один из которых снимается в надире, остальные находятся под капотом). Благодаря небольшому весу (головка камеры с объективом весит не более 4,5 кг), RCD30 может устанавливаться на БПЛА. В этом отношении компания Hexagon сотрудничает со швейцарской компанией Swisssdrones, производителем беспилотных систем [15].

3-DAS-1 это трехлинейный сканер очень высокого разрешения с тремя цветовыми каналами (рисунок 2).



Рисунок 2 – 3-DAS-1

В данном устройстве используется полностью цифровая фотограмметрическая технология без необходимости проявки пленки или сканирования фильмов. Непрерывное бесшовное изображение всего маршрута с постоянным и стабильным тройным перекрытием. Три датчика RGB KODAK обеспечивают кристально чистое 42-битное изображение без малейшего изъяна. Просмотр изображения, которое снимается в данный момент, происходит в момент полета что позволяет производить коррекцию экспозиции без каких-либо проблем подстраиваясь под ситуацию. Сжатие файла в реальном времени без потерь обеспечивает 48 часов съемки без смены носителями. Гибкая технология стереосоставления с возможностью выбора стереопар снимков с углами сходимости  $16^\circ$ ,  $26^\circ$  или  $42^\circ$  [5]. Мультиспектральное оборудование, которое может быть использовано для зондирования земной поверхности и получения точных цифровых изображений, предполагает разработку дистанционных фотоэлектронно-электронных систем нового поколения [1].

Назначение бортового сканера. Бортовой цифровой сканер 3 das-1 используется для получения высокоточных воздушных снимков и создает общую картину местности с использованием трех каналов. Один снимает местность непосредственно под плоскостью самолета и используется для автоматизированного создания изображения земной поверхности. Передний и задний каналы захватывают поверхность под углами  $16^\circ$  и  $26^\circ$  в направлении полета, тем самым получается тройное стереоскопическое изображение захваченной области. Сканер функционирует на высоте от 550 до 4400 м в температурном диапазоне от  $5^\circ\text{C}$  до  $45^\circ\text{C}$ . Широкая полоса съемки от 360 до 2880 м при частоте сканирования 250-750 Гц позволяет создавать аэрофотоснимки с высочайшей точностью. Фокусное расстояние линз составляет 110 мм. Рассмотрим основные преимущества сканера. Бортовой сканер 3 das-1 обладает высоким уровнем эксплуатационной эффективности и оперативности. Итогом сканирования этим аппаратом является непрерывное 42-х битное цветное изображение вдоль маршрута самолета, имеющее тройное перекры-

тие. Технология стереосоставления позволяет выбирать оптимальные стереопары из изображений с различными углами сходимости.

Цифровая камера для аэрофотосъемки с мощным программным обеспечением дает возможность для множества вариантов планирования полетов и прокладки маршрутов. Специалист, который делает снимки, может при необходимости сделать дополнительные настройки для нужных параметров. Программное обеспечение позволяет создавать и обрабатывать 16/8-битные изображения различного размера, выполнять калибровку камеры и последующую обработку для коррекции изображения на основе бортовых данных GPS/IMU. Цифровые модели рельефа местности для ортофотографии создаются в автоматическом или полуавтоматическом режиме, а бесшовные мозаичные ортофотографии – с автоматической цветокоррекцией.

Устройство 3 DAS-1 отличается своими компактными размерами и высочайшими техническими свойствами, которые позволяют просматривать захваченный объект непосредственно во время полета и при необходимости корректировать параметры захвата. Система состоит из сканирующего модуля, управляющего компьютера, стабилизирующей платформы, которая сглаживает углы наклона и разворота самолета, удерживает камеру в горизонтальном наклоне инерциального навигатора и планшета, который размещается в кабине и позволяет контролировать сам курс и любые отклонения [17].

### 3.2 Виды лазерного сканирования

Краткое пояснение по видам лазерного сканирования, применяемого в различных областях и конкретные примеры исследуемых объектов, можно разобрать в таблице 2.

Таблица 2 – Области применения лазерного сканирования [7]

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ	ВЛС	МЛС	НЛС
Железнодорожные магистрали	Инженерно-геодезические изыскания в целях проектирования новых либо реконструкции существующих железнодорожных магистралей, объектов инфраструктуры	Инженерно-геодезические изыскания в целях проектирования и реконструкции существующих железнодорожных магистралей	Съемка инженерных сооружений Создание трехмерных моделей и чертежей
Транспортная инфраструктура	Инженерно-геодезические изыскания в целях проектирования новых либо реконструкции существующих автодорог	Мониторинг состояния дорожного покрытия. Инвентаризация объектов дорожной инфраструктуры	
Топливный комплекс	Отслеживание состояния трубопроводов. Создание картографических основ для различных кадастровых работ	Инженерно-геодезические изыскания в целях проектирования, мониторинга существующих магистральных трубопроводов	Съемка площадных объектов топливной инфраструктуры
Энергетический комплекс	Отслеживание существующих ЛЭП с целью оценки состояния опор, роста растительности, прогноз финансовых расходов на расчистку просек	Инженерно-геодезические изыскания в целях проектирования и реконструкции, существующих ЛЭП и подстанций	Разработка и обновление технической документации. 3D-сканирование и моделирование объектов инфраструктуры
Добывающая промышленность	Оценка плотности и мощности раскапываемых пород при разработке карьеров	Маркшейдерия открытых горных выработок	Маркшейдерия открытых и закрытых горных выработок
Управление по природным ресурсам	Создание картографических основ и ортофотопланов с целью отслеживания состояния, учета, а также оценки состояния лесных ресурсов		

Таблица 2 (продолжение)

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ	ВЛС	МЛС	НЛС
Управление по городским ресурсам	Отслеживание утечек тепла, загрязнений. Инвентаризация объектов коммунального хозяйства.	Инвентаризация объектов уличной городской сети	Подробная съемка сложных объектов для целей строительства либо реконструкции
Интернет и ИТ-технологии.	Создание картографических продуктов для web-приложений (google-map, yandex-карт). Создание ГИС систем, 3D-визуализация городов		3D-моделирование архитектурных объектов и городских объектов
Предотвращение ЧС	Отслеживание распространения лесных пожаров и ареалов распространения торфяников		
Кадастр	Проведения кадастровых работ		

Это один из самых технологичных и современных видов съемки, который позволяет получать информацию о местности. За последние десять лет в связи с непрекращающимся развитием этого вида, данные, полученные путем лазерного сканирования, постоянно выступают основой при проектировании новых объектов, а также их часто используют для выявления динамики природных явлений, либо мониторинге объектов инфраструктуры. Лазерное сканирование применяется в дорожной промышленности, строительстве, нефтегазовой промышленности архитектуре, электроэнергетике и других областях производства и науки.

К сути лазерного сканирования можно отнести его особенность получения данных. Это происходит путем закрепления лазерного дальномера на каком-либо летательном аппарате или возможно автомобиле. При движении данных носителей аппарат производит измерение времени, за которое происходит переотражение излучаемого им лазерного импульса. Именно так он определяет расстояние между собой и исследуемым им объектом. Частота

испускаемых импульсов достигает количества одного миллиона в секунду. После произведений данных замеров и получения информации о точном местоположении этих объектов вычисляются географические координаты абсолютно любой хаотично выбранной точки. Помимо самого лазерного сканера, полезная нагрузка также состоит из высококачественного блока GPS INS (Глобальная система позиционирования. Инерциальная навигационная система) для расчета точного положения и положения лазерного сканера в то время, когда лазерный луч измеряет расстояние до Земли. И сама ИНС состоит из акселерометров и гироскопов, объединенных в БИИ (блок инерциальных измерений), который должен быть плотно связан с лазерным сканером.

Несмотря на то, что приборы в основном используют один, общую методику сканирования и схожий конструкционный принцип, для практически каждого вида сканирования есть свои различные сканирующие модули. При одновременном использовании дополнительных блоков от стандартной аэрофотосъемки, позволяет применять их в самых широких областях применения [19].

Метод, с помощью которого будет производиться лазерное сканирование, напрямую зависит от поставленных задач, их сложности, а также конфигурации объекта:

- при сканировании объектов малой площади, где необходима миллиметровая точность, используют в основном метод наземного лазерного сканирования;
- при сканировании уже достаточно крупных объектов площадью от 1000 га, либо имеющих вытянутую форму, например, лесопосадки, предпочтительнее использовать метод воздушного сканирования, а также для длинных коридоров удобно использовать воздушное лазерное сканирование;
- мобильное лазерное сканирование используется обычно для линейно вытянутых объектов, к ним можно отнести все виды дорог и трубопроводов. В таких случаях съемка будет производиться, исходя из параметров зоны ис-

следования: площади, видимых характеристик территорий и бедующей точности получаемых данных.

Сокращение времени и стоимости на полевые работы можно достигнуть лишь только внедрением новых технологий для проведения геодезических работ. Предельно точно соответствует вышеуказанному требованию.

Также популярность лазерного сканирования обусловлена наличием большого количества преимуществ:

- высокоскоростная съемка, которая возможна даже при сканировании очень труднодоступных зон, при использовании различных видов сканеров и при постановлении определенного рода задач величина скорости съемки либо увеличивается в несколько раз, либо уменьшается;

- получение наиболее точных информативных и подробных данных и извлечение необходимой информации из такого рода данных есть возможность извлечь не только параметры, характеризующие размер исследуемого объекта, но также узнать характер его поверхности;

- стоимость – благодаря коротким срокам выполнения работ, и не изменяющейся достоверности данных финансовые затраты минимизированы относительно традиционных способов съемки;

- отсутствие рисков;

- используя метод, который, исключая отражение, убирает необходимость присутствия специалиста на территории проведения съемки. Именно это дает гарантию отсутствия риска для жизни человека, так как он попросту не нужен в местах, подвергающих его опасности;

- снижение количества трудозатрат. Подобная работа может быть выполнена небольшим количеством человек – их может быть всего четыре, но это никак не повлияет на сроки выполнения работы.

Благодаря наличию современных технологий, обеспечивающих автоматизацию обработки полученных данных, именно цифровой формат обеспечивает нам полную автоматизированность в процессе их детальной обработки, а также позволяет минимизировать какое-либо влияние способное из-

менить результат. На данный момент времени лазерное сканирование, объединенное с цифровой аэрофотосъемкой, является самым быстрым результативным методом, применяемым для особо длинных объектов, ведь именно при большой площади съемок стоимость ВЛС выходит дешевле.

Например, использование воздушного лазерного сканирования позволяет снимать до  $140 \text{ км}^2$  в час при плотности до 6 точек отражения на  $1 \text{ м}^2$ , что позволяет значительно выиграть во времени проведения исследования и экономии средств заказчика [2].

Воздушное лазерное сканирование эффективно и успешно применяется при работе с длинномерными объектами, такими как нефтепроводы и газопроводы, линии электропередач, при съемке значительных площадных объектов, при съемке лесных массивов, получают действительный точный рельеф земли, даже несмотря на то, что листва деревьев перекрывают видимость земли. Кроме того, ВЛС дает возможность снимать такие участки, которые крайне труднодоступны. Это относится, например, к районам с высокой заснеженностью, лесистым и водно-болотным районам, тундрам, пустыням и отдаленным горным районам.

Мобильное лазерное сканирование выполняется для того, чтобы выявить актуальное состояние автодорог, а также железнодорожных путей, произвести оценку сохранности тоннелей, используется мобильное лазерное сканирование. Благодаря использованию абсолютно безвредных для глаз лазеров, а также учитывая их точность и скорость при взаимодействии со сканирующими дисками, имеющими широкие поля обзора, позволяют получать много точных геоданных, даже при плохих погодных условиях и в ночное время качество данных остается стабильным. Если для захвата большой площади какого-либо населенного пункта тахеометрами могут потребоваться недели или даже месяца, то при использовании мобильного лазерного сканирования на это потратится всего лишь несколько часов. Даже при такой скорости съемки, получаемое качество данных не уступает традиционным методам. Преимущества мобильного лазерного сканирования:



- крайне быстрое приведение системы в режим готовности к сканированию на различных транспортных средствах;
- достигается очень высокая плотность точек, несмотря на скорость движения;
- процесс обработки данных достаточно экономичен;
- процесс съемки дорог и дорожной инфраструктуры крайне быстрый и безопасный;
- показатели относительной точности варьируются в пределах десяти миллиметров.

Наземное лазерное сканирование применяется для выполнения работы, когда нужно максимально точно изучить объект изнутри во всех его внутренних частях. Также этот способ применим если необходимо полное обследование инженерной конструкции здания. НЛС имеет следующие отличительные преимущества:

- самая большая детализированность отражений;
- осуществление полностью автоматизированного и скоростного сбора данных;
- наличие точности данных, достигающей значения в 1 мм;
- доступность сканирования в замкнутых пространствах.

Удивительно, но данный метод можно эффективно использовать даже если необходимо произвести съемку трубопровода. Сочетание всех видов сканирования дает возможность вобрать в проект только все плюсы от каждого метода, исключая специализированные недостатки.

Результаты после проведения работ с лазерным сканированием.

Облака точек – это главный продукт, который можно получить при помощи осуществления лазерного сканирования. Эти данные дают нам возможность:

- сделать вывод о геометрических особенностях местности, а также выявить особенности объектов, определить расстояние между ними и узнать их размерные данные;

- произвести создание сечений и построение разрезов рельефа для распознавания объектов местности;
- выполнить работы, помогающие определить актуально состояние объектов и рельефа местности, на которой они находятся.

Полученные данные можно использовать в качестве подложки для будущих карт.

К плюсам такой продукции можно отнести необычайно высокую производительность и достоверность данных. Подобное оказание услуг будет пользоваться большим спросом у организаций, которые имеют профессиональные кадры с достаточными знаниями, которые помогут им осуществить обработку полученного облака точек. Так, точность 5 см на пиксель является окончательным разрешением для подобной цифровой ортофотосъемки. Если имеется необходимость различной оценки, которую возможно осуществить посредством визуального осмотра или путем слежения за развитием процессов, то мы с полной уверенностью можем во всех других случаях использовать цифровые ортофотографии. Топопланы, карты и профили, имеющие различный масштаб в промежутке от 1:200 до 1:10000 могут быть созданы на основе лазерного сканирования в зависимости от необходимой точности с использованием разных методов сканирования.

В современном мире 3D-модели являются одними из самых популярных картографических продуктов. И все же они являются конечным продуктом, производимым из данных лазерного сканирования, благодаря отражениям точек, находящихся в облаках данных, мы можем узнать необходимые нам размеры и формы объектов, необходимые для создания 3D-моделей. Также лазерное сканирование имеет большой успех и распространение в создании моделей городских кварталов, различных сооружений как промышленных, так и архитектурных.

Также классические двумерные чертежи и разрезы создаются на основе данных сканирования (мобильного и наземного). При работе со значитель-

ными объемами площадей и сложной конфигурацией объектов лазерное сканирование позволяет значительно упростить процесс работы [7].

#### 4 Программное обеспечение для 3D-моделирования

Расширенные функции трехмерного моделирования MicroStation дают возможность профессионалам любой специализации внедрять собственные BIM-модели. MicroStation предоставляет возможность сотрудничества между проектными командами, в том числе работать над проектами и моделями, созданными с использованием Bim-приложений Bentley. В результате мы имеем возможность создавать сложные и при этом универсальные BIM-модели, также создавать проектную документацию. Так как проектная группа сотрудников работает в унифицированном приложении для моделирования, то они имеют очень удобную возможность общаться и осуществлять обмен данными с полученными ими результатами. При этом им абсолютно не стоит переживать за их сохранность благодаря их легкому обмену между пользователями [6].

MicroStation и другие компоненты программы Bentley BIM построены на единой платформе моделирования. Благодаря этому даже специалисты различных направлений могут проводить работу и легко преобразовывать процессы из абсолютно несвязных между собой программных обеспечений, ведь Bentley Bim Design позаботилась об этом. Данный программный комплекс способен легко и быстро привести их к необходимому виду. Это позволяет сотрудникам выполнять порученные им задачи на удобных для них ПО, не теряя время на переобучение.

Microstation дает гарантию, что способен выполнить такие функции как:

- полная автоматизация уже имеющихся и постоянно поступающих данных, новой проектной документации. Это она осуществляет при помощи системы BIM. Возможно совместное использование документов, входящих в проект, в том числе графики и чертежи;

- построение моделированной реальности, которое возможно осуществить при помощи всей имеющийся информации о месте и его визуальном

отображении. Могут использоваться изображения, карты местности, ГИС данные;

- гео-координация, которая контролирует осуществление организации и создание проекта в точном и нужном географическом контексте (для BIM моделей);

- функциональность. При наличии ограничений, выявляющихся при построении двух- и трехмерных моделей, всегда есть возможность обратиться к 3D-проектированию, а также благодаря ему осуществить выборку нужной информации для осуществления проекта [10].

Каждая версия MicroStation имеет свою собственную версию TerraScan (это также верно для других программ от Terrasolid), т. е. у нас есть три платформы на сегодняшний день:

1. MicroStation V8;
2. MicroStation V8i;
3. MicroStation Connect Edition.

Также стоит отметить, что для MicroStation V8 и MicroStation V8i доступны в версии 32-битной TerraScan, но для MicroStation Connect Edition мы имеем только 64-битную версию (о различиях между 32-битной и 64-битной версиями мы поговорим позже).

Но помимо деления по платформам, есть еще и деление по имеющимся функциям:

- TerraScan – фактически полная версия;
- TerraScan Lite – это урезанная версия (потому что она дешевле полной версии), но если нам не нужны специальные функции полной версии TerraScan, то урезанной версии может быть более чем достаточно.

TerraScan – это базовый модуль семейства программных продуктов Terrasolid. Предназначен для визуализации и обработки трехмерных лазерных отражений в автоматическом и ручном режимах. Широкий спектр инструментов TerraScan позволяет работать не только непосредственно с обла-

ками точек, но и с сопутствующей информацией, полученной в процессе захвата GPS, интенсивностью, отражением истории, траекторией и т. д. [4].

Для оптимизации работы с большим количеством лазерных данных они организованы в проекты, состоящие из географических блоков. Многие автоматические процедуры TerraScan могут быть использованы на проекте в целом. Алгоритмы обработки могут быть объединены в макросы, состоящие из многих последовательных этапов автоматического применения процедур, описанных в макросе, для всего набора данных проекта. Большинство алгоритмов TerraScan, включенных пользователем в макрос, могут быть выполнены вне CAD-среды Bentley Systems с использованием встроенного механизма TerraSlave. Это ускоряет обработку и позволяет продолжать интерактивную работу с проектом, пока макрос активен [8].

Различные алгоритмы автоматической классификации позволяют фильтровать точечные облака на основе их геометрической и атрибутивной информации, выделяя лазерные отражения от определенных типов объектов, таких как, например, земная поверхность, здания, провода воздушных ЛЭП и др. Результаты фильтрации могут быть скорректированы с помощью полуавтоматических и ручных инструментов классификации с использованием различных методов и настроек визуализации данных.

Кроме того, используя TerraScan, лазерные данные готовы к дальнейшему использованию в других программных продуктах, таких как построение рельефа и моделей местности (TerraModeler), калибровка/позиционирование лазерных данных (TerraMatch), расчет и орторекодирование изображений (TerraPhoto) [16].

Если рассматривать вопрос о привязке к местности, то здесь возникают аналогичные проблемы с взаимодействием 2D и 3D. В этом случае соединение двух и трехмерных систем координат является крайне сложным. Из-за этого было практически невозможно перенести картографируемые данные на сферические координаты Земли. Но теперь это возможно. Для этого необходимо произвести выделение нужного участка Земли и осуществить перевод

его параметров в систему координат карты. В начале картографии люди соглашались не создавать сферические карты. Вместо этого карты будут нарисованы на бумаге. Для этого выделяется сектор Земли и переводятся его параметры в систему координат карты.

В настоящее время бумажные носители можно заменить и даже нужно трехмерным проектным файлом, но есть вероятность, что координатная система будет отличаться от той, в которой происходила разработка продукта. В декартовой системе координат процесс смены системы крайне проблематичен. То есть в ситуации, когда мне передают проект, созданный для обработки созданный в одной системе координат, я не могу нормально работать с ним так как у меня другая система координат. Но для решения этой проблемы можно использовать MicroStation V8i, допустим, у нас есть карта всех субъектов Российской Федерации, так как Россия достаточно большая страна, то карта каждого отдельного субъекта страны имеет свою проекцию, и если попробовать соединить все субъекты, то они не составят единого целого. Для решения этой проблемы нужно создать одну систему координат в общем файле, запустив модуль ГИС и MicroStation V8i, достаточно знать первоначальную проекцию и тогда все детали объединятся и построятся автоматически.

Однако никто из нас не занимается крупномасштабными проектами на государственном уровне. В большинстве случаев работа проходит с простыми задачами, такими как постройка стадиона или мегаполис. При этом обычно появляются стандартные трудности, связанные с тем, что информация получена из разных источников, таких как спутниковые изображения, которые имеют свою собственную систему координат, которая соответствует системе координат рабочего проекта. Необходимая связка данных между собой благодаря V8i выполняется как базовая автоматическая процедура.

При связке уже готового цифрового макета здания необходимо, чтобы и здание, и карта имели одинаковую координатную систему. Только в этом

случае мы получим проект здания в нужном месте и будем удовлетворены результатом.

Используя простые методы, мы можем шаг за шагом получить географические координаты нашей стройплощадки или города и вставить их в файл проекта.

Также получение данных можно осуществить при помощи GPS приемника, благодаря этому здания смогут получить абсолютно все имеющиеся данные GIS. Если осуществить их связь в виде ссылки, то можно получить модель в нужном месте, при правильном указании координатной системы.

Становится более удобным, когда все сохраняется в одном проекте.

На данный момент Google Earth является самым удобным для воплощения в жизнь подобных проектов. Это возможно благодаря его постоянной привязке к одной и той же системе координат.

DELTA – инновационная технология, которая до пятидесяти четырёх раз увеличивает скорость передачи данных, что позволит этому продукту выйти на новый уровень.

Эти существенные улучшения помогут повысить эффективность взаимодействия между офисами, а также обеспечат гораздо более быстрый доступ для клиентов и консультантов.

Также технология V8I, которая уже увеличивает скорость работы и дает непревзойденное преимущество перед другими, осуществляющими поиск и нахождение верных файлов и проектов, начинает использовать проводник проекта, а также обеспечивать взаимодействие между моделями посредством чертежей и справочной системы. У нас есть много способов найти информацию о дизайне, включая динамические и сохраненные представления. Кроме того, V8i позволяет нам без проблем работать с файлами \*.dgn и \*.dwg [12].



## 5 Практический опыт создания модели

Для создания 3D-модели было выбрано программное обеспечение MicroStation с расширением Terrascan (tscan.ma). За основу были взяты результаты воздушного лазерного сканирования центра города, улицы Красной от ул. Бабушкина до ул. Офицерской (рисунок 3).

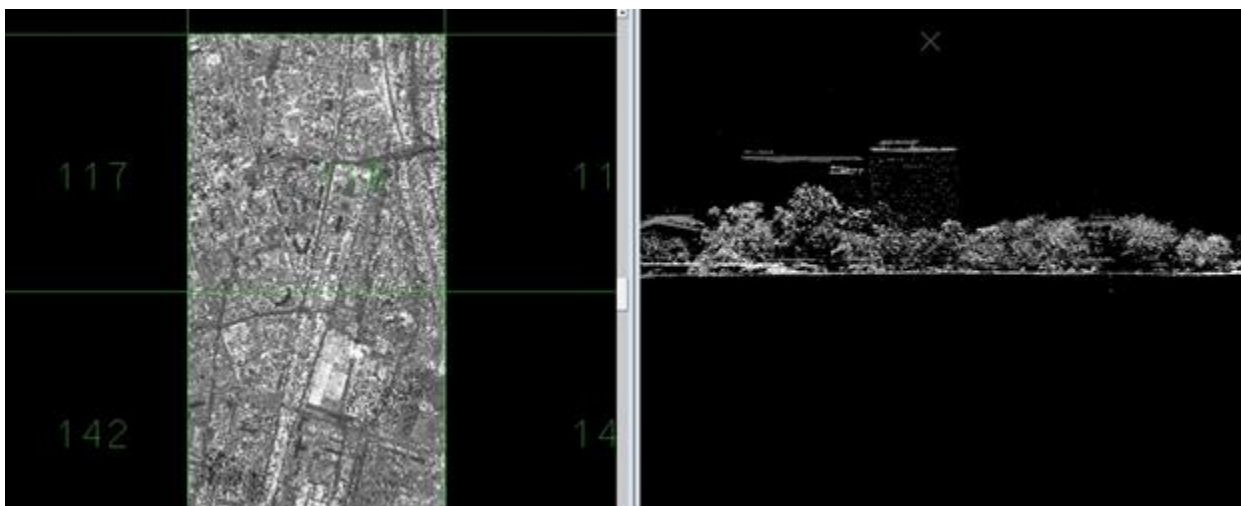


Рисунок 3 – Облака точек лазерного сканирования

Первым этапом в работе по созданию трехмерной модели было проведение автоматической классификации и выделение из общего облака точек класса Ground, Medium vegetation и High vegetation, а также класса Buildings, что в дальнейшем позволит получить более подробную и точную трехмерную модель (рисунок 4). Также была проведена проверка результата автоматической классификации, чтобы убедиться в корректности и отсутствии ошибок в дальнейшем (рисунок 5).

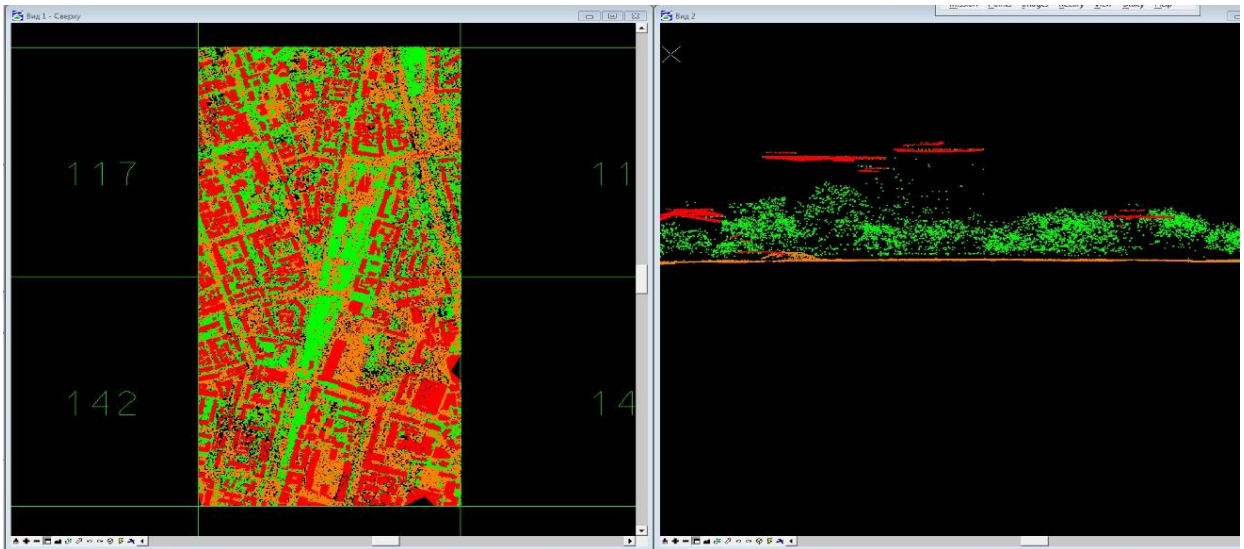


Рисунок 4 – Вид, на котором отчетливо видны все классы

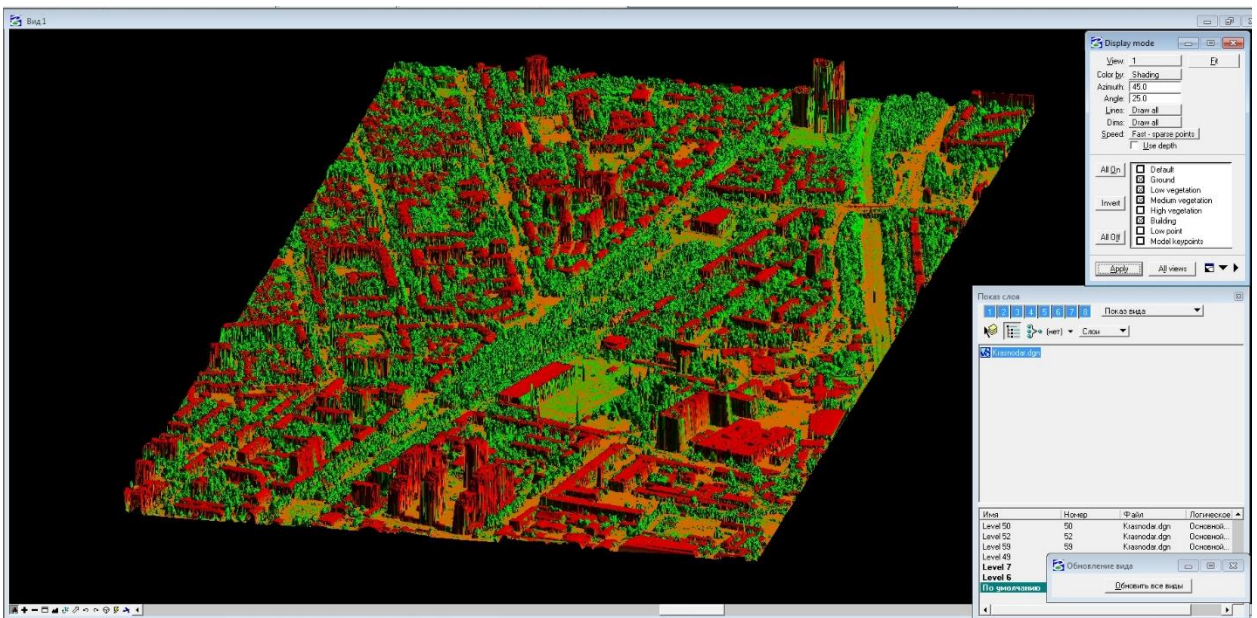


Рисунок 5 – Проверка классификации

На следующем этапе работы осуществлялось редактирование точек с их последующим распределением по правильным классам. Так, в данном случае, необходимо точки, относящиеся к зданиям, перенести в класс растительности и наоборот. Даже несмотря на проведение автоматической классификации, сохранились некоторые облака точек, находящихся в явно неверном классе, так, например, целые жилые комплексы находились в классе High vegetation (рисунок 6, 7).

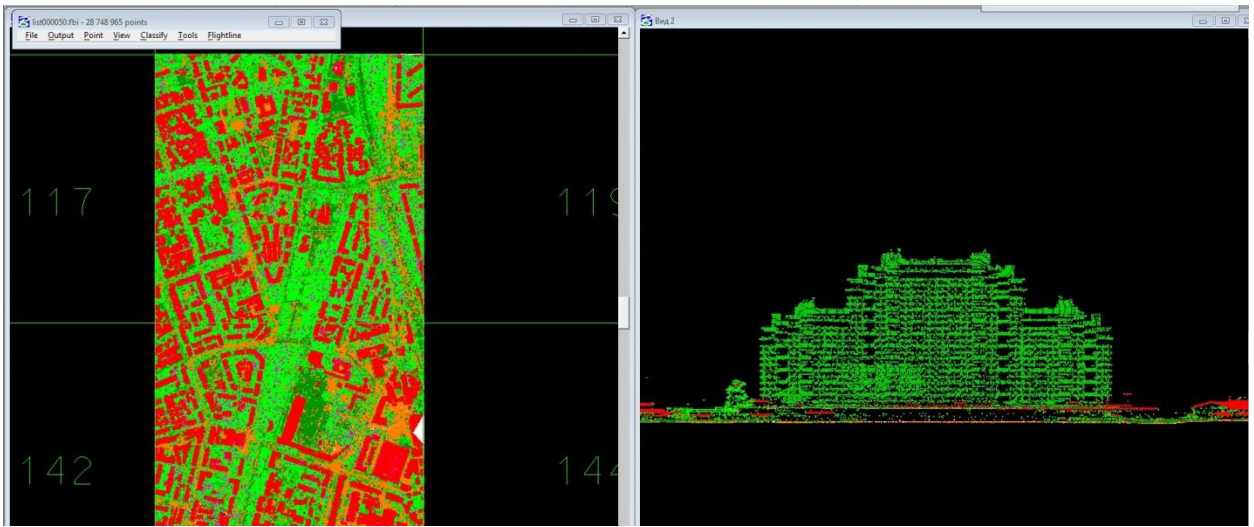


Рисунок 6 – Пример неверной классификации

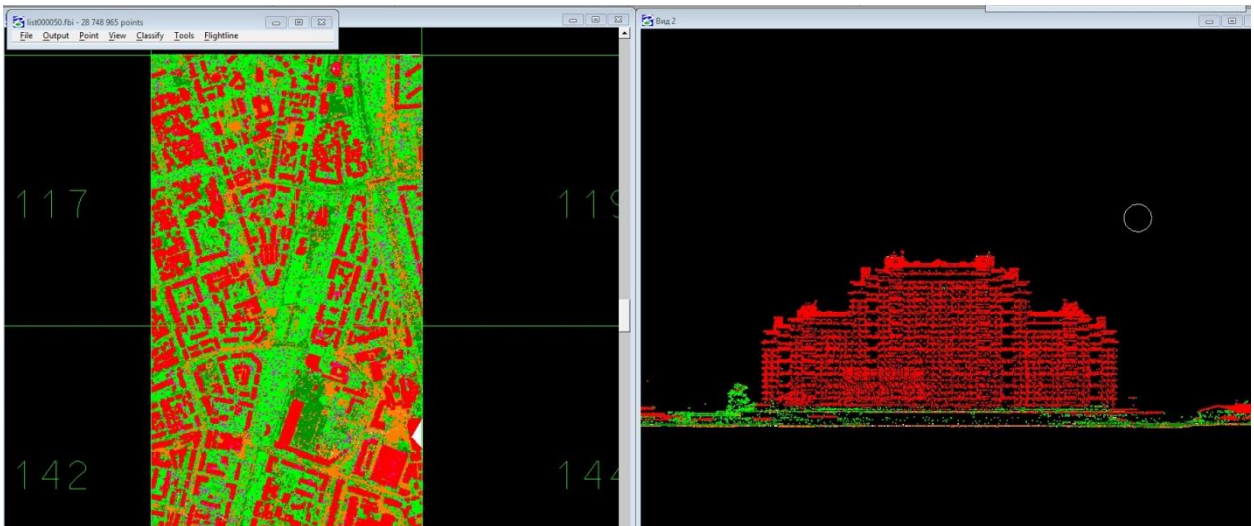


Рисунок 7 – Перенесенное облако точек в верный класс

Третьим этапом можно выделить процесс ручной корректировки, без которой, к сожалению, не обойтись. Для просмотра корректности выделения зданий была произведена их светотеневая модель (рисунок 8).

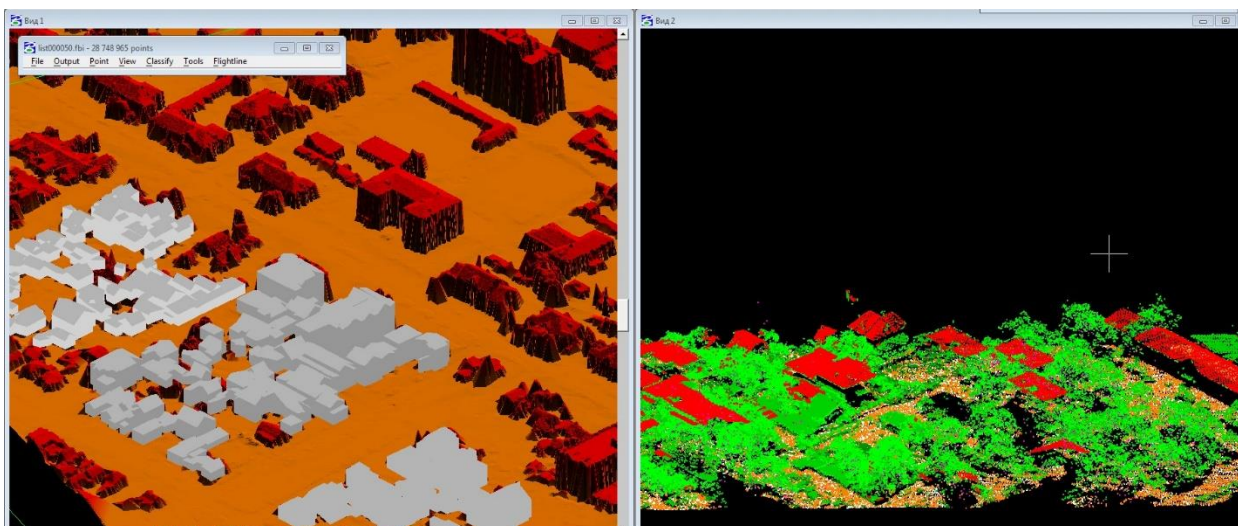


Рисунок 8 – Светотеневая модель

После более тщательного осмотра получившийся модели были найдены небольшие изъяны. Проведя окончательную небольшую корректировку облака точек, можно приступить к созданию полной 3D-модели города (рисунок 9, 10). Построение непосредственно трехмерных моделей зданий происходило при помощи инструмента *vectorize buildings*, после его применения программа начала расчет и создание моделей.

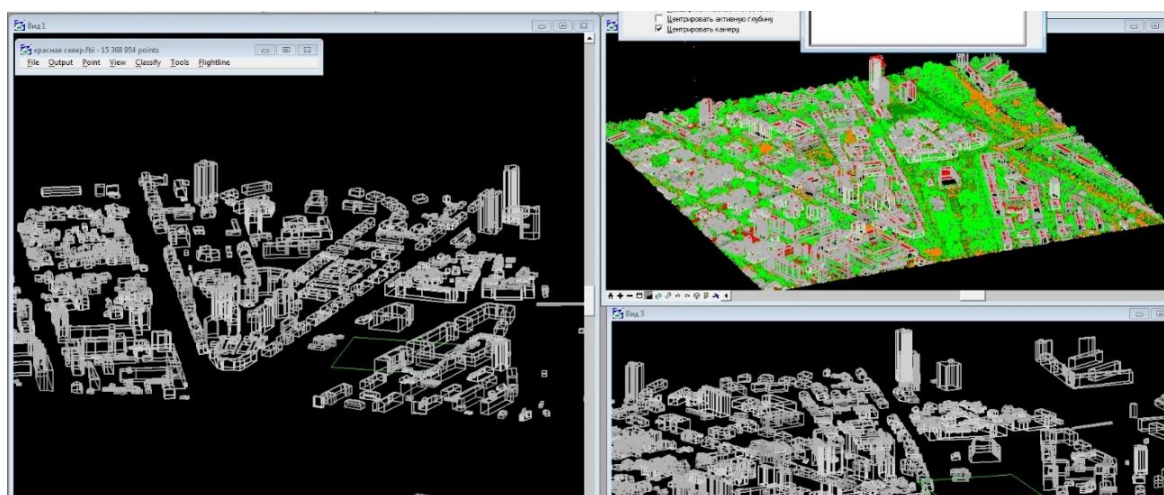


Рисунок 9 – Трехмерная модель и подложка из облака точек

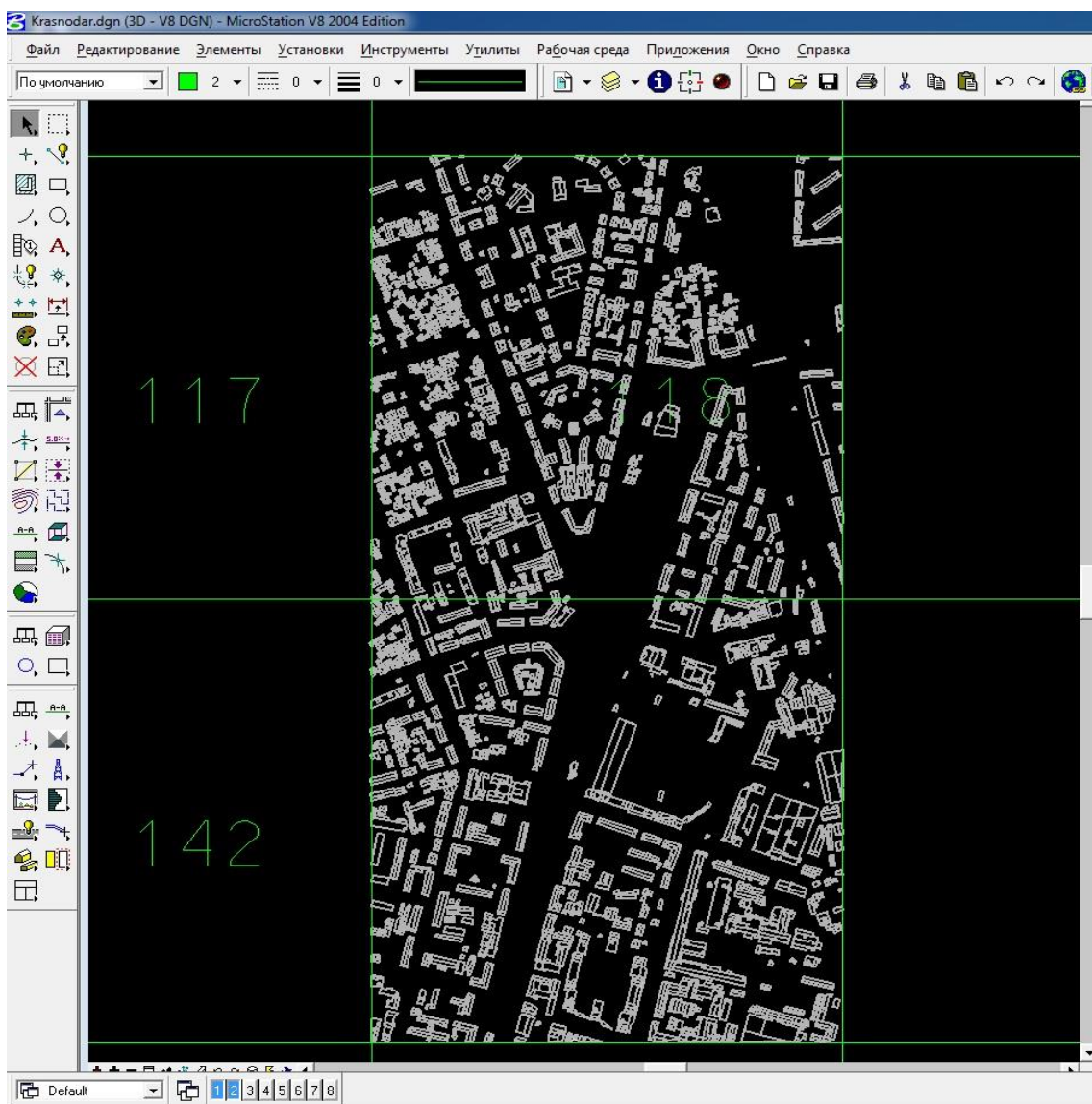


Рисунок 10 – Готовая трехмерная модель (вид сверху)

Далее окончательное оформление было проведено в программах ArcMap и ArcScene. В программе ArcMap были созданы отдельные точечные шейпфайлы для каждого вида объектов, которым в дальнейшем уже в программе ArcScene будут присвоены свои символы. Они были расположены с максимальной достоверностью с опорой на данные спутниковых снимков, это деревья, кустарники, автомобили, светофоры, фонарные столбы и для большей реалистичности добавлены два строительных крана.

В ArcScene была загружена непосредственно 3D-модель (рисунок 11, 12) и подобраны 3D-модели деревьев, кустарников и т.д.

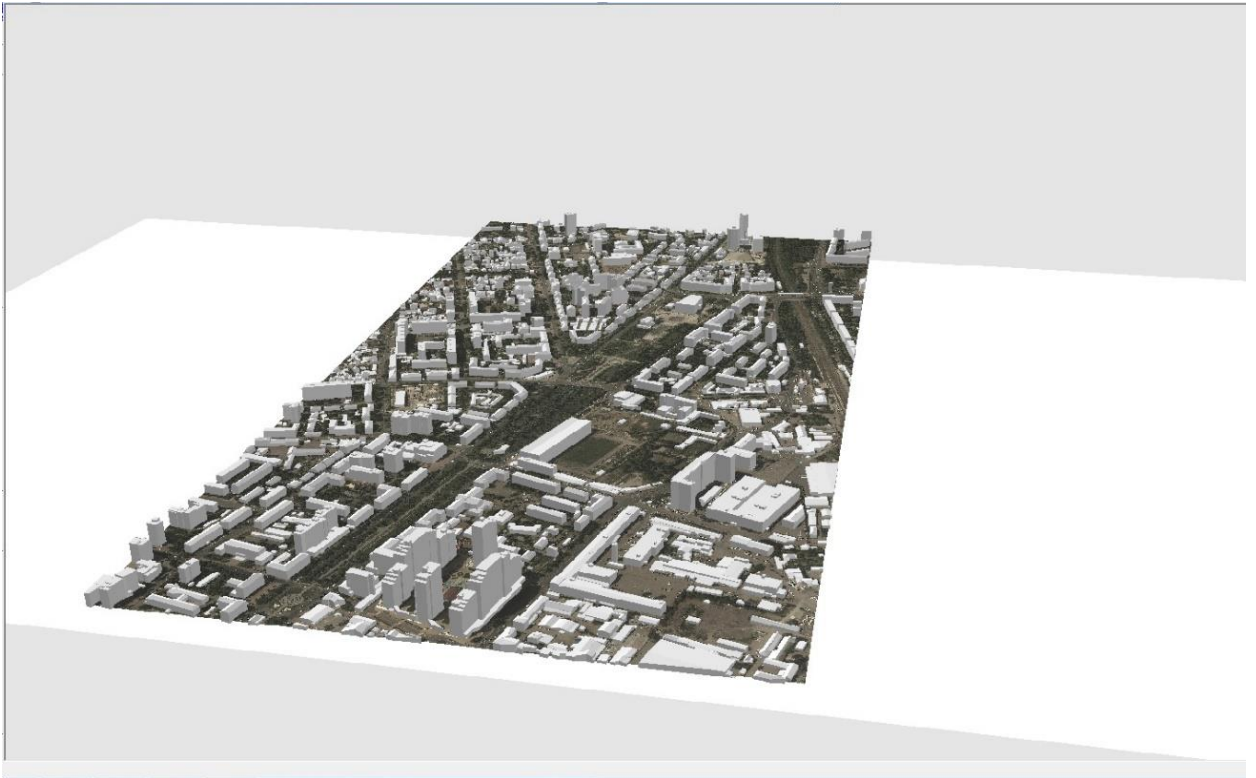


Рисунок 11 – Созданная 3D-модель, вид с севера

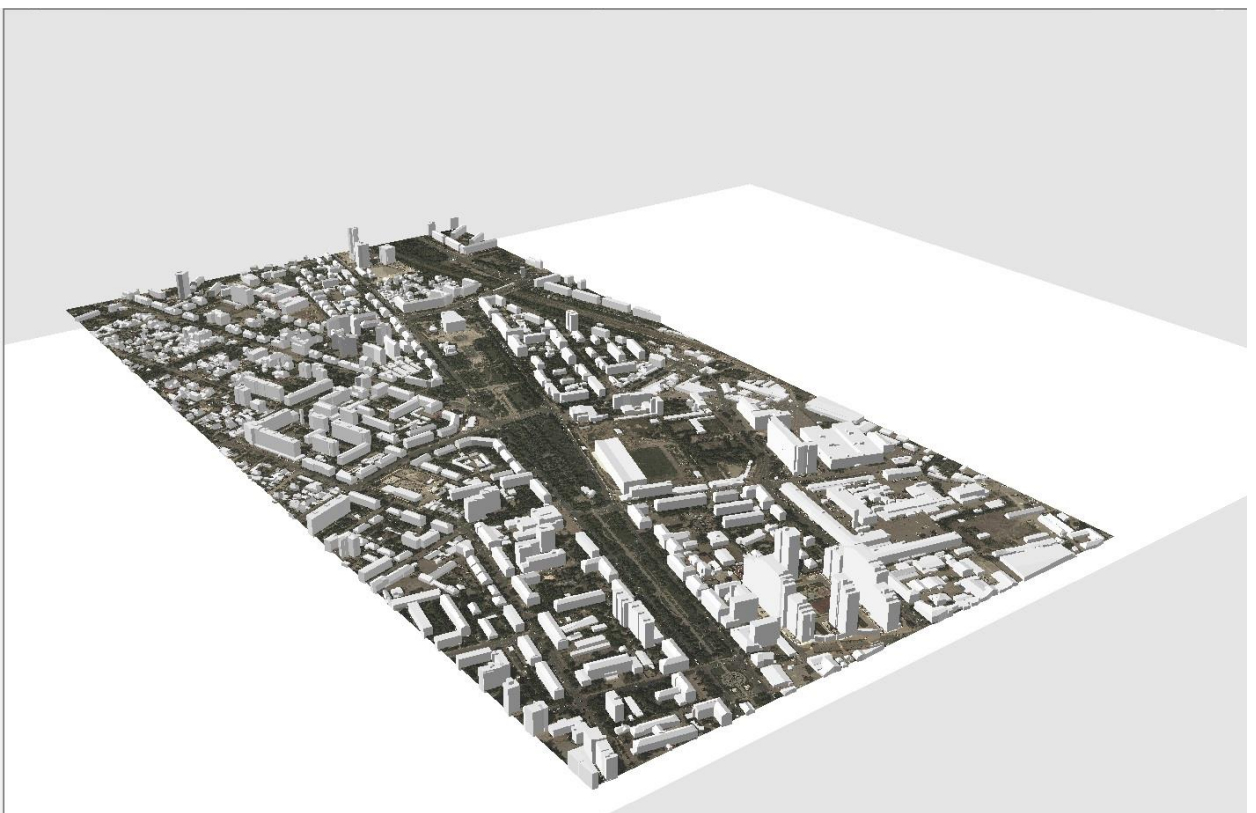


Рисунок 12 – Созданная 3D-модель, вид с юга

После финального оформления и корректировки некоторых объектов была получена 3D-модель с достаточно хорошей подробностью и реалистичностью (рисунок 13, 14). Трудности в оформлении трехмерной модели в ПО ArcScene заключались в том, что итоговый продукт должен содержать не только качественную и достоверную модель, но и должен быть приятен к просмотру и прост в восприятии, поэтому итоговая модель дополнялась моделями деревьев и т.п. Но просто добавление моделей не дало необходимого результата, поэтому большая их часть была откорректирована вручную. Суть корректировки заключалась в правильном подборе цветовой гаммы деревьев и кустов, а также другой растительности, также они все были повернуты на различный градус вокруг своей оси для того, чтобы лесопосадка смотрелась более естественно. Похожая операция была проведена и с автомобилями, в данном случае сложность заключалась еще в том, что необходимо их было правильно расположить на дороге, так как она имела небольшой угол поворота. Также в места, соответствующие реальным, были расставлены объекты инфраструктуры в виде фонарных столбов и светофоров.



Рисунок 13 – Вид готовой 3D-модели со стороны улицы Бабушкина



Рисунок 14 – Вид готовой 3D-модели со стороны улицы Офицерской

Таким образом, получив действительно качественную модель, автор убедился в действительной необходимости и практичности трехмерного моделирования инфраструктуры и зданий, в частности, при помощи данных, полученных лазерным сканированием, в нашем случае это было ВЛС. А при использовании МЛС в сочетании с НЛС можно было бы достичь еще более лучшего результата, который бы практически не отличался от реальности при учете проведения последующей операции рендеринга и наложения текстур на все объекты.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение дипломной работы можно подвести итог, что апробация техники и методики создания трехмерной модели центра города Краснодара прошла несомненно успешно. В результате работы с программным обеспечением, позволяющим производить обработку, корректировку и другие различные операции с данными лазерного сканирования, в частности, это программа MicroStation с расширением TerraScan (tscan.ma), и последующим оформлением с помощью программ ArcMap, в которой были созданы точечные шейпфайлы (shapefile) для каждого вида моделей (растительность, автомобили, объекты инфраструктуры), и ArcScene, в которой были оформлены трехмерные модели по точкам из ArcMap, была получена подробная и на достаточном уровне реалистичная трехмерная модель улицы Красной от улицы Бабушкина до улицы Офицерской.

В дипломной работе крайне подробно и развернуто были изучены и рассмотрены отличия и особенности, а также различные способы лазерного сканирования: воздушное, мобильное и наземное сканирование (ВЛС, МЛС, НЛС), а также техника, при помощи которой непосредственно проводится лазерное сканирование. Подробно была разобрана космосъемка и аэросъемка, выделены достоинства и недостатки каждого метода дистанционного зондирования.

На собственном опыте была доказана необходимость использования трехмерного моделирования в стратегии градостроительства, особенно в сочетании с огромным количеством других аспектов концепции Smart City. Ведь 3D-моделирование по данным лазерного сканирования зданий не заканчивается на таких важных процессах как простая визуализация будущих построек, но с ее помощью проводятся такие серьезные процедуры как различные инженерные расчеты, начиная от просчета нагрузки здания на грунт, на котором оно стоит, что актуально в связи с неотвратимой застройкой территорий, расположенных вдоль рек, высотными домами.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ALL.BIZ // Цифровая сканирующая аэрофотокамера 3-DAS-1 // [сайт] // Украина //URL <https://ua.all.biz/cifrovaya-skaniruyushchaya-aerofotokamera-3-das-1-g149621> (дата посещения: 3.05.2020)
2. Arcpol-Geo // Воздушное, мобильное и наземное лазерное сканирование // Воздушное, мобильное и наземное лазерное сканирование // [сайт] // Москва 01 декабря 2011 //URL <https://arcpol-geo.ru/o-texnologii/64-vozdushnoe,-mobilnoe-i-nazemnoe-lazernoe-skanirovanie> (дата посещения: 3.05.2020)
3. Humbolt state university // Аэрофотосъемка // Аэрофотосъемка // [сайт] // Калифорния 2015// URL [http://gsp.humboldt.edu/olm\\_2016/courses/GSP\\_216\\_Online/lesson2-2/air-photos.html](http://gsp.humboldt.edu/olm_2016/courses/GSP_216_Online/lesson2-2/air-photos.html) (дата посещения: 3.05.2020)
4. KULIKOV MAXIM // Terrasolid TerraScan. // [сайт] // 14.03.2016// URL <https://lidar.asia/laserscanning/terrasolid-terrascan-chast-pervaya/> (дата посещения: 3.05.2020)
5. MyUniverCity // Обзор современных стереофотограмметрических приборов // [сайт] // 28 Мая 2013 // URL [https://www.myuniversity.ru/Геодезия/Обзор\\_современных\\_стереофотограмметрических\\_приборов/141469\\_2109929\\_страница2.html](https://www.myuniversity.ru/Геодезия/Обзор_современных_стереофотограмметрических_приборов/141469_2109929_страница2.html) (дата посещения: 3.05.2020)
6. SOFTPROM // MicroStation// Решение для проектирования инфраструктуры и работы с проектной документацией.// [сайт] // URL <https://softprom.com/vendor/bentley-systems/product/microstation> (дата посещения: 3.05.2020)
7. ГЕОПРОЕКТИЗЫСКАНИЯ // Лазерное сканирование // [сайт] // URL <https://geopriz.ru/wp-content/uploads/Lazernoe-skanirovanie.pdf> (дата посещения: 3.05.2020)

8. Гричуха Константин // Terrasolid // [сайт] // 2013-05-11 URL [https://grinikkos.com/view\\_post.php?id=279](https://grinikkos.com/view_post.php?id=279) (дата посещения: 3.05.2020)
9. Доктор А.Н. Саркар // Умные города: футуристическое видение // А.Н. Саркар // [сайт] // Нью-Дели//URL//<https://www.thesmartcityjournal.com/en/articles/1333-smart-cities-futuristic-vision> (дата посещения: 3.05.2020)
10. ИРИСОФТ-ИНВЕСТ // ПО для автоматизированного проектирования и информационного моделирования // [сайт] //Россия Санкт-Петербург 2019 //URL <https://irinvest.ru/products/bentley-systems/microstation/> (дата посещения: 3.05.2020)
11. Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева // Компьютерная обработка аэрокосмических снимков // Компьютерная обработка аэрокосмических снимков // [сайт] // Казахстан 23.03.2016 // URL <https://studfile.net/preview/6188438/> (дата посещения: 3.05.2020)
12. Кейт Бенгли // MicroStation v8i: подробности от первого лица // [сайт] // 03 - 2009 URL <https://sapr.ru/article/20148#Встроенная-ГИС-система> (дата посещения: 3.05.2020)
13. Конспект лекций по дисциплине «основы аэрогеодезии и инженерно-геодезические работы» для студентов 5 курса специальности АДА // конспект лекций // [сайт] // URL <https://www.skachatreferat.ru/referaty/Konspekt-Lekcij-Oaigr/85094292.html> (дата посещения: 3.05.2020)
14. Константиновская Л. В. // КОСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА // Л. В. Константиновская // [сайт] // URL <https://www.astronom2000.info/аэро-и-космосъемка/3-глава-космическая-съемка/> (дата посещения: 3.05.2020)
15. НГЦ // МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНАЯ АЭРОФОТОКАМЕРА LEICA RCD30 // [сайт] // Харьков // URL // <https://ngc.com.ua/p/928-leica-rcd30.html> (дата посещения: 3.05.2020)
16. ООО "ГИСвер Интегро" // TerraScan // [сайт] // Москва// URL <http://terrasolid-gwi.ru/terrascan/> (дата посещения: 3.05.2020)

17. ООО "Аналитика", ГНПП "Геосистема" // Цифровой самолетный сканер «3-DAS-1» // Цифровая камера для аэрофотосъемки // [сайт] // Украина, г. Винница // URL // <http://www.vingeo.com/Rus/das.html> (дата посещения: 3.05.2020)

18. Официальный портал Мэра и Правительства Москвы // Городская среда // Направления развития Умного города Москвы // [сайт] // Москва // URL <https://2030.mos.ru/n/n2/> (дата посещения: 3.05.2020)

19. СОВЗОНД // Лазерное сканирование // [сайт] // Москва // URL <https://sovzond.ru/services/laser-scanning/> (дата посещения: 3.05.2020)

20. Союз "Краснодарское краевое объединение организаций профсоюзов" // Краснодар вошел в Международный клуб умных городов // Союз "Краснодарское краевое объединение организаций профсоюзов" // [сайт] // Краснодар 22 октября 2018 // URL <http://kkoop.ru/krasnodar-voshel-v-mezhdunarodnyiy-klub-umnyih-gorodov/> (дата посещения: 3.05.2020)