

Санкт-Петербургский государственный университет

БАГИШЯН Артур Гегамович

Выпускная квалификационная работа

***Геоинформационное моделирование объектов дорожной
инфраструктуры на основе данных лазерного сканирования***

Уровень образования: магистратура

Направление 05.04.03 «Картография и геоинформатика»

ВМ.5523.2017 «Геоинформационное картографирование»

Научный руководитель:

профессор кафедры картографии и геоинформатики,

доктор технических наук

Баденко Владимир Львович

Рецензент:

руководитель департамента разработки/

ООО «Мосты и инженерные проекты»

Тараканов Александр Евгеньевич

Санкт-Петербург

2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава 1. Литературный обзор	6
Глава 2. Технология геоинформационного моделирования объектов дорожной инфраструктуры на основе данных лазерного сканирования	14
2.1 Сущность метода геоинформационного моделирования	14
2.2 Объекты дорожной инфраструктуры.....	19
2.3 Технология лазерного сканирования	25
2.4 Технология создания геоинформационной модели объектов дорожной инфраструктуры	29
2.4.1 Обработка данных лазерного сканирования.....	29
2.4.2 Разработка файловой базы геоданных объектов дорожной инфраструктуры	31
2.4.3 Технология разбивки участка автомобильной дороги методами геоинформационного анализа.....	32
2.4.4 Технология расчета и присвоения линейной адресации объектам дорожной инфраструктуры	35
2.4.5 Картографическая визуализация объектов дорожной инфраструктуры. Технология разворота дорожных знаков в геоинформационной модели по направлению движения	37
Глава 3. Апробация метода. Создание геоинформационной модели объектов дорожной инфраструктуры. Оценка результатов	40
3.1 Обработка данных лазерного сканирования	40
3.1.1 Сбор данных	40
3.1.2 Результаты и обработка данных.....	42
3.2 Разработка файловой базы геоданных объектов дорожной инфраструктуры.....	54
3.3 Разбивка участка Кольцевой автомобильной дороги г. Санкт-Петербурга	57
3.4 Расчет линейной адресации объектов дорожной инфраструктуры	63
3.5 Картографическая визуализация. Автоматический разворот дорожных знаков по направлению движения.....	68
3.6 Создание тематических карт. Оценка результатов	70
Заключение	75
Список литературы	77
Приложения	81

Введение

Актуальность темы.

В настоящее время происходит процесс перехода в информационное общество. Данный процесс предполагает работу существенной части населения в информационной сфере (производства информации и информационных услуг). Соответственно, значительная часть общества является потребителем информационных услуг. В связи с этим, возрастает актуальность применения методов работы с информационными ресурсами. В совокупности, это можно обозначить термином «информационное моделирование».

Применение пространственной информации актуально в контексте процессов управления и производства. В результате предыдущей деятельности изыскательских организаций накоплен большой массив пространственных данных. Однако, большие объемы информации зачастую характеризуются отсутствием единой структуры, за счет чего создается информационный барьер, а также препятствия для эффективного применения данной информации. Одно из решений в сложившейся ситуации – создание технологий эффективного использования пространственной информации. Пример такой технологии – геоинформационное моделирование.

Геоинформатика является одной из важных основ перехода в информационное общество. Информатизация является глубинным процессом. В сложившейся ситуации, геоинформационное моделирование – ключ к познанию окружающего мира.

Одним из критериев эффективного использования информационных ресурсов является умение работать с пространственной информацией. В наши дни информационные ресурсы представлены широким спектром информационных моделей. Геоинформатика основана на междисциплинарной интеграции, а обработка информации геоинформационными методами строится на основе применения моделей. В этой связи, геоинформационное моделирование является ключевым звеном цепочки обработки геоданных и геоинформации.

Также сейчас наблюдается бурное развитие тематики моделирования автомобильных дорог. В особенности, свое применение находит технология лазерного сканирования. Преимуществом данной технологии является высокая скорость изысканий, которая позволяет задуматься об эффективном применении его результатов в моделировании. В рамках моделирования на сегодняшний день определяющее значения

имеет одно из определяющих значений технология геоинформационных систем (ГИС), поскольку она позволяет учитывать объекты на местности, что, в свою очередь, является важным при инвентаризации объектов дорожной инфраструктуры.

Объектом исследования являются объекты дорожной инфраструктуры, их пространственное и географическое положение, а также их отражение в данных лазерного сканирования.

Цель исследования исходит из названия данной работы – создание геоинформационной модели объектов дорожной инфраструктуры на основе данных лазерного сканирования.

Достижение поставленной цели предусматривает решения ряда последовательных **задач**, формирующий этапы проведения работы:

1. Проведение обзора и анализа отечественного и зарубежного опыта применения данных лазерного сканирования в дорожном информационном моделировании, а также опыта классификации объектов дорожной инфраструктуры по данным лазерного сканирования.
2. Проведение сбора исходных данных (полевые работы с использованием мобильной сканирующей системы), постобработка полученных данных, полученные данные лазерного сканирования, привязанных во времени и пространстве.
3. Исследование и апробирование ручных и полуавтоматических алгоритмов обработки данных лазерного сканирования, а также классификации и выделения объектов дорожной инфраструктуры; анализ соответствующего программного обеспечения.
4. Разработка структуры и создание файловой базы геоданных объектов дорожной инфраструктуры.
5. Разработка и апробирование метода разбивки участка автомобильной дороги по километровым участкам средствами пространственного и геоинформационного анализа.
6. Разработка и апробирование метода автоматического расчета линейной адресации объектов дорожной инфраструктуры.
7. Разработка библиотеки системы условных обозначений дорожных знаков в соответствии с требованием ГОСТ, обеспечение наглядности картографической визуализации объектов.

8. Составление тематических карт, для демонстрации и оценки качества результата создания геоинформационной модели.

Использованные материалы. В качестве основных материалов были использованы данные лазерного сканирования с мобильной сканирующей системы Topcon IP-S2 участка основного хода федеральной автомобильной дороги А-118 (Кольцевая автомобильная дорога г. Санкт-Петербурга).

Научная новизна состоит в разработанном методе геоинформационного моделирования объектов дорожной инфраструктуры с использованием в качестве основы данные лазерного сканирования; ряде алгоритмов (таких как разбивка участка автомобильной дороги на километровые участки, расчет линейной адресации объектов дорожной инфраструктуры методами геоинформационного анализа), актуальных как в геоинформационном картографировании, так и дорожном проектировании и моделировании.

Практическая значимость полученных результатов. Разработанные методы и алгоритмы уже интегрированы в процесс формирования цифровых моделей автомобильных дорог для решения задач отражения фактической дорожной ситуации, выпуска исходных данных для проектировщиков дорог, а также в целях диагностики, паспортизации и инвентаризации.

Структура и объем работы. Магистерская работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы (42 наименования), а также четырех приложений (каждое из которых является тематической картой). Материал изложен на 80 страницах (без учета приложений), содержит 4 таблицы и 51 рисунок.

Глава 1. Литературный обзор

Автомобильные дороги являются одним из актуальных объектов геоинформационного картографирования. Они представлены большим количеством объектов дорожной инфраструктуры. Соответственно, в рамках геоинформационного картографирования данных объектов приходится работать с большим количеством семантической информации. В данной ситуации возникает вопрос грамотной организации структуры баз геоданных. Соответствующее положение прописано в национальных стандартах, таких как *ГОСТ Р 50828-95. Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования* и *ГОСТ Р 57563-2017 Моделирование информационное в строительстве. Основные положения по разработке стандартов информационного моделирования зданий и сооружений*. Согласно национальному стандарту *ГОСТ Р 50828-95*, для объектов, содержащих две и более однотипных характеристики, в семантическом описании формируются обобщенные значения характеристик. В частности, это является актуальным и для автомобильных дорог. Примером могут служить обобщенные характеристики «ширина» и «ширина покрытия дороги» для автомобильных и грунтовых дорог. Для них, в таком случае, принимаются минимальные значения всех соответствующих характеристик формируемых объектов. Аналогичный пример – характеристика «материал покрытия». В случае ее изменения у объектов дорожной сети, данное изменение может служить основанием для выделения уже самостоятельных объектов. Это важно учитывать в контексте формирования грамотной структуры хранения пространственных данных для дальнейшего процесса моделирования. Одной из таких работ, посвященных грамотной организации хранения данных, является *Разработка методики формирования картографической базы данных по объектам дорожной сети (Кудрявцев, 2010)*.

Кроме того, возникает вопрос эффективного сбора исходных данных. Классической основой для геоинформационного моделирования автомобильных дорог являются картографические материалы различных масштабов – 1:1000000 для магистральных дорог (в качестве примера). Тем не менее, современные технологии шагнули далеко вперед. Одним из наиболее эффективных технологических решений на сегодняшний день является лазерное сканирование.

В настоящее время тематика применения данных лазерного сканирования в дорожной отрасли переживает этап бурного развития. Технология лазерного сканирования обладает важнейшим преимуществом – изыскания производятся с высочайшей скоростью.

Данный факт немаловажен в постановке вопроса применения материалов лазерного сканирования в течение различных этапов жизненного цикла изделия (конкретно – автомобильной дороги). Здесь стоит отметить, что эта область исследования охвачена как в рамках трудов как отечественных, так и зарубежных исследователей. Примером таких работ (несущих обзорный характер) является *САПР автодорог – перспективы развития* (Бойков, 2013) и *IT-технологии в поддержке жизненного цикла дорог* (Бойков, 2014). Также, в ходе исследований часто фигурирует термин построения информационных моделей (BIM – Building Information Models) в контексте моделирования автомобильных дорог, и примером подобной работы является *BIM для дорожной отрасли: что-то новое или мы этим уже занимаемся?* (Скворцов, 2014). Отметим, что данная область исследований характеризуется высокой актуальностью в отечественной среде исследования в ходе последних 4-6 лет.

Одним из примеров создания геоинформационной модели автомобильных дорог – опыт отечественных специалистов по созданию ГИС автомобильных дорог субъектов Российской Федерации в специализированной системе IndorRoad/CAD. Геоинформационное моделирование открывает широкие возможности для принятия проектных и управленческих решений.

Возвращаясь к мониторингу жизненного цикла автомобильных дорог, необходимо отметить, что что Министерство транспорта Российской Федерации осуществляет разработку концепции использования трехмерного моделирования в этих целях. И, безусловно, одной из актуальных задач на сегодняшний день является обретение понимания роли лазерного сканирования в данном процессе и – как следствие – применение его данных. В соответствии с вышеупомянутой концепцией, трехмерная модель должна проходить сквозь все этапы жизненного цикла автомобильной дороги. При этом предусмотрено динамическое обновление данных (дополнениями и уточнениями). Жизненный цикл подразделяется на следующие фазы:

1. первичная модель;
2. проектная модель;
3. строительная модель;
4. эксплуатационная модель.

Моделирование на протяжении каждой из фаз жизненного цикла находит широкое применение. Более подробно фазы жизненного цикла будут рассмотрены в Главе 2.

Касательно применения лазерного сканирования, стоит отметить, что в «чистом», «сыром» виде его данные представляют собой плотное трехмерное облако точек. Данный материал требует дальнейшей серьезной обработки для полноценного применения. Одним из примеров дальнейшего применения таких данных является трехмерная реконструкция автомобильной дороги, это освещено в работе зарубежных исследователей (из Китая) - *Fast automatic three-dimensional road model reconstruction based on mobile laser scanning system* (Chen, He, 2015). Данная работа посвящена обработке данных мобильного лазерного сканирования. Как было отмечено ранее, широкое применение находит и технология воздушного лазерного сканирования, и здесь стоит обратиться к статье *Road detection from airborne LiDAR point clouds adaptive for variability of intensity data* (Li и др., 2015), а также *Aerial Laser Scanning and Imagery Data Fusion for Road Detection in City Scale* (Vo и др., 2015). Здесь необходимо понимание, что воздушное лазерное сканирование обеспечивает гораздо менее плотное облако точек (по сравнению с мобильным лазерным сканированием), а в противовес предоставляет гораздо больший масштаб охвата территории. Что касается наземного лазерного сканирования, то оно является более предпочтительным в контексте изысканий отдельных объектов и искусственных сооружений.

Лазерное сканирование находит достаточно широкое применение, поскольку его результаты могут быть использованы для решения разнообразного спектра задач. Применение лазерного сканирования в данном контексте рассмотрено в статье *Применение лазерного сканирования и 3D-моделей в жизненном цикле автомобильных дорог* (Мотуз, Сарычев, 2014).

Говоря об опыте применения геоинформационных систем (ГИС) в дорожном моделировании, стоит отметить статью *Эволюция ГИС автомобильных дорог* (Бойков, Скворцов, 2017), которая носит более обзорный, нежели практический, характер. Также данная тематика актуальна и в странах бывшего СНГ. В качестве примера служит статья *Информационное моделирование автомобильных дорог с использованием географических информационных систем* (Укуева, 2016), автор которой является представительницей Киргизии.

Технология ИМД (информационного моделирования дорог) появилась в последние годы в дорожной отрасли и в данный момент претендует стать единой концепцией. Учитываются ранее разработанные технологические решения, которые применяются в сочетании с инновационными методами. На ранних этапах внедрения данной технологии в производство, учитывался мировой опыт (в первую очередь – зарубежных коллег из

Великобритании, США и Норвегии). Моделирование дорог является важным уже на стадии предпроектных работ, а именно – ТЭО (технико-экономического обоснования).

Лазерное сканирование применяется в том числе для задач инвентаризации, диагностики и паспортизации автомобильных дорог. В данной ситуации не требуется высочайшая абсолютная точность, но необходим полный охват всего перечня объектов дорожной инфраструктуры. Наиболее предпочтительным видом работ для решения подобной задачи является мобильное лазерное сканирование. Описание подобного метода представлено в статье *Use of mobile LiDAR in road information inventory: a review* (Guan и др., 2016).

Формирование цифровых моделей автомобильных дорог является одной из наиболее актуальных задач на сегодняшний день. В данный, безусловно, трудоемкий процесс, входит полная оцифровка и диагностика обстановки в границах полосы отвода трассы (искусственных сооружений, примыканий, объектов сервиса, пересекающих дорог коммуникаций, элементов организации дорожного движения (ОДД) и др.). Очевидно, что процесс диагностики и оцифровки достаточно трудоемок. В качестве исходных данных для оцифровки зачастую используются следующие исходные данные: данные, полученные с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), панорамных видеосъемок. Использование последних существенно повышает семантическую (атрибутивную) информативность дешифрованных и оцифрованных объектов. Оцифровка представляет собой кропотливый труд большого штата операторов векторизации. В общем и целом, лазерное сканирование является хорошей альтернативой традиционным методам (например, геодезической съемке, которая исключается на автомагистралях по причине плотности движения транспортных потоков – технология, например, мобильного лазерного сканирования же реализуется непосредственно в составе движущегося транспортного потока, что обеспечивает определенную вовлеченность). Еще одним преимуществом технологии лазерного сканирования является высокая плотность облака точек. За счет этого возможно принятие более точных и адекватных проектных решений. В свою очередь, использование лазерного сканирования в потенциале позволит автоматизировать процесс формирования цифровой модели. Одним из этапов станет автоматическое распознавание различных объектов дорожной инфраструктуры. В частных случаях в дорожном моделировании используется и наземное лазерное сканирование. Оно уместно, например, в случае необходимости точного распознавания бордюрного камня. Подобная технология рассмотрена в статье *Detection of road curb from mobile terrestrial laser scanner point cloud* (El-Nalawany и др., 2011) исследователей из Канады.

Тем не менее, на текущий момент нельзя утверждать, что возможен полный и безусловный переход к использованию исключительно лазерного сканирования. Данный метод обладает как рядом преимуществ (некоторые из которых приведены ранее), так и недостатков. К недостаткам возможно отнести высокую стоимость оборудования и, соответственно, производства работ, а также сложность процесса обработки. Тем не менее, именно лазерное сканирование во всех его проявлениях представляет собой потенциальное будущее информационного моделирования.

Обработка данных лазерного сканирования неразрывно связана с процессами классификации и сегментации. Одна из работ, посвященных данным процессам - *Computing multiple aggregation levels and contextual features for road facilities recognition using mobile laser scanning data* (Yang и др., 2017).

Результаты обработки исходных данных могут переводиться в геоинформационную модель, где объекты должны быть между собой согласованы. Пример – геоинформационная модель лесных дорог – приведен на Рис. 1. Из этого примера исходит, что геоинформационное моделирование является важной современной основой создания тематических карт.

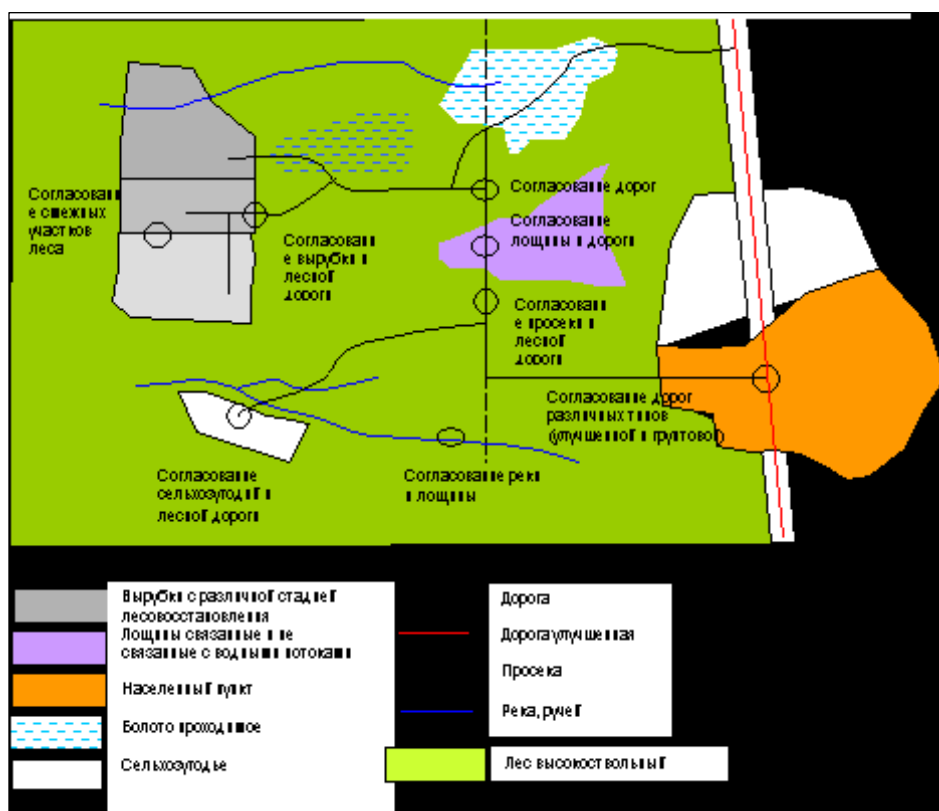


Рис. 1 – Пример геоинформационной модели лесных дорог

На сегодняшний день, процесс картографирования может осуществляться неразрывно с полевыми работами. Существует метод одновременной локализации и

построения карты (SLAM от англ. simultaneous localization and mapping). При таком методе два независимых процесса – съемка и отображение данных связываются в непрерывный цикл последовательных вычислений. За счет этого, отображение данных обновляется по мере их сбора. Классическая схема алгоритма SLAM приведена на Рис. 2.



Рис. 2 – Классическая схема алгоритма SLAM

Данный алгоритм поддерживают многие современные системы мобильного картографирования, в частности – системы мобильного лазерного сканирования. Рынок представлен широко – большим спектром моделей, таких как FARO, Riegel, Topcon, Leica и др. Более подробно алгоритм SLAM рассматривается в работе Синхронное определение местоположения и составление 2D-карты по стерео изображению в режиме реального времени *SLAM in Realistic Environments* (Zunino, 2002).

Геоинформационное картографирование автомобильных дорог может проводиться в различных масштабах. Примером такой карты является схема развития дорожно-уличной сети г. Москвы (2013), представленная на Рис. 3.

Глава 2. Технология геоинформационного моделирования объектов дорожной инфраструктуры на основе данных лазерного сканирования

2.1 Сущность метода геоинформационного моделирования

В информационных технологиях и системах основой являются модели. Они находят широкое применение в прикладных исследованиях. Моделирование имеет прикладное и междисциплинарное значение. Прикладное значение характеризуется возможностью замены эксперимента рядом математических или информационных манипуляций. Результаты моделирования при этом переносятся на объект исследования. Возможность переноса знаний составляет дисциплинарное значение моделирования. Критерием проверки истинности знаний служит логическое и системное моделирование. Технология моделирования включает построение модели и создание новых методов моделирования для различных объектов, процессов, явлений. Многообразие существующих и возникающих моделей требует обобщения – построения «моделей над моделями». Обобщенные технологии могли бы повысить эффективность построения моделей и их дальнейшего анализа. В качестве одной из возможных обобщенных технологий является геоинформационное моделирование.

Геоинформационное моделирование подразделяется на следующие виды:

- моделирование с использованием цифровых моделей;
- моделирование с использованием геоинформационных систем (ГИС);
- моделирование с использованием геоданных и геоинформации.

Для приведенных видов общим является использованием трех категорий – «тема», «место», «время».

Большинство методов обработки в информационных технологиях базируются на понятии информационной модели. Информационная модель представляет собой определенное целенаправленное отображение какой-либо существующей системы информации с рядом дополняющих элементов, которые характеризуют систему управления и управляемый объект. Понятия геоинформационной модели и геоинформационного моделирования лежат в основе большинства методов обработки пространственной информации.

За счет геоинформационного моделирования обеспечивается формализованное (математическое, графическое и т.д.) представление пространственных данных и

установленных между ними взаимосвязей. Геоинформационное моделирование рассматривается в качестве современной информационной технологии. В него включаются различные информационные модели, а также их применение и интерпретация.

В геоинформационной модели содержится ряд уровней описания:

- предметный (область обработки информации);
- системный (методы организации и способы обработки);
- базовый (выбор базовых моделей данных).

Переход от информации в чистом виде к информационным ресурсам характеризуется необходимостью перехода от совокупности данных к совокупности моделей, имеющих четкую взаимосвязь между собой, а также обладающих свойством ресурсности. Этим отличаются модели данных от моделей информационных ресурсов. Соответственно, при геоинформационном моделировании требуются умения работы с пространственной информацией. При этом, работа с ней должна осуществляться не только как с набором данных, но и с применением качественного перехода от информационных моделей к ресурсным, а от ресурсных – к интеллектуальным. С учетом вышеизложенного, геоинформационная модель является основой создания современных информационных ресурсов.

Геоинформационное моделирование определяется рядом концепций:

- базовых понятиях;
- пространственных отношений;
- системном подходе;
- классификации;
- построении информационных единиц;
- выборе методов преобразования.

В качестве базовых понятий определяются объект и метод моделирования. Объектом моделирования может быть:

- объект окружающего пространства;
- модель объекта;

- набор данных;
- система;
- процесс;
- решение задачи;
- и т.д.

Что касается метода моделирования, то он определяется набором допустимых условий и правилами преобразования объектов моделирования. Существует модель «сущность-связь», разработанная Стивом Ченом. В её рамках, объект моделирования рассматривается в качестве «сущности», а «связью» является метод моделирования (как связь между различными информационными формами представления объекта моделирования). Под классификацией подразумевается, прежде всего, определение класс, подклассов и групп моделей, а также преобразований над ними; определение свойств классов и их ограничений.

- Концепция отношений включает в себя определение и выбор классов отношений между объектами моделирования. Выделяются следующие классы отношений:
- пространственные;
- функциональные;
- временные;
- логические;
- вероятностные;
- организационные;
- количественные;
- качественные.

Отношения отражают многоаспектность объектов и возникающих между ними связей. В зависимости от предметной области, различные отношения становятся доминирующими. В геоинформатике доминирующими являются пространственно-временные отношения.

В рамках системного подхода объекты моделирования и связи между ними рассматриваются абстрактно – на основе понятия системы. Данным понятием обозначаются объект, процесс, набор данных, модель. В процессе системного анализа происходит выявление наиболее общих частей структуры, связи и отношения между элементами системы. Это служит основой для дальнейшей детализации системы.

Дальнейшая детализация осуществляется в рамках структурного анализа, который проводится уже на уровне функций, а не абстракций. Структурный анализ обеспечивает представление структуры объекта в качестве совокупности функциональных блоков, преобразующих информационные модели. В отличие от системного анализа, который работает с абстрагированными данными, в ходе структурного анализа осуществляется работа с реальными данными. Структурный анализ требует сведения различных массивов реальных данных и потоков информации в единую систему. Образованная единая система называется информационной основой. Информационная основа требует выбора информационных единиц, как, например, условные знаки в картографии. В совокупности, условные обозначения на карте составляют систему и несут определенное информационное сообщение, понятное специалистам. При более обобщенном подходе, непосредственно знак является некой информационной единицей. Знаки в их полной совокупности складываются в алфавит и подчиняются некоторой грамматике. Для информационных единиц, выбранных в процессе информационного моделирования, требуется определенный свод правил (синтаксис), которому они должны подчиняться.

В общем виде, геоинформационное моделирование (вне зависимости от области применения) должно отвечать определенной концепции и быть направленным на отображение и изучение окружающей действительности. Содержание геоинформационного моделирования объясняется на уровне парадигматических отношений. Процесс исследования объектов упрощенно представляется следующим образом: объект → содержание → отображение. При использовании геоинформационного моделирования данный процесс представляется так: объект → существенные признаки и пространственные отношения → геоинформационная модель.

Геоинформационное моделирование представлено рядом особенностей – таких как опора на пространственные отношения, применение визуального моделирования. В рамках визуализации применяется знаковое геоинформационное моделирование. В таком случае моделями служат различные знаковые образования:

- карты;

- графики;
- чертежи;
- схемы;
- графы;
- тайлы;
- условные знаки;
- формулы;
- и т.д.

В случае исследования процессов или явлений, выявления латентных связей – математическое моделирование является предпочтительным методом. Математическая модель – совокупность различных формальных описаний (формул, логических условий, уравнений и т.д.), которые отражают реальный процесс состояния объекта с учетом внешних и внутренних факторов. Использование топологии и пространственных данных характеризует геоинформационное математическое моделирование.

При исследовании пространственных объектов широко применяется цифровое моделирование. В геоинформатике оно заключается в реализации возможностей программных средств и математических методов в рамках моделирования объектов. Цифровая модель (ЦМ; digital model (DM)) – дискретная информационная модель, которая сформирована для обработки на компьютере. То есть данная модель является компьютерно-ориентированной, что позволяет считать ее некоторым обобщением физической и даталогической моделей. В более узком смысле, цифровая модель является дискретной моделью пространственных объектов, содержащих обязательный параметр (масштаб, размеры, точность координат и т.д.). Данная модель предназначена для обработки с помощью геоинформационных технологий.

Структурной основой цифровой модели могут являться иерархическая, реляционная, сетевая или комплексная модель. Они хранятся в базах данных или в виде файловых структур. Наибольшее применение цифровые модели находят в геоинформатике, проектировании, архитектуре, строительстве, экологии и т.д.

Таким образом, геоинформационные модели и геоинформационное моделирование лежат в основе исследования и построения картины окружающего мира.

Геоинформационное моделирование основывается на применении ресурсного подхода и ресурсных моделей, то есть – обладает свойствами постоянного совершенствования и модернизации. Реализация концепций, на которых основано информационное моделирование, осуществляется за счет развития информационных технологий и технических средств. Данный процесс обеспечивает и продолжительный жизненный цикл информационного моделирования в современных условиях быстрой смены технических и программных средств. Соответственно, геоинформационное моделирование в целом и его основная разновидность (цифровое моделирование) – покрывают широкий спектр задач, не решаемых с помощью иных методов моделирования.

2.2 Объекты дорожной инфраструктуры

Прежде всего, необходимо понятие объектов дорожной инфраструктуры в контексте данной работы.

В последнее время в России, в силу развития дорожного движения, наблюдается значительная модификация дорожной инфраструктуры. Усовершенствование дорожной сети должно соответствовать требованиям дорожного движения, интересам его участников и общества в целом. Транспортно-эксплуатационный уровень современной дороги определяется совокупностью геометрических элементов трассы и элементов ее обустройства. Во многом, требования к безопасности и организации дорожного движения, а также к охране окружающей среды, выполняется именно за счет качественного благоустройства.

Автомобильная дорога является сложным комплексом инженерных сооружений. Зачастую дорога проходит по территории города или промышленного предприятия и имеет широкий круг пользователей.

В России автомобильные дороги на всем их протяжении или на отдельных участках, в зависимости от различных факторов (таких как политико-административное и культурное значения и т.д.) в общей транспортной сети делят на:

- европейские маршруты (имеют префикс Е, частично совпадают с участками федеральных автомагистралей, являются частью единой европейской транспортной системы);
- автомобильные дороги федерального значения (имеют префикс М, а также номер, их финансирование происходит из федерального бюджета);

- автомобильные дороги регионального значения (имеют префикс А, а также номер, их финансирование происходит из региональных бюджетов);
- автомобильные дороги межмуниципального значения (имеют префикс Р, а также номер, их финансирование происходит из муниципальных бюджетов);
- прочие дороги местного значения (имеют префикс Н, а также номер).

Перечень автомобильных дорог общего пользования федерального значения утверждается Правительством Российской Федерации. В настоящее время, действующими являются «Правила классификации автомобильных дорог в Российской Федерации и их отнесения к категориям автомобильных дорог», которые утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 28.09.2009 г. №767.

На сегодняшний день, существует, в зависимости от охвата несколько определений дорожной инфраструктуры. Довольно часто встречается определение объектов транспортной инфраструктуры.

В самом широком смысле, объекты транспортной инфраструктуры – технологический комплекс, который включает в себя автомобильные дороги, железнодорожные, трамвайные, внутренние водные пути, контактные линии, тоннели, эстакады, мосты, вокзалы, железнодорожные и автобусные станции, метрополитены, морские торговые, рыбные, речные и специализированные порты, судоходные гидротехнические сооружения, аэродромы, аэропорты, объекты систем связи, навигации и управления движением транспортных средств, а также иные обеспечивающие функционирование транспортного комплекса здания, сооружения, устройства и оборудование (согласно Федеральному закону от 09.02.2007 №16-ФЗ (ред. от 18.07.2011) «О транспортной безопасности» (с изменениями и дополнениями, вступающими в силу с 02.08.2011)).

Автомобильные дороги являются одним из вышеперечисленных технологических комплексов. В рамках данной работы рассматриваются объекты инфраструктуры автомобильной дороги, и разрабатывается охватывающая их геоинформационная модель.

Соответственно, здесь и далее под объектами дорожной инфраструктуры обозначены объекты (элементы) обустройства автомобильных дорог общего пользования. Их перечень представлен в национальном стандарте Российской Федерации «ГОСТ Р 52766-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования». Основываясь на вышеуказанном национальном стандарте, приведен перечень

объектов дорожной инфраструктуры. Кроме того, основываясь на национальном стандарте Российской Федерации «ГОСТ Р 52399-2005 Геометрические элементы автомобильных дорог», целесообразно рассматривать в качестве объектов дорожной инфраструктуры также и элементы геометрии автомобильной дороги.

1. Дорожные знаки и сигналы
 - 1.1 Дорожные знаки
 - 1.2 Дорожная разметка
 - 1.3 Дорожные светофоры
2. Направляющие устройства
 - 2.1 Дорожные сигнальные столбики
 - 2.2 Островки безопасности
3. Защитные ограждения
 - 3.1 Дорожные ограждения
 - 3.2 Акустические экраны
4. Средства организации движения пешеходов и велосипедистов
 - 4.1 Тротуары и пешеходные дорожки
 - 4.2 Пешеходные переходы
 - 4.3 Велосипедные дорожки
5. Средства улучшения условий видимости
 - 5.1 Стационарное электрическое освещение
6. Сооружения для обслуживания участников дорожного движения
 - 6.1 Здания и сооружения для отдыха и питания участников дорожного движения
 - 6.2 Площадки отдыха
 - 6.3 Пункты медицинской помощи
 - 6.4 Автобусные остановки
7. Сооружения для технического обслуживания транспортных средств

- 7.1 Автозаправочные станции (АЗС)
- 8. Сооружения для контроля за движением
 - 8.1 Стационарные посты дорожно-патрульной службы (ДПС)
- 9. Элементы геометрии автомобильной дороги
 - 9.1 Проезжая часть
 - 9.2 Укрепленная обочина
 - 9.3 Неукрепленная обочина
- 10. Пересечения автомобильных дорог
 - 10.1 Примыкания автомобильных дорог
 - 10.2 Пересечения автомобильных дорог в одном уровне
 - 10.3 Пересечения автомобильных дорог в разных уровнях

Пересечения автомобильных дорог включены в вышеизложенный перечень на основании свода правил «СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги». Далее приведен терминологический ряд.

Дорожный знак – устройство, представляющее собой панель определенной формы с обозначениями или надписями, предназначенными для информирования участников дорожного движения о дорожных условиях, режимах движения, а также расположении населенных пунктов и других объектов.

Дорожная разметка – линии, надписи и иные обозначения на проезжей части автомобильных дорог и элементах их обустройства, информирующие участников дорожного движения об условиях и режимах движения на участке дороги.

Дорожный светофор – светосигнальное устройство, предназначенное для регулирования движения.

Дорожный сигнальный столбик, островок безопасности – направляющие устройства, предназначенные для зрительного ориентирования.

Дорожное ограждение – устройство, предотвращающее съезд транспортного средства с обочины и мостового сооружения, переезда через разделительную полосу, столкновения со встречным транспортным средством, наезда на массивные препятствия и сооружения, расположенные на обочине и в полосе отвода дороги, на разделительной

полосе (удерживающее ограждение для автомобилей), падения пешеходов с мостового сооружения или насыпи (удерживающие ограждения для пешеходов), а также для упорядочения движения пешеходов и предотвращения выхода животных на проезжую часть (ограничивающее ограждение).

Акустический экран – звукоизолирующая преграда, которая устанавливается на пути распространения шума от автомобильного транспорта к защищаемому от шума объекту.

Тротуары и пешеходные дорожки – элементы дороги, предназначенные для движения пешеходов и примыкающий к проезжей части или к велосипедной дорожке либо отделённый от них газоном.

Велосипедные дорожки – часть дороги общего пользования, или самостоятельная дорога, предназначенная преимущественно для движения велосипедов.

Стационарное электрическое освещение – элементы обустройства, предназначенные для освещения участков дороги в темное время суток.

Площадка отдыха – элемент обустройства автомобильной дороги, предназначенный для кратковременного отдыха водителей и пассажиров, проверки состояния транспортных средств и грузов, устранения мелких неисправностей.

Пункт медицинской помощи – объект придорожного сервиса, в котором можно получить первую медицинскую помощь до направления в стационар или тогда, когда направление в стационар необязательно.

Автозаправочная станция – имущественный комплекс, предназначенный для приема, хранения и выдачи топлива транспортным средствам, а также зарядки электротранспорта.

Стационарный пост ДПС – пост дорожно-регулирующей службы, оборудованный специальными служебными помещениями, остановочными полосами и площадками для стоянки автомобилей, а также оперативно-техническими и специальными средствами контроля.

Проезжая часть – основной элемент дороги, предназначенный для непосредственного движения транспортных средств.

Укрепленная обочина – часть обочины, имеющая дорожную одежду.

Неукрепленная обочина – часть обочины, не имеющая дорожной одежды.

Примыкания автомобильных дорог – место соединения автомобильных дорог, где к одной дороге присоединяется в одном или разных уровнях другая дорога, не имеющая прямого продолжения и прерывающаяся в месте соединения.

Пересечение автомобильных дорог в одном уровне – вид пересечения дорог, в котором встречающиеся дороги и все специальные устройства для перевода движения с одной дороги на другую расположены в одном уровне.

Пересечение автомобильных дорог в разных уровнях – вид узла дорог, при котором встречающиеся дороги расположены в двух или нескольких уровнях.

Перечень элементов, выделенных в данной работе в качестве объектов дорожной инфраструктуры, является основной для разработки файловой базы геоданных.

Дорожные знаки являются объектами дорожной инфраструктуры, имеющими определяющее значение в вопросах организации и безопасности дорожного движения. Кроме того, необходима разработка технологии интеграции дорожных знаков в геоинформационную модель, установление и обеспечение взаимосвязи с другими объектами дорожной инфраструктуры. Картографическая визуализация дорожных знаков требует особого, отдельного алгоритма. Геоинформационная модель с их использованием должна быть наглядной и информативной, поэтому представление дорожных знаков на карте в виде точки (т.е. исключительно указание локализации объекта) не является достаточным для соблюдения вышеуказанных критериев наглядности и информативности. Данные о расположении дорожных знаков в пространстве служат важной основой для дальнейшей работы проектировщиков автомобильных дорог. К дорожным знакам предъявляются строгие требования, в соответствии с национальным стандартом ГОСТ Р 52289-2004. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств (с Изменениями N 1, 2). Зачастую на автомобильных дорогах возникает ситуация, когда дорожные знаки не соответствуют требованиям по ГОСТ. Также возможны отсутствие необходимого дорожного знака или некорректность представленных на знаке информации. Помимо вышеперечисленного, дорожные знаки могут сопровождаться рядом возможных дефектов. Вся эта информация о фактической ситуации должна оперативно поступать проектировщикам автомобильных дорог. По результатам анализа фактической ситуации, проектировщики принимают проектные решения, которые вносят в ПОДД (проект организации дорожного движения). Метод геоинформационного моделирования

объектов дорожной инфраструктуры представляет широкие возможности пространственного анализа средствами ГИС фактической ситуации на автомобильных дорогах.

2.3 Технология лазерного сканирования

На текущий момент, технология лазерного сканирования находит достаточно широкое применение в современных инженерных изысканиях, поскольку является достаточно эффективным и высокоточным методом сбора пространственных и геоинформационных данных.

В современной литературе лазерные сканеры часто обозначаются как лидеры (LIDAR – Light Detection and Ranging). Лидар представляет собой прибор, который выполняет измерения при помощи оптического лазерного дальномера. Измерения выполняются с высокой частотой (вплоть до нескольких сотен тысяч измерений в секунду). Результатом таких измерений становится большой массив закоординированных пространственных данных, которые в дальнейшем могут быть использованы для построения цифровых моделей. Лазерное сканирование подразделяется на наземное, воздушное и мобильное. Соответственно, различают технологии наземного лазерного сканирования (НЛС), воздушного лазерного сканирования (ВЛС) и мобильного лазерного сканирования (МЛС), каждая из которых отличается точностью результатов и областью применения.

Работа лазерного сканера базируется на измерении наклонной дальности от источника излучения (т.е. лазера) до объекта, который по факту является препятствием на пути распространения лазерного луча. Как следствие, появляется отраженный импульс, который регистрируется в блоке управления. Дальность определяется по времени задержки от момента излучения импульса до регистрации отражающего импульса, с учетом постоянства скорости распространения электромагнитных колебаний. В то же время определяются углы отклонения сканирующего луча, а также пространственное положение (координаты X, Y, Z) за счет использования инерциальной системы. Вся группа датчиков интегрирована в единую жесткую платформу, что, в свою очередь, обеспечивает статичность взаимного положения и ориентации всех ее составляющих. Определение параметров взаимного расположения является непреложной частью процесса калибровки оборудования. С учетом известных шести параметров ориентирования, к которым относятся углы отклонения сканирующего луча и координаты пространственного положения носителя, возможен математический переход к координатам точки, которая

вызвала отражение. В результате, получается плотное облако лазерных точек, формирующих лазерно-локационное изображение.

Лазерно-локационное изображение, состоящее из множества точек, является дискретным. Точки распределены в соответствии с пространственной структурой и топологической связью объектов. В зависимости от технических характеристик сканера и выбора параметров сканирования, определяется точность и детальность выходной информации.

В дорожной отрасли лазерное сканирование актуально, его применение набирает обороты. В зависимости от особенностей местности, при необходимости осуществляется ее планово-высотное обоснование, к которым привязываются данные лазерного сканирования. Перед началом работ очень важно обрести понимание, что необходимо в качестве выходной продукции. Примерами конечного результата могут служить:

- топографические планы различных масштабов;
- цифровая модель;
- ведомости для формирования паспорта дороги и интеграции в специализированные банки данных, такие как:
 - ведомость дефектовки;
 - ведомость ограждений;
 - ведомость дорожных знаков;
 - ведомость бордюрного камня;
 - ведомости искусственных сооружений (мостов, тоннелей);
 - ведомость примыканий и съездов;
 - ведомость тротуаров;
 - ведомость водопропускных труб;
 - ведомость автобусных остановок;
 - и др.
- продольный и поперечный профили.

Количество ведомостей и иной выходной продукции определяется интересами охвата объектов дорожной инфраструктуры. С использованием лазерного сканера появляется возможность оперативного и высокоточного определения геометрических параметров и оценочных характеристик автомобильной дороги и объектов дорожной инфраструктуры. К таким параметрам относятся:

- ширины проезжей части, укрепленной части дорожного полотна, укрепительных полос, продольные уклоны проезжей части и обочин;
- поперечные уклоны проезжей части и обочин;
- радиусы кривых в плане;
- состояние дорожной одежды;
- состояние и дефекты дорожной разметки;
- колейность;
- сцепление, ровность покрытия;
- и др.

Таким образом, применение лазерного сканирования актуально в вопросах развития дорожной инфраструктуры. К таким вопросам относятся:

- дорожное планирование;
- развитие;
- эксплуатация, повторная эксплуатация;
- обновление дорог.

Система мобильного лазерного сканирования (МЛС), как правило, состоит из следующих компонентов:

- лазерные сканеры;
- цифровые камеры;
- инерциальная навигационная система (ИНС);
- спутниковая антенна (ГНСС – глобальная навигационная спутниковая система);
- блок управления;

- мобильная платформа.

Современные системы мобильного лазерного сканирования используют две технологии измерений: импульсную и фазовую. Импульсный сканер отправляет лазерный импульс к цели, а для определения расстояния используется разница во времени между отправленным и полученными импульсами. Расстояние считается по следующей формуле: $R = 1/2c\Delta t$ (1), где R – расстояние, c – скорость света, а Δt – время прохождения импульса.

Современный рынок широко представлен импульсными лазерными сканерами – модели RIEGL, OPTECH, LEICA, TRIMBLE, TOPCON, 3rdTECH, SICK и др. В противовес возможно привести лазерные сканеры FARO. Такие сканеры используют разность фаз между посылаемыми и принимаемыми модулированными сигналами. Такие сканеры более точны, но обладают меньшей дальностью измерения. В данном случае применяется формула $R = \Delta\phi / (2\pi / \lambda)$ (2), где λ – длина волны, $\Delta\phi$ – разность фаз, n – произвольное количество полных длин волн между системой и отражающим объектом.

При совмещении диапазона лазерного сканирования, угла сканирования и положение лазера с ГНСС/ИНС, возможно получить высокоточные трехмерные координаты наземных точек. Угол сканирования, как правило, определяется с помощью соответствующего встроенного высокоточного датчика.

Частота повторения импульсов в сочетании с отражающей способностью определяет скорость сбора точек облака. В наиболее совершенных коммерческих системах мобильного лазерного сканирования частота измерения данных составляет 50-500 кГц, что позволяет конечному пользователю осуществлять быстрый сбор данных с получением облака точек необходимой плотности.

Мобильная платформа представляет собой автомобиль, адаптированный под полевые работы. На нее устанавливается комплекс мобильного лазерного сканирования. Выбор платформы зависит от конкретных целей. Как правило, для сканирования дорог используются фургоны. Во время сканирования платформа безостановочно перемещается по заданной траектории, а лазерный сканер осуществляет непосредственно сканирование в двухмерном режиме. Данный принцип достаточно легко реализуем в случае ортогональности направления сканирования траектории перемещения платформы. Трехмерное облако точек получается в случае, когда сканирование разворачивается вдоль траектории движения транспортного средства. Таким образом, пространственное разрешение сканирования зависит, в основном, от временного и пространственного разрешения режима сканирования и скорости транспортного средства. На практике,

показатели вертикальной и горизонтальной точностей мобильного лазерного сканирования составляет 3 см. Относительная точность может быть несколько выше – порядка 1 см.

2.4 Технология создания геоинформационной модели объектов дорожной инфраструктуры

2.4.1 Обработка данных лазерного сканирования

Обработка данных лазерного сканирования представляет собой достаточно трудоемкий процесс. В данном контексте возможно условно выделить два глобальных сценария:

1. обратный инжиниринг – построение меша или сегментации и параметризации модели с помощью примитивных форм;
2. создание цифровой модели местности (ЦММ) – в данном случае применяется классификация и векторизация в сочетании с построением триангуляции или меша в качестве модели рельефа. Сюда входят такие этап, как регистрация и анализ полученной модели (в том числе – построение разрезов и проведение измерений), которые могут быть актуальны в любом случае.

В специализированной литературе, преимущественно зарубежной, достаточно прочно устоялся терминологический ряд, который целесообразно для полноты понимания перевести на русский язык. Далее приведены некоторые термины:

- **скан (scan)** – совокупность данных лазерной съёмки, которые в результате одного сеанса сканирования и связаны одной системой координат;
- **карта расстояний (range image, organized point cloud)** – изображение, которое содержит дополнительную координату расстояния от камеры (организованное облако точек);
- **регистрация (registration)** – процедура объединения различных сканов в одно облако точек в единой системе координат (также встречается термин уравнивание);
- **классификация (classification)** – процесс назначения точкам облака атрибутивной информации в соответствии с типом объектов, к которым они относятся. Классификация является представлением результата распознавания. Для лучшего визуального восприятия данных используется раскраска облака точек;

- **извлечение/векторизация (extraction/vectorization)** – процесс распознавания в облаке точек определенной примитивной формы с последующим этапом параметризации (отрезок, сфера, плоскость, цилиндр) или сложной формы с последующим созданием объекта (триангуляция, меш, сплайн, ломаная);
- **сегментация (segmentation)** – процесс разбивки облака точек на ряд непересекающихся характерных областей, соответствующих примитивным формам или типам объектов (для дальнейшего извлечения или по типу классификации соответственно). Также сегментация может обозначать процесс разбиения на блоки для обработки больших массивов данных;
- **создание меша/восстановление поверхности (surface reconstruction/meshing)** – процесс создания связанной модели поверхности по множеству точек, полученных на поверхности объекта или рельефа местности;
- **цифровая модель рельефа, ЦМР (digital elevation model, DEM)** – термин, обозначающий цельную модель участка земляной поверхности в виде меша или триангуляции. Как правило, в контексте лазерного сканирования слова рельеф и земля в данной ситуации выступают синонимами;
- **цифровая модель местности, ЦММ (digital terrain model, DTM)** – термин, обозначающий модель местности, которая, помимо модели рельефа, включает в себя объекты ситуации.
- **меш (mesh)** – модель поверхности объекта в виде треугольной трехмерной сетки. Меш может быть замкнутым (в случае, если объектом является телом, например – цилиндр), либо иметь внешнюю границу (в качестве примера можно привести рельеф на участке местности).

Существуют различные возможности обработки данных лазерного сканирования.

Выделяются следующие технологии:

- ручная;
- полуавтоматическая;
- автоматическая.

Применение той или иной технологии зависит от приоритетных целей и задач, требований к конечному продукту. Важно также понимать, что ни одна их технологий

обработки не является однозначной. По этой причине не исключается ручная обработка и комбинирование с автоматическими и полуавтоматическими методами.

В общем и целом, данные лазерного сканирования предоставляют широкие возможности для их дальнейшей обработки. В Главе 3 данной работы представлена апробация ручной и полуавтоматической обработки данных.

2.4.2 Разработка файловой базы геоданных объектов дорожной инфраструктуры

База геоданных (БД) – совокупность географический наборов данных разных типов, которые хранятся в общей папке файловой системы или в многопользовательской реляционной БД (Oracle, Postgre SQL и т.д.)

База геоданных имеет всестороннюю информационную модель для управления и отображения географической информации. При этом данная модель состоит из серий простых таблиц с данными. В рамках баз данных возможно установление взаимного поведения между объектами в пространстве.

Выделяют три типа баз геоданных.

1. Файловые базы геоданных – базы, хранящиеся в файловой системе в виде папок. Каждый набор данных, размером вплоть до 1 ТБ, хранится в виде отдельного файла. Данный вид является наиболее предпочтительным.
2. Персональные базы геоданных – базы, наборы данных которых хранятся в формате Microsoft Access. Наборы имеют ограничение в 2 Гб по размеру.
3. Многопользовательские базы геоданных (корпоративные) – ограничений не имеют. Хранятся в реляционной БД с использованием Oracle, SQL Server и др.

Для разработки базы данных объектов дорожной инфраструктуры выбрано использование файловой базы геоданных. Технология создания включает в себя разработку структуры (набор классов объектов соответствует группе объектов дорожной инфраструктуры, пространственные классы – конкретному виду объектов). Также разрабатывается структура атрибутивной таблицы и доменные словари для атрибутов.

По итогам, в структуру файловой базы геоданных входят объекты, дешифрованные на этапе обработке данных лазерного сканирования.

2.4.3 Технология разбивки участка автомобильной дороги методами геоинформационного анализа

На данном этапе требуется предварительный сбор исходных данных. Исходными данными являются:

- осевая линия автомобильной дороги;
- километровые знаки.

Вышеуказанные данные должны иметь пространственную привязку. В приведенном методе их сбор осуществляется на основе данных лазерного сканирования.

Осевая линия дороги – условная линия, проходящая по середине дороги. Ось является объектом-маршрутом. Объект-маршрут – это линейный объект, который хранит уникальный идентификатор и содержит в своей геометрии координату измерений M. Маршруты хранятся в виде пространственного класса в базе геоданных. Уникальным идентификатором может являться поле различных типов (целое, строка, дата, GUID). Значения в данном поле должны быть уникальными для каждого объекта.

По данным мобильного лазерного сканирования ось может извлекаться:

- вручную, на основании дешифрирования облака точек и данных панорамной съемки;
- полуавтоматически, на основании траектории движения сканера.

Направление объекта-маршрута задается в соответствии с реальным направлением движения. Важным также является корректное закрепление адресации начала и конца участка автомобильной дороги.

Километровый знак – знак, устанавливающийся на каждом километре автомобильной дороги вне населенных пунктов, указывающий расстояние (в километрах) от начала дороги до места установки знаков. Для каждого направления движения он устанавливается справа, либо посередине внутри разделительной полосы (в случае ее наличия). Согласно национальному стандарту ГОСТ Р 52289 – 2004 он относится к группе информационных знаков. Ему присваивается номер 6.13.

Участок автомобильной дороги между двумя километровыми знаками выделяется в километровый участок. По правилам, километровые знаки устанавливаются строго через 1 км. Тем не менее, в реальной ситуации, расстояние между километровыми знаками

отличается от заданного эталона, и не составляет строго 1000 м – у каждого километрового знака имеется своя протяженность. Она может составлять от 750 до 1500 м. Представленные границы являются примерными.

По данным лазерного сканирования километровые знаки могут извлекаться:

- вручную, на основании дешифрирования облака точек и данных панорамной съемки;
- полуавтоматически.

Километровые знаки хранятся в базе геоданных в виде пространственного класса точечного типа и представлены атрибутивной информации в виде номера километрового знака.

Решение задачи разбиения участка автомобильной дороги на километровые участки состоит из следующих этапов:

1. Размещение километровых знаков вдоль маршрута;
2. Разбиение линии оси в точках километровых знаков;
3. Пространственное соединение километровых знаков и километровых участков;
4. Создание маршрутов каждого километрового участка;
5. Создание буферных полигонов каждого километрового участка.

Размещение километровых знаков вдоль маршрута

На данном этапе вычисляется пересечение входных объектов (точечных; в приведенном случае – километровых столбов) и объекта-маршрута (линейных; в приведенном случае – осевой линии дороги). При этом в базе геоданных создается слой событий (точечного типа). Данный слой наследует атрибуты входных объектов, а также содержит измерение местоположения в системе линейных координат. Далее слой событий отображается на маршруте.

Разбиение линии оси в точках километровых знаков

Линейные объекты разбиваются на основе пересечения с точечными объектами (или по критерию близости – на основании ее анализа). Соответственно, входные данные на этом шаге – осевая линия и слой событий, отображенный на маршруте (километровые знаки,

спроецированные на ось). В результате, получается новый пространственный класс, состоящий из отрезков километровых участков.

Пространственное соединение километровых знаков и километровых участков

Пространственное соединение является одним из методов оверлея (наложения) пространственных классов. Операция пространственного соединения присоединяет атрибуты из одного объекта к другому на основании их взаимного расположения в пространстве. Выходной класс объектов представляет собой целевой объект исходного класса с присоединенными из другого класса атрибутами. В данном случае, исходным классом является класс, полученный на предыдущем этапе (отрезки километровых участков), а присоединяемый класс – полученный ранее точечный слой событий, унаследовавший в качестве атрибутивной информации номер километрового знака. Для того чтобы каждая точка слоя событий (обозначающая километровый знак) располагалась строго на соответствующем километровом отрезке, отметка измерения, с применением калькулирования атрибутивного поля, искусственно смещается на 1 м. Затем происходит пространственное соединение один-к-одному. Для выходного класса задаются следующие атрибуты:

- номер километрового участка (соответствует присоединенному номеру километрового столба);
- начало измерений участка;
- конец измерений участка.

Создание маршрутов каждого километрового участка

Создание маршрутов происходит из существующих линий. Линейные объекты (входные данные), которые имеют общий идентификатор, объединяются в единый объект-маршрут. В данном случае, входными объектами являются отрезки километровых участков, созданные на предыдущем этапе. М-координата каждого участка присваивается исходя из значений атрибутивных полей начала и конца измерений участка. Их значения присваиваются, исходя из длины. Каждый участок, как правило, измеряется от 0 до x метров, где x – длина участка. Также для каждого маршрута задается свой уникальный идентификатор. В данной ситуации, им является номер километрового участка, соответствующий номеру километрового столба. Выходной класс объектов-маршрутов записывается в файловую базу геоданных. В реальных ситуациях, возможны пространственные разрывы на километровых участках – например, в случае наличия между

ними транспортной развязки. Пространственные разрывы могут быть учтены и отразиться аналогичными разрывами в М-координате – за счет измерения расстояния по прямой от начальной до конечной точки разрыва. Также возможен вариант игнорирования пространственного разрыва – в таком случае, измерения М-координаты будут осуществляться сквозным методом.

Создание буферных полигонов каждого километрового участка

Использование буферных зон является одним из методов анализа близости. Анализ близости в приведенной ситуации уместен для учета всех объектов инфраструктуры, относящихся к определенному километровому участку. На практике, объекты находятся на удалении от оси дороги до 50 м по обе стороны (прямой и обратный ход). Буферные полигоны (прямоугольного типа) создаются для определения перечня объектов, относящихся к каждому километровому участку с помощью операции выборки по расположению. Поскольку буферные полигоны созданы на основе маршрутов километровых участков, они также наследуют их атрибутивную информацию (в том числе – номер километрового участка, соответствующий номеру километрового знака).

Таким образом, по результатам лазерного сканирования и дальнейшим применением методов ГИС-анализа происходит разбивка выбранного участка дороги.

2.4.4 Технология расчета и присвоения линейной адресации объектов дорожной инфраструктуры

На данном этапе требуются следующие исходные данные:

- файловая база геоданных, структурированная в соответствии с перечнем объектов дорожной инфраструктуры;
- маршруты километровых участков;
- буферные полигоны километровых участков.

В зависимости от насыщенности дороги объектами дорожной инфраструктуры, файловая база геоданных может быть очень объемной и содержать большое количество объектов. В этой связи, возникает необходимость автоматизацию процесса расчета линейной адресации.

Различным объектам могут соответствовать различные типы геометрии в базе геоданных – точечный, линейный, полигональный. В зависимости от типа геометрии, а

также характера расположения объекта (вдоль или поперек дороги), алгоритм расчета адресации претерпевает некоторые изменения.

Маршруты километровых участков необходимы для того, чтобы размещать объекты вдоль них по принципу, схожему с вышеописанным для километровых знаков принципом.

Буферные полигоны километровых участков применяются для осуществления выборки по расположению объектов дорожной инфраструктуры.

Пример объектов дорожной инфраструктуры, представленных в файловой базе геоданных в виде точек – дорожные знаки. Точечные объекты имеют линейную адресацию вида км + м. Ниже приведена технологическая схема реализации алгоритма для точечных объектов.

1. Идентификатор ранее созданных маршрутов километровых участков (номер километрового знака) вводится в качестве переменной;
2. Происходит выборка объектов по критерию расположения (относительно каждого километрового участка);
3. Точечные объекты размещаются вдоль объекта-маршрута (с использованием оверлея точка-линия).
4. Для каждой точки, размещенной вдоль маршрута, извлекается значение M-координаты, присваивается в качестве атрибута и приводится в целочисленный тип.
5. Каждой точке присваивается в качестве атрибута идентификатор маршрута, вдоль которого она была размещена.
6. Создается выходная таблица следующей структуры: уникальный идентификатор объекта – измерение км (см. пункт 5) – измерение м (см. пункт 4).

Для линейных объектов, проходящих поперек дороги, алгоритм расчета линейной адресации отличается наличием предварительного этапа извлечения точки-центроида с наследованием всей атрибутивной информации, в первую очередь – уникального идентификатора. Адресация имеет вид, аналогичный точечным объектам. Пример объектов, проходящих вдоль дороги – водопропускные трубы. Аналогичен алгоритм расчета линейной адресации и для объектов, представленных полигонами (примыкания, автобусные остановки).

Линейные объекты, проходящие вдоль дороги (например – барьерные ограждения), имеют адресацию вида $км_{начала} + м_{начала} - км_{конец} + м_{конец}$. В данном случае, происходит разбиение объекта на точки по составляющим его узлам. Все извлеченные точки размещаются вдоль маршрута. На выходе выбирается минимальное и максимальное измерения в пределах километрового участка и записывается в выходную таблицу вместе с уникальным идентификатором объекта. Важно учитывать, что такие объекты могут простираться вдоль нескольких километровых участков. В таком случае, минимальная и максимальная отметки записываются для каждого километрового участка, а затем (по уникальному идентификатору) выбирается минимальное измерение первого километрового участка и максимальное – для последнего, а километровая отметка соответствует идентификатору первого и последнего километрового участков.

Полученная выходная таблица содержит в себе уникальный идентификатор. Каждый уникальный идентификатор соответствует объекту. Они унаследованы от уникальных идентификаторов, представленных в атрибутивной таблице пространственных классов объектов дорожной инфраструктуры файловой базы геоданных.

На этапе присвоения адресации объектам дорожной инфраструктуры происходит соединение выходной таблицы и атрибутивной таблицы пространственного класса. Атрибуты линейной адресации присваиваются с помощью калькулятора атрибутивных полей.

2.4.5 Картографическая визуализация объектов дорожной инфраструктуры. Технология разворота дорожных знаков в геоинформационной модели по направлению движения

Одной из важных составляющих частей геоинформационных моделей является картографическая визуализация ее объектов. То есть, в контексте данной работы, требуется визуализация объектов дорожной инфраструктуры, включенных в геоинформационную модель. Для каждого объекта разрабатывается условный знак, который, затем, интегрируется в модель.

Особенно вопрос картографической визуализации актуален для дорожных знаков, поскольку существует большое количество их разновидностей. В этой связи, единого обозначения для дорожных знаков недостаточно. Отдельно выделяются знаки индивидуального проектирования. Каждый такой знак уникален и разрабатывается отдельно.

С одной стороны, облако точек, раскрашенное в естественные цвета, а также данные панорамной съемки обеспечивают визуализацию. Однако, они являются информативными в трехмерном виде. На плоскости они существенно теряют свою наглядность. В особенности, это касается дорожных знаков. Для выпуска тематических карт необходимо обеспечить их максимально наглядное изображение в плане.

Кроме того, движение по автомобильной дороге осуществляется по прямому и обратному ходу. Знаки развернуты вдоль направления движения. Соответственно, на плане участка дороги знаки также должны быть развернуты.

Проектировщики автомобильных дорог составляют проекты организации дорожного движения (ПОДД). В ПОДД включаются так называемые «дислокации» каждого километрового участка. И каждый дорожный знак на дислокации изображен в соответствии с ГОСТ, а также по направлению движения. Работа ведется в специализированном программном обеспечении для проектирования и подразумевает большое количество ручной работы.

Итак, для дорожных знаков разрабатывается система условных обозначений в соответствии с ГОСТ. Поскольку даже для одного знака существует индивидуальное указание информации, разработанные символы интегрируются в модель по двум полям:

- номер по ГОСТ;
- дополнительная информация.

С использованием метода геоинформационного анализа, разрабатывается алгоритм автоматического разворота дорожных знаков вдоль направления движения. Ниже приведена технологическая цепочка. Разворот дорожных знаков происходит после интегрирования условных обозначений в модель.

1. Производится переход в систему координат отображения Web Mercator (AS). Данная картографическая проекция обеспечивает наименьшее искажение углов.
2. Пространственный класс дорожных знаков по критерию анализа близости размещается вдоль класса оси дороги (объекта-маршрута).
3. Вычисляется тангенциальный угол точечного слоя событий относительно оси дороги.
4. Вычисляется расстояние каждого дорожного знака от осевой линии дороги.

5. Рассчитанные в двух предыдущих пунктах данные записываются в атрибутивную таблицу слоя событий.
6. Таблица атрибутов слоя событий, унаследовавшая атрибуты родительского пространственного класса дорожных знаков, присоединяется к нему с помощью уникального идентификатора.
7. Полю «Угол поворота» присваивается значения тангенциального угла, рассчитанного ранее.
8. Итоговое значение угла поворота дорожного знака рассчитывается по следующей формуле: $\text{Тангенциальный угол} + (\text{Расстояние знака от осевой линии} / |\text{Расстояние знака от осевой линии} + 1|) * 90$.
9. Символы условных обозначений получают параметр поворота по атрибутивному полю с рассчитанным итоговым значением угла поворота. Поворот происходит арифметическим методом.

Результатом разработанной технологии должны стать знаки, развернутые вдоль направления движения дороги.

Глава. 3 Апробация метода. Создание геоинформационной модели объектов дорожной инфраструктуры. Оценка результатов

3.1. Обработка данных лазерного сканирования

3.1.1 Сбор данных

Сбор исходных данных осуществлялся системой мобильного лазерного сканирования Topcon IP-S2 Compact. Данная система обладает широкими возможностями высокоскоростной съемки с достаточной точностью.

Далее приведен состав системы.

GNSS-приемник – в системе используются двухчастотные приемники, что позволяет принимать сигналы как системы GPS, так и ГЛОНАСС.

Блок инерциальных измерений – блок, предоставляющий точные данные об ориентации автомобиля во время движения.

Цифровая камера – панорамная фотокамера высокого разрешения Ladybug, позволяющая осуществлять сбор до 15 кадров в секунду. Полученные фотографии предназначены для окрашивания облака точек в естественные цвета, а также просто для получения изображений, привязанных во времени и пространстве.

Сканеры – в систему входят 3 лазерных сканера (2 сканера с обзором 180 градусов – для сканирования по правую и левую сторону от машины, третий сканер предоставляет обзор 90 градусов с ориентацией по оси движения автомобиля). Сканеры позволяют осуществлять до 40000 измерений в секунду, с метками и времени и пространственной привязкой.

Одометр (датчик колеса) – датчик, закрепляющийся на колесе автомобиля. Он используется для определения скорости движения и пройденного пути. Также данные с одометра используются при кратковременном блокировании сигналов спутникового приемника (например, при прохождении под мостом или в тоннелях).

Блок управления – блок, который имеет разъемы для подключения вышеуказанных устройств и обеспечения связи с компьютером.

Программное обеспечение – набор программных продуктов, для задания настроек, обеспечения полевого контроля и сохранения данных. Для постобработки полученных данных используется программное обеспечение Geoclean.

Мобильная платформа – автомобиль, на который устанавливается система. В данном случае – Renault Kangoo. На Рис. 5 изображена сканирующая система Topcon IP-S2 на мобильной платформе Renault Kangoo.



Рис. 5 – Сканирующая система Topcon IP-S2 на мобильной платформе Renault Kangoo

Для проведения полевых работ выбран участок федеральной автомобильной дороги общего пользования А-118 – кольцевой автомобильной дороги (КАД) г. Санкт-Петербурга. На Рис. 6 приведена траектория движения системы мобильного лазерного сканирования в ходе полевых работ. Особенность данной автомобильной дороги – движение осуществляется не по прямому и обратному ходу, а по внешнему и внутреннему кольцу.

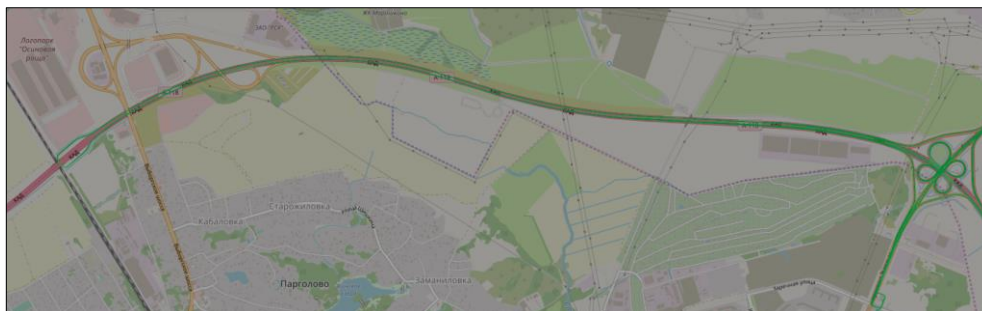


Рис. 6 – траектория движения сканирующей системы по автомобильной дороге А-118

3.1.2 Результаты и обработка данных

В результате полевых работ и постобработки данных получено плотное облако точек на участок съемки, а также панорамная съемка. Все данные привязаны во времени и пространстве. На Рис. 7 и Рис. 8 соответственно представлены фрагменты плотного облака точек, окрашенного в естественные цвета и панорамной съемки.

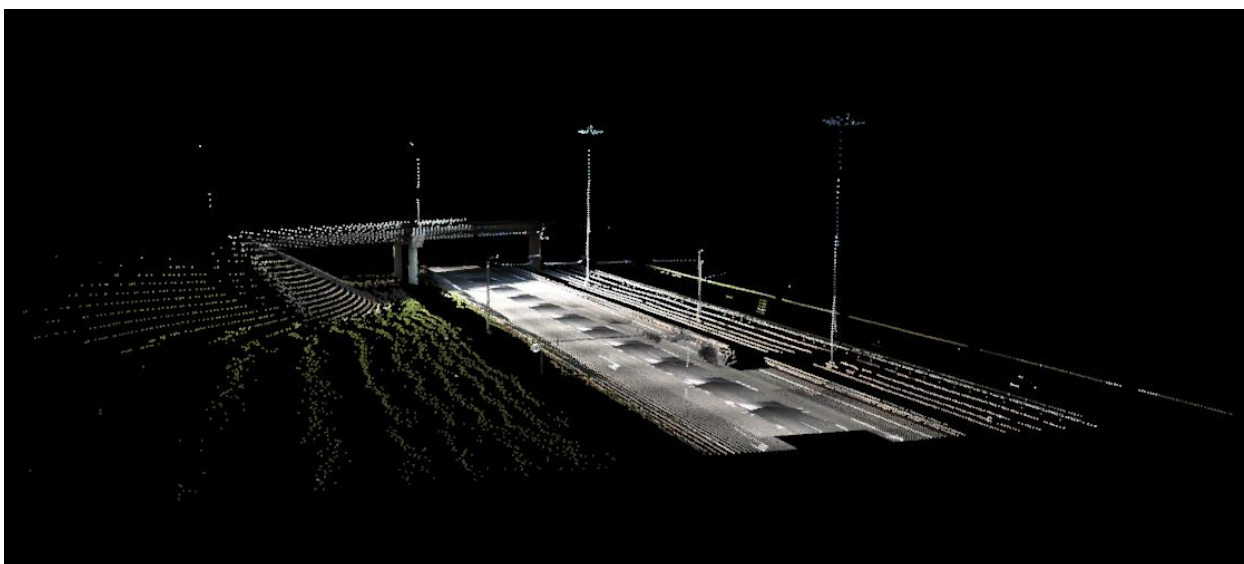


Рис. 7 – Фрагмент плотного облака точек, окрашенного в естественные цвета



Рис. 8 – Фрагмент панорамной съемки

Для просмотра результатов съемки и дешифрирования объектов дорожной инфраструктуры выбрано программное обеспечение Spatial Factory, которое входит в состав системы. Преимуществом данной программы является максимальная совместимость с данными сканирования представленной системы, а также имеющиеся возможности дешифрирования и оцифровки объектов дорожной инфраструктуры по облаку точек и панорамной съемке. Важно отметить, что панорамная съемка привязана к облаку точек, поэтому оцифровка точечных, линейных и полигональных объектов возможна прямо по панорамной съемке, что существенно ускоряет процесс. Результаты дешифрирования и оцифровки по окончании конвертируются в формат ESRI Shape (*.shp), что позволяет интегрировать данные в формат файловой базы геоданных и, соответственно, в геоинформационную модель.

В ходе обработки осуществляется дешифрирование дорожных знаков, километровых знаков, знаков индивидуального проектирования. Также, на основании траектории движения выделяется осевая линия. На Рис. 9 представлен пример дешифрирования и оцифровки в виде точечного объекта дорожного знака.



Рис. 9 – Дешифрирование и оцифровка знака по панорамной съемке

Дешифрованные объекты имеют четкую географическую привязку в пространстве. Собранные данные служат основой для создания геоинформационной модели, тематических карт, проведения пространственного анализа.

Также были апробированы другие методы обработки данных лазерного сканирования, в частности – облака точек участка кольцевой автомобильной дороги.

Для обработки данных выбран небольшой тестовый участок (далее – сэмпл) Кольцевой автомобильной дороги (КАД) – А-118. Сэмпл представлен достаточно плотным облаком точек – средний интервал между точками составляет 0,018 м. Суммарно в сэмпле представлено более 39 миллионов точек (39216570). Значение высоты Z варьируется от 40,998 до 125,477. Данные представлены в проекции WGS 1984 UTM Zone 36N (код EPSG – 32636). Охват территории – примерно 198 на 230 м. Съемка осуществлена 14 августа 2015 года системой мобильного лазерного сканирования. Охват интенсивности точек – от 0 до 65535.

Перед началом процесса обработки необходимо выбрать программное обеспечение. Современный рынок представлен большим количеством как коммерческих, так и некоммерческих решений. В результате, выбор остановился на отечественном коммерческом решении КРЕДО 3D СКАН.

Обработка происходит на модели геоида `egm2008_B20x85_L18x192`. Система высот – Балтийская.

Любому процессу обработки предшествует тщательный анализ исходных данных. В результате анализа, принято решение раскраски облака точек по интенсивности. На Рис. 10 представлено исходное облако точек в плане (для удобства добавлена базовая подложка – гибридная веб-карта Google Maps).

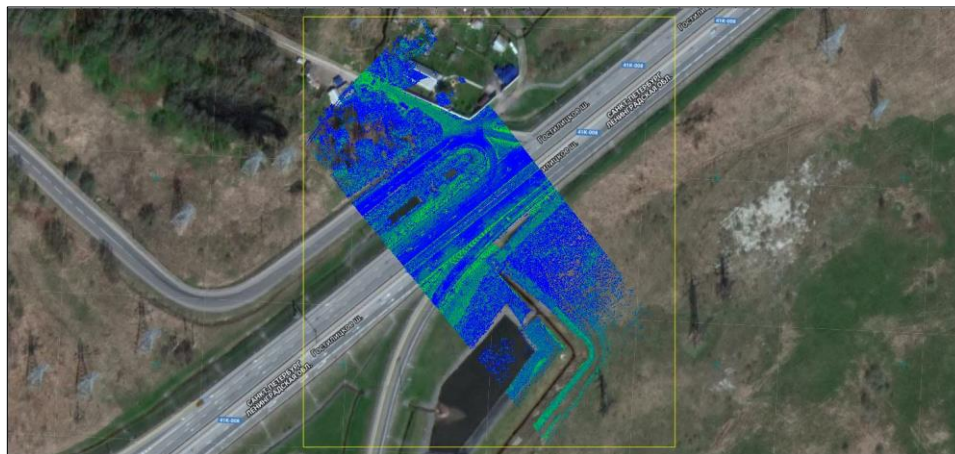


Рис. 10 – Исходное облако точек в плане

На Рис. 11 исходное облако точек представлено в трехмерном виде.

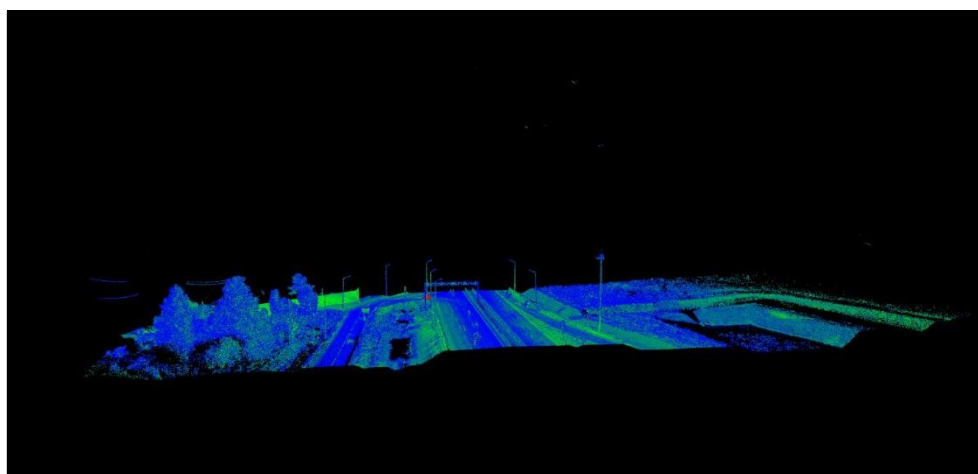


Рис. 11 – Исходное облако точек в трехмерном виде

Прежде всего, необходимо создать цифровую модель рельефа (ЦМР). Алгоритм создания цифровой модели рельефа состоит из нескольких шагов:

1. фильтрация загруженного облака точек;
2. выделение рельефа;
3. создание матрицы высот;
4. распознавание элементов рельефа (дорожное полотно, линии электропередач, дорожные знаки и т.д.);

5. создание непосредственно цифровой модели рельефа.

В первую очередь, необходимо произвести фильтрацию шумов ниже рельефа. В ходе данного процесса, удаляются отдельные изолированные точки шумов и небольшие кластеры точек подл рельефом на облаке точек, в котором наибольшая плотность точек обеспечивается на рельефе, а также низких объектах (трава, низкая растительность и т.д.). Данная операция происходит в несколько итераций. Кроме того, исходное облако точек явным образом содержит в себе ряд «шумных точек», которые видно невооруженным взглядом. Их необходимо удалить вручную посредством выделения. Данные точки представлены на Рис. 12.

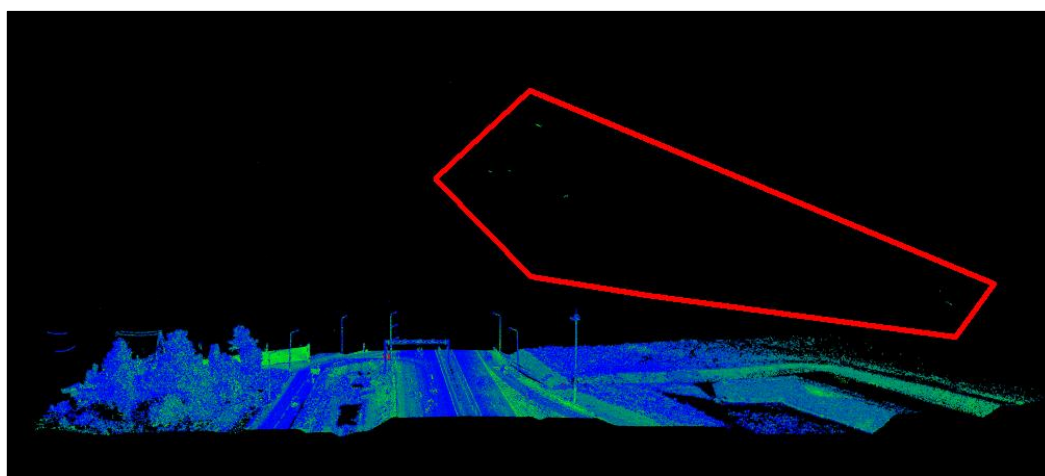


Рис. 12 – «Шумные» точки, которые необходимо удалить

После предварительной очистки, облако точек необходимо максимально структурировать (т.е. создать однородность и уменьшить количество точек без потери информативности). Это происходит посредством прореживания облака точек. Исходя из среднего интервала между точками 0,018 м в исходном облаке, индивидуально подобраны следующие параметры прореживания (представлены на Рис. 13):

Параметр	Значение
Среднее отклонение, м	0,030
Максимальное отклонение, м	0,030
Минимальная область аппроксимации, м	0,030
Максимальное расстояние м/у точками, м	0,030

Рис. 13 – Параметры прореживания облака

Ниже приведено описание параметров прореживания:

- *среднее отклонение* – среднее допустимое отклонение точек облака от нижней точки в текущем окне прореживающего фильтра, при котором точки будут удалены;

- *максимальное отклонение* – максимально допустимое отклонение точек облака от нижней точки в текущем окне прореживающего фильтра, при котором точки будут удалены;
- *минимальная область аппроксимации* – значение минимальной области, занимаемой микроформами рельефа;
- *максимальное расстояние между точками* – значение максимального расстояния между точками на плоских участках облака.

На Рис. 14 представлено результирующее прореженное облако точек. Без какой-либо глобальной потери информативности (по сравнению с исходным облаком), оно содержит в себе 6660878 точек.

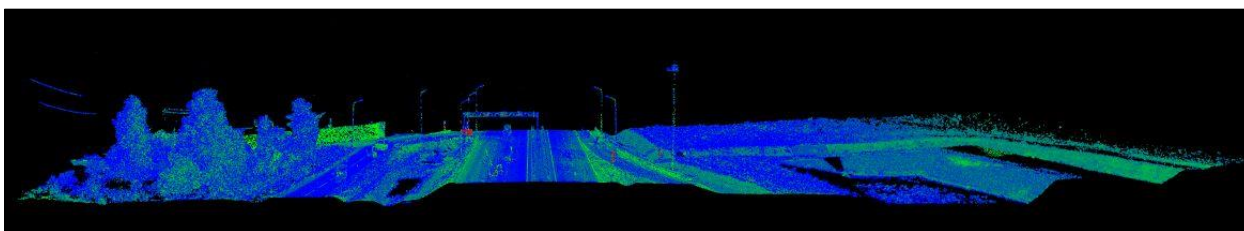


Рис. 14– Результирующее прореженное облако точек

Далее необходимо провести фильтрацию по плотности, которая происходит по следующим параметрам:

- *радиус поиска* – размер области, в которой выполняется автоматический поиск соседей;
- *минимальное число соседей* – порог количества соседей в радиусе поиска, определяющий, будет ли точка оставлена в результирующем облаке или удалена.

В результате анализа облака, для него были подобраны следующие параметры фильтрации (Рис. 15):

Параметр	Значение
радиус поиска, м	0,500
Мин. число соседей	60

Рис. 15– Параметры фильтрации облака точек по плотности

Результирующее облако представлено на Рис. 16.

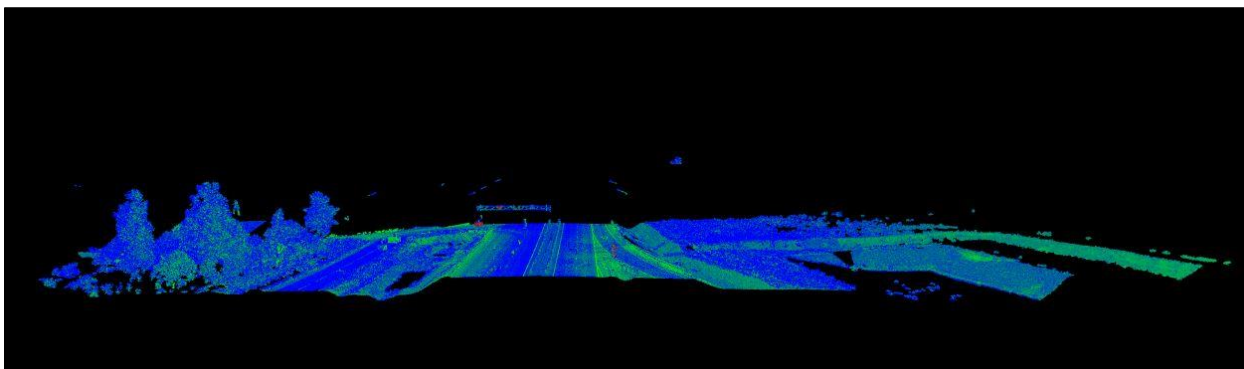


Рис. 16 – Облако, подвергнутое фильтрации по плотности

Следующим этапом является выделение рельефа. Данный этап осуществляется итеративно. Первая итерация представляет собой попытку автоматического выделения рельефа исключительно по эмпирически подобранному по шагу сетки (без выделения дополнительных критериев рельефности) – минимальному при сгущении триангуляции. Отметим, что значение не должно быть меньше расстояния между точками облака. С учетом предыдущих этапов, для данного облака точек подобран шаг 0,05 м. Результат представлен на Рис. 17:

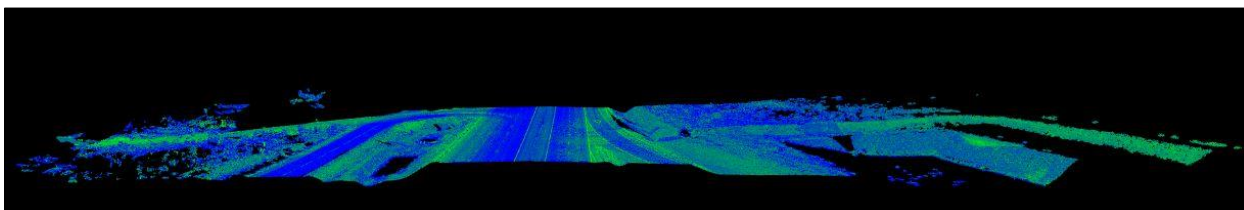


Рис. 17 – Автоматическое выделение рельефа по шагу сетки

На текущем этапе количество точек в облаке сократилось до 4909799.

Следующей итерацией станет автоматическое выделение рельефа с указанием критериев рельефности. Приведен параметры:

- **максимальный размер нерельефных объектов** – данный параметр определяет максимальный размер окна фильтра, т.е. фактически управляет максимальным размером нерельефных объектов (объекты большего размера, соответственно, фильтрации не подвергаются);
- **минимальная высота нерельефных объектов** – начальный порог превышения для минимального окна фильтра; высоты точек сравниваются с минимальным значением высот в текущем окне, а нерельефные объекты, высота которых меньше данного порога, из рельефа исключены не будут;

- *максимальная высота рельефных объектов* – конечный порог для максимального окна фильтров; все объекты меньше максимального размера окна, имеющие большее, нежели пороговое, значение высоты – срезаются;
- *максимальный уклон* – максимальное значение уклона для рельефа местности.

На Рис. 18 представлены подобранные для сэмпла критерии рельефности:

Параметр	Значение
Макс. размер нерельефных объектов, м	10,000
Мин. высота нерельефных объектов, м	2,000
Макс. высота рельефных объектов, м	2,000
Макс. уклон, °'''	15°00'00"

Рис. 19 – Автоматическое выделение рельефа по критериям рельефности

Остаточные шумы рекомендуется удалить вручную. Результирующее облако представлено на Рис. 20:

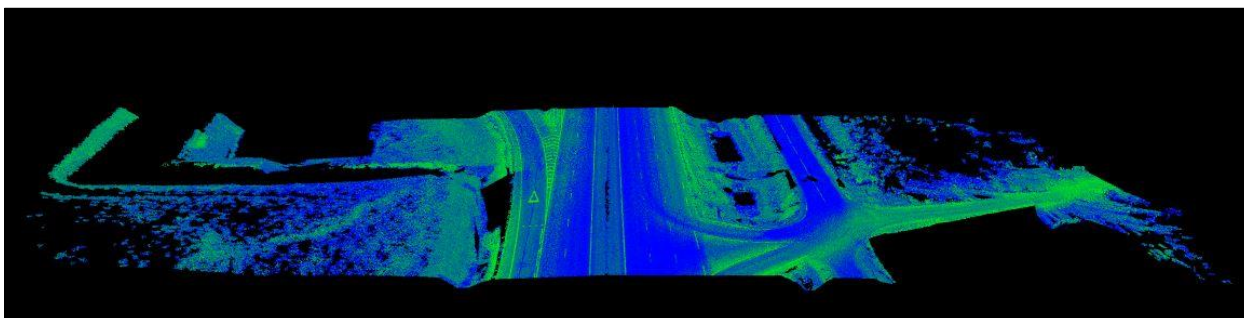


Рис. 20 – Облако точек с выделенным рельефом

Следующим важным этапом является создание матрицы высот. Для ее создания необходимо выбрать шаг. Следует учитывать, что меньший размер шага обеспечивает лучшее качество, но больший размер выходных данных. Предлагается **шаг матрицы 0,3 м**. Предварительная матрица высот с выбранным шагом представлена на Рис. 21:

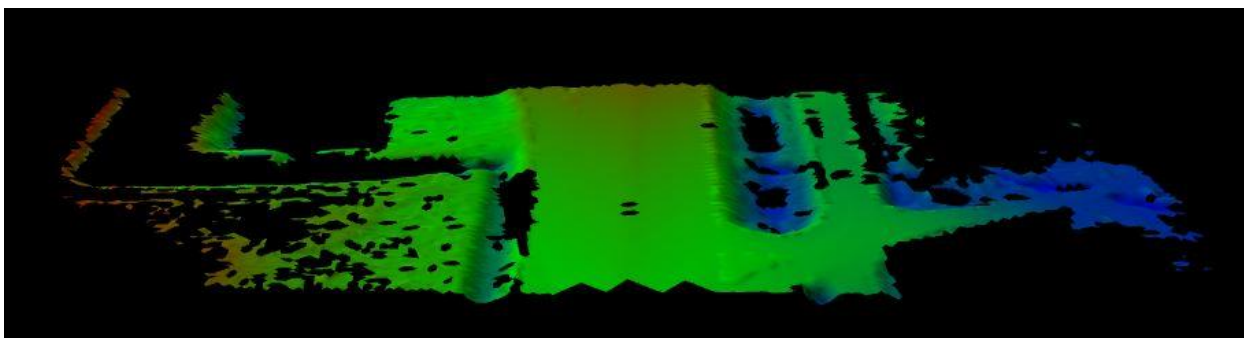


Рис. 21 – Предварительная матрица высот

Очевидно, что такую матрицу высот необходимо интерполировать, чтобы компенсировать образовавшиеся разрывы. Интерполяция происходит по **максимальной дистанции** (максимальному расстоянию до ближайшего узла матрицы при расчете высот для участков матрицы высот без значений). Для данной матрицы предлагается значение 50 м. Интерполированная матрица высот представлена на Рис. 22:

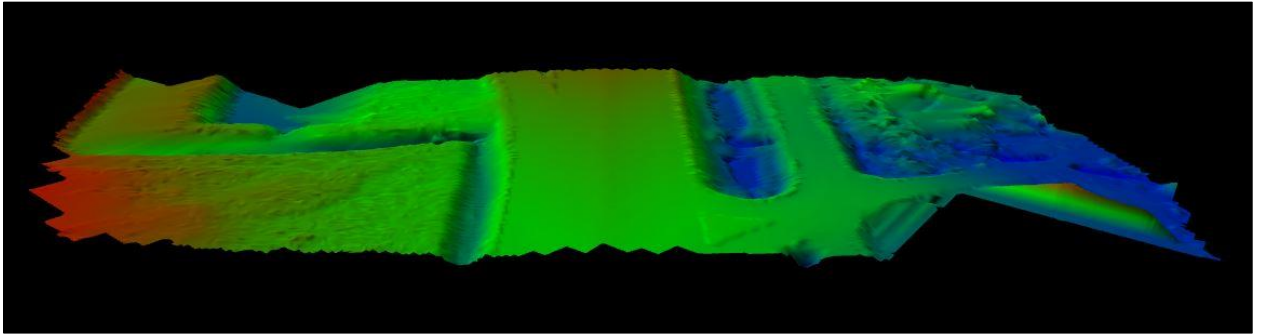


Рис. 22 – Интерполированная матрица высот

Итак, созданная модель рельефа выбирается в качестве активной. Далее по исходному облаку точек (с минимальной предварительной очисткой явных «шумов») возможно распознавание объектов ситуации (объектов дорожной инфраструктуры).

Прежде всего, рассмотрим распознавание линий электропередач. Для этого необходимо подобрать наиболее подходящие параметры высоты опоры (минимальной и максимальной). Предлагаются параметры 5 и 14 м. Затем, по окончании автоматического распознавания, необходимо проинспектировать корректность результатов вручную. На Рис. 23 и 24 и приведена корректно распознанная опора ЛЭП:

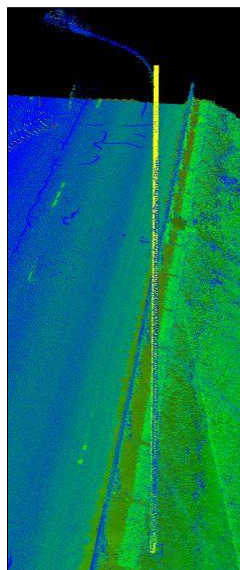


Рис. 23 – Корректное распознавание опоры ЛЭП

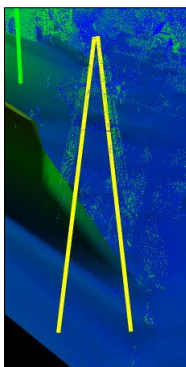


Рис. 24 – Корректно распознанная Л-образная опора

На Рис. 25 приведена ошибочно распознанная опора ЛЭП (фактически, это – стойка П-образной опоры):

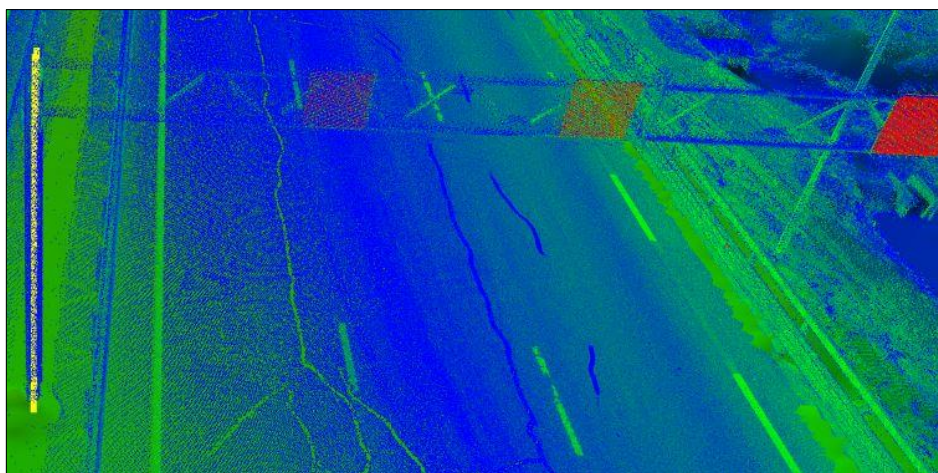


Рис. 25 – Некорректное распознавание опоры ЛЭП

Все некорректно распознанные объекты исключаются. Затем происходит автоматическое распознавание проводов ЛЭП по облаку точек на основании предварительно выделенных опор. Эксперимент по автоматическому распознаванию проводов ЛЭП не дал корректного результата. Необходимо осуществить разработку алгоритма по корректному распознаванию проводов ЛЭП.

Далее осуществляется автоматическое распознавание столбов дорожных знаков. Для этого необходима оцифрованная ось дороги, вдоль которой будет осуществляться поиск столбов. Она представлена на Рис. 26 (для конкретного примера оцифрована ось примыкающего съезда):

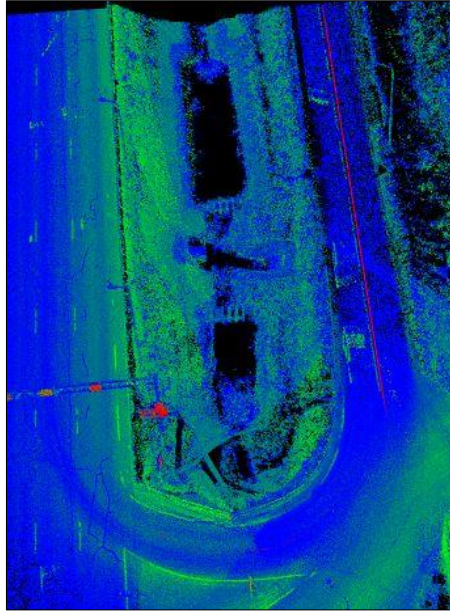


Рис. 26 – Ось дороги в оцифрованном виде

Также для распознавания столбов дорожных знаков необходимо задать ширину дороги. Что касается минимального и максимального значения высоты столбов, предлагаем от 2 до 4 м. Вдоль выбранного съезда корректно распознан. Рис. 27 столб дорожного знака (фактически, на данной опоре стоят 2 знака – предположительно, 4.1 и 8.23).

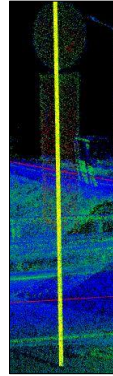


Рис. 27 – Корректно распознанный столб дорожного знака

Распознавание непосредственно дорожных знаков требует большего количества данных, нежели исключительно облака точек мобильного лазерного сканирования.

Следующий шаг – автоматическое распознавание бордюрного камня. Здесь предлагаются следующие параметры (Рис. 28):

Шаг профилей, м	0,100
Продольное усреднение, м	0,500
Значение порога (отн. СКО)	5
Ширина дороги, м	40,000

Рис. 28– Предлагаемые параметры автоматического распознавания бордюров

Данный эксперимент на основании одного лишь облака точек дал достаточно приемлемый результат (Рис. 29):

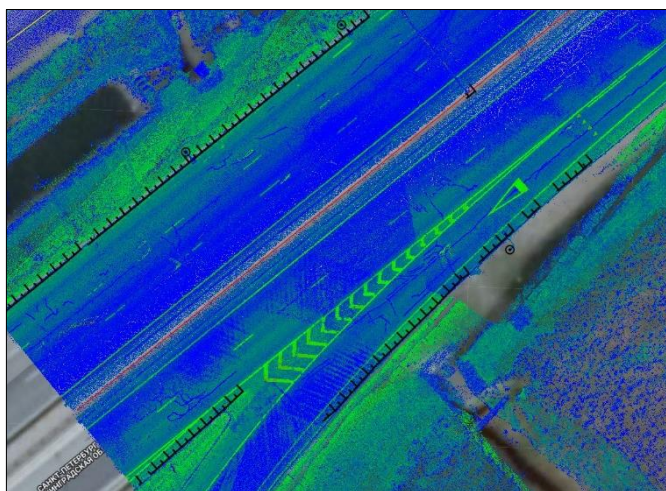


Рис. 29 – Результаты автоматического распознавания бордюров

Следующим шагом станет автоматическое распознавание дорожной разметки. Она основана на классификации с предварительным обучением. Результат автоматического распознавания дорожной разметки исключительно по облаку точек также можно назвать достаточно приемлемым (Рис. 30), но, безусловно, требующим ручной коррекции.

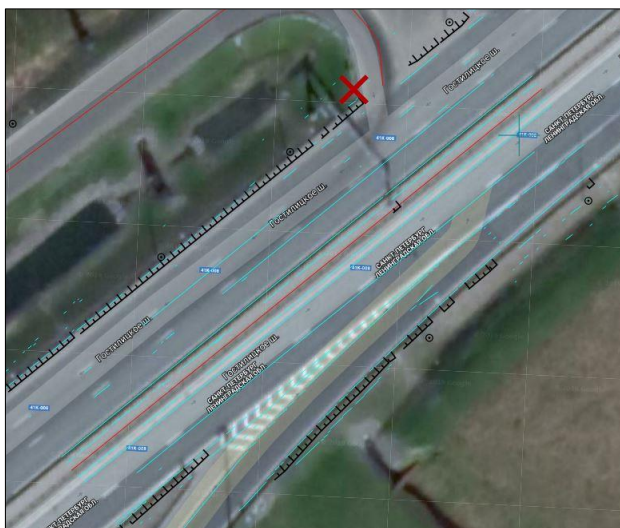


Рис. 30 – Результаты автоматического распознавания дорожной разметки

Дальнейший этап – распознавание кромок проезжей части по облаку точек. Результат сопоставим с результатами распознавания бордюров и разметки (Рис. 31):



Рис. 32 – Результаты распознавания кромок проезжей части

Таким образом, апробированы ручная и полуавтоматическая технологии обработки данных лазерного сканирования с точки зрения выделения объектов дорожной инфраструктуры.

3.2 Разработка файловой базы геоданных объектов дорожной инфраструктуры

Для разработки файловой базы геоданных выбрано программное обеспечение ESRI ArcGIS. Данное программное обеспечение является передовым и обеспечивает широкие и всесторонние возможности работы с базами геоданных и геоинформационными моделями. Структура базы геоданных разработана в соответствии с тем перечнем объектов дорожной инфраструктуры, на которые сделан упор в формировании геоинформационной модели.

Файловая база геоданных состоит из наборов классов объектов и пространственных классов. Набор классов объектов соответствует выделяемой группе объектов дорожной инфраструктуры, а пространственные классы – непосредственно объектам.

В первую очередь, в программе ArcCatalog была создана файловая база геоданных, получившая название SPb_RINGROAD_SECTION_MODEL.gdb. Название является дословным англоязычным переводом наименования «Фрагмент Санкт-Петербургской кольцевой автомобильной дороги».

Система координат хранения файловой базы геоданных – WGS 1984 (EPSG:4326).

Для элементов разбивки автомобильной дороги на километровые участки создан набор классов объектов LAYOUT. Структура данного набора классов объектов приведена в Табл. 1.

Таблица 1. Структура набора классов объектов LAYOUT

Пространственный класс	Объект
km_post	Километровые знаки
KM_ROUTES	Маршруты километровых участков внешнего и внутреннего колец фрагмента Кольцевой автомобильной дороги г. Санкт-Петербурга
KM_BUFFERS	Буферные полигоны километровых участков внешнего и внутреннего колец фрагмента Кольцевой автомобильной дороги г. Санкт-Петербурга

Для объектов дорожной инфраструктуры создан набор классов объектов ОБЪЕКТ. Он состоит из следующих пространственных классов:

- road_signs – дорожные знаки;
- illumination_poles – столбы освещения.

Пространственные классы KM_ROUTES и KM_BUFFERS являются выходными данными алгоритма разбивки участка автомобильной дороги. Полученные данные для внешнего и внутреннего колец объединяются в один пространственный класс, вводится дополнительный атрибут принадлежности к одному из колец (атрибут ring короткого целочисленного типа).

Для каждого пространственного класса также разрабатывается структура атрибутивной таблицы. В нижеследующих таблицах (2, 3, 4) приведена структура атрибутивных таблиц пространственных классов, а также перечень доменных словарей.

Таблица 2. Перечень доменных словарей в файловой базе геоданных

Наименование домена	Для какого типа полей	Тип домена	Описание домена
ring	Короткое целочисленное	Закодированные значения	Параметр принадлежности к

			кольцу (1 – внутренне, 2 – внешнее)
boolean	Короткое целочисленное	Закодированные значения	Параметр да/нет (0 – нет, 1 – да)

Таблица 3. Структура атрибутивной таблицы пространственного класса дорожных знаков

Наименование атрибутивного поля	Тип атрибутивного поля	Домен	Описание атрибутивного поля
CharacterGOST	Текстовое		Номер знака по ГОСТ
AdditionalInf	Текстовое		Дополнительная информация
GOST_compliance	Короткое целочисленное	boolean	Соответствие знака ГОСТ (да/нет)
Individual	Короткое целочисленное	boolean	Знак индивидуального проектирования (да/нет)
ring	Короткое целочисленное	ring	Параметр принадлежности к внешнему или внутреннему кольцу
km	Целочисленное		Линейная адресация (км)
m	Целочисленное		Линейная адресация (м)
GUID	guid		Уникальный идентификатор

Таблица 4. Структура атрибутивной таблицы пространственного класса столбов освещения

Наименование атрибутивного поля	Тип атрибутивного поля	Домен	Описание атрибутивного поля
km_vnesh	Целочисленное		Линейная адресация по внешнему кольцу (км)
m_vnesh	Целочисленное		Линейная адресация по внешнему кольцу (м)
km_vnutr	Целочисленное		Линейная адресация по внутреннему кольцу (км)
m_vnutr	Целочисленное		Линейная адресация по внутреннему кольцу (м)
GUID	guid		Уникальный идентификатор

3.3 Разбивка участка Кольцевой автомобильной дороги г. Санкт-Петербурга

Разбивка участка Кольцевой автомобильной дороги осуществлялась в соответствии с технологией, описанной в Главе 2.

Особенность Кольцевой автомобильной дороги является движение по внешнему и внутреннему кольцам. Для каждого из колец предусмотрена своя разбивка, соответствующая индивидуальную нумерацию километровых столбов. В этой связи, разбивка производилась для каждого из колец. Ниже приведены результаты.

Для реализации разработанной технологии использовалось программное обеспечение ESRI ArcGIS.

На Рис. 33 приведен фрагмент исходных данных для разбивки участка автомобильной дороги.

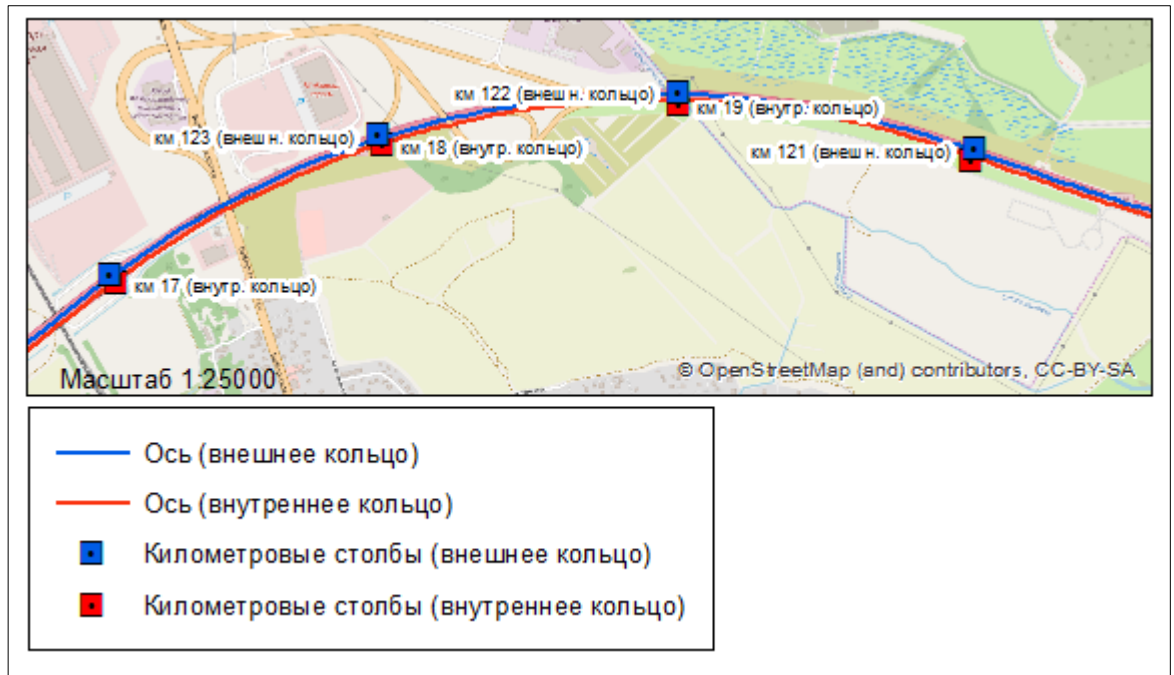


Рис. 33 – Фрагмент исходных данных для разбивки участка автомобильной дороги

Далее описана апробация данного метода по имеющимся исходным данным.

ArcMap представлен широким набором инструментов работы с линейными системами координат. Один из ключевых инструментов – Мастер геообработки событий (Route Event Geoprocessing Wizard), который комбинирует в себе ряд описанных теоретически в Главе 2 функций.

Нижеприведенная цепочка действий описана на примере внешнего кольца. Аналогично были обработаны исходные данные по внутреннему кольцу.

В первую очередь, данные переводят в систему координат отображения, где единицами измерения являются метры. В данном случае, это UTM Zone 36N.

С помощью Мастера геообработки событий километровые знаки были размещены вдоль объекта-маршрута – осевой линии. Как видно из Рис. 34, в ходе данной операции выполняется анализ близости. Критерий – точечные объекты должны находиться в радиусе до 50 м от

Столбы освещения получают двойную адресацию – по внешнему и по внутреннему кольцу. Для каждого из колец предусмотрен отдельный запуск модели и отдельные выходные ведомости.

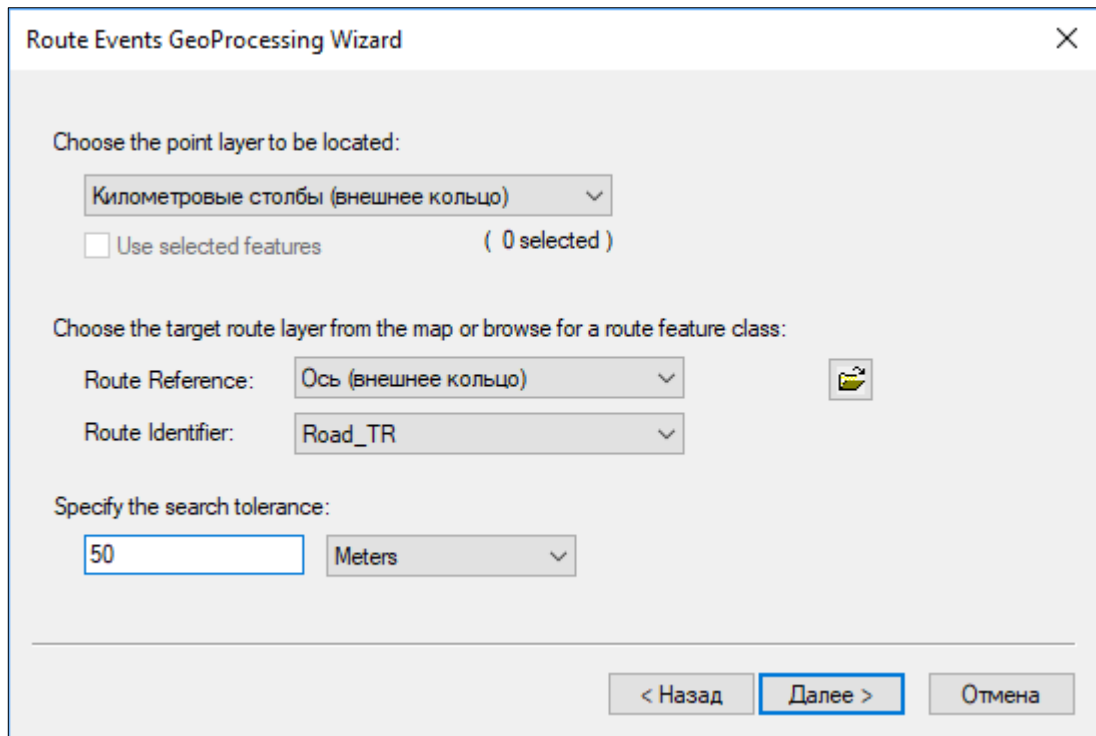


Рис. 34 – Размещение километровых знаков вдоль осевой линии с помощью Мастера геообработки событий

На Рис. 35 представлен слой событий, визуализирующий размещенные вдоль оси километровые знаки.

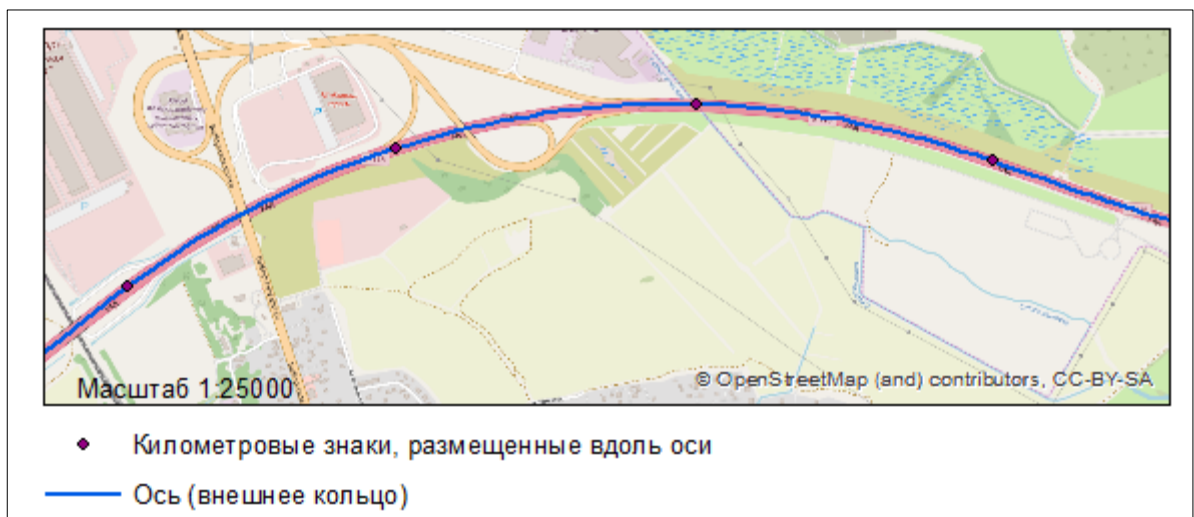


Рис. 35 – Километровые знаки, размещенные вдоль оси

Далее, с помощью инструмента разбивки линии в точке (Split Line at Point), осевая линия была разбита в местах пересечений с размещенными вдоль нее километровыми знаками (интерфейс инструмента представлен на Рис. 36).

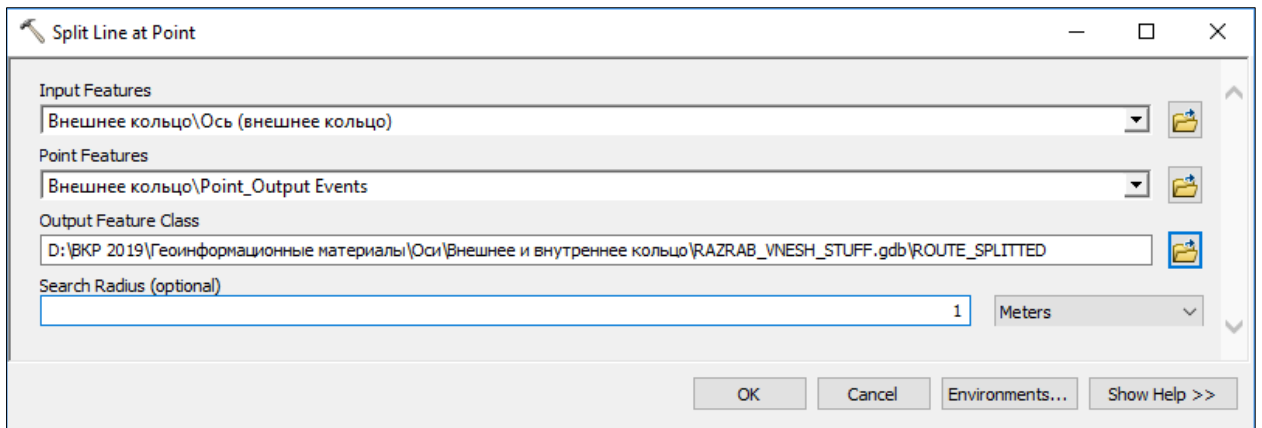


Рис. 36 – Интерфейс инструмента разбивки линии в точке

С помощью калькулятора полей размещенные вдоль оси километровые знаки были смещены на 1 м (Рис. 37).

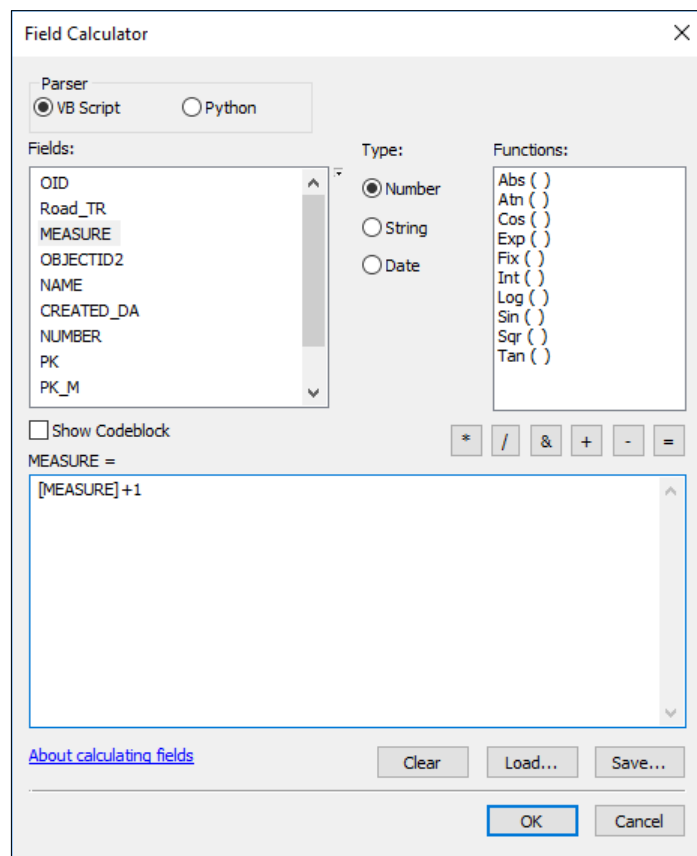


Рис. 37 – Искусственное смещение размещенных вдоль осей знаков на 1 м

После смещения, было произведено пространственное соединение атрибутов размещенных вдоль оси километровых столбов и километровых участках. Для пространственного соединения, которое является оверлейной операцией, в ArcGIS предусмотрен соответствующий инструмент (Spatial Join, Рис. 38). При этом подготавливается структура атрибутивной таблицы – номер километрового знака, начало измерений, конец измерений.

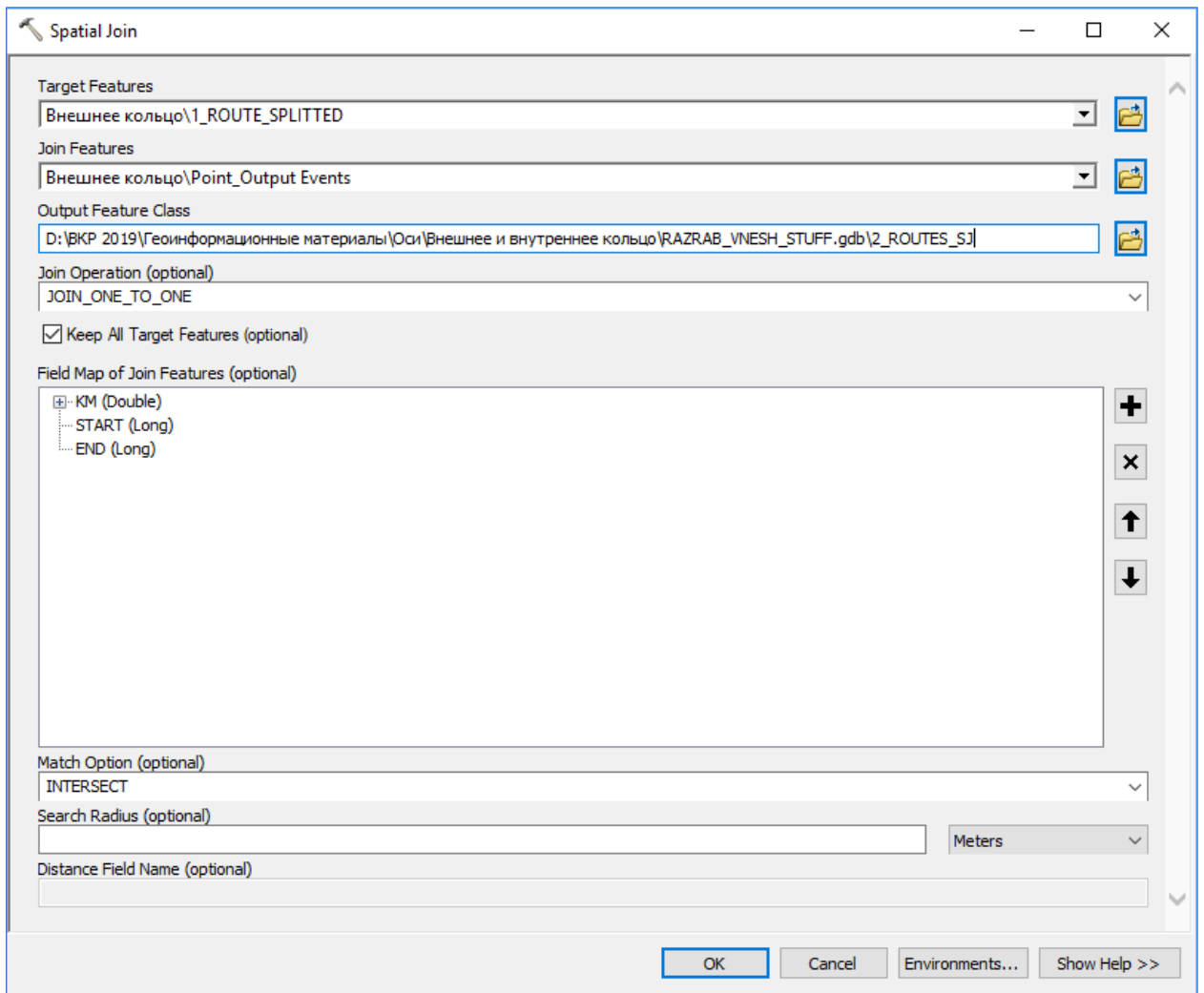


Рис. 38 – Пространственное соединение километровых знаков, размещенных вдоль оси и километровых участков (с помощью инструмента Spatial Join)

Корректность результата подтверждается количеством присоединений (Join Count; Рис. 39) – по 1 на каждый участок. Начало измерений для каждого участка составляет 0 (стандартно), конец – длина участка, которая рассчитывается с помощью функции Калькулятор геометрии. Таким образом, атрибутивная таблица подготовлена для создания объектов-маршрутов.

FID	Shape *	Join Count	TARGET FID	KM	START	END	Shape Length
1	Polyline M	0	1	25	384	1000	0,006312
66	Polyline M	1	66	26	0	996	0,009044
54	Polyline M	1	54	27	0	997	0,009496
53	Polyline M	1	53	28	0	1000	0,012265
52	Polyline M	1	52	29	0	1027	0,015907
51	Polyline M	1	51	30	0	984	0,016286
55	Polyline M	1	55	31	0	1001	0,016561
56	Polyline M	1	56	32	0	1006	0,016648
57	Polyline M	1	57	33	0	999	0,017301
59	Polyline M	1	59	34	0	1004	0,017881
58	Polyline M	1	58	35	0	993	0,016922
60	Polyline M	1	60	36	0	988	0,014363
35	Polyline M	1	35	37	0	1000	0,011177
34	Polyline M	1	34	38	0	999	0,00972
33	Polyline M	1	33	39	0	1001	0,009773
37	Polyline M	1	37	40	0	1000	0,011465
36	Polyline M	1	36	41	0	1011	0,013691
2	Polyline M	1	2	42	0	1002	0,014957
3	Polyline M	1	3	43	0	1006	0,017754
4	Polyline M	1	4	44	0	1000	0,017801
5	Polyline M	1	5	45	0	998	0,017758
6	Polyline M	1	6	46	0	1006	0,01767
7	Polyline M	1	7	47	0	999	0,016913
8	Polyline M	1	8	48	0	1007	0,017043
10	Polyline M	1	10	49	0	990	0,017164
9	Polyline M	1	9	50	0	1000	0,017617
12	Polyline M	1	12	51	0	993	0,016455
11	Polyline M	1	11	52	0	1006	0,017687
15	Polyline M	1	15	53	0	997	0,017776
14	Polyline M	1	14	54	0	1012	0,018036
13	Polyline M	1	13	55	0	987	0,017558
16	Polyline M	1	16	56	0	1984	0,035095
19	Polyline M	1	19	58	0	982	0,015696
18	Polyline M	1	18	59	0	1024	0,015823
17	Polyline M	1	17	60	0	997	0,015998
21	Polyline M	1	21	61	0	1022	0,016934
22	Polyline M	1	22	62	0	975	0,012576
20	Polyline M	1	20	63	0	989	0,016748

Рис. 39 – Подготовленная для создания объектов-маршрутов таблица атрибутов

Для создания объектов-маршрутов функционал ArcGIS предусматривает инструмент Create Routes. В качестве идентификаторов маршрутов задается номер километрового знака. Начальная координата M соответствует значениям атрибутивного поля Start, конечная – значениям поля END. Получившиеся объекты маршруты сохраняются в базу данных в предусмотренный для них пространственный класс KM ROUTES.

Далее, для завершения разбивки, создаются буферные полигоны для маршрутов километровых участков. Буферные зоны являются одним из способов анализа близости.

Для их создания предусмотрен соответствующий инструмент геообработки. В стандартных случаях (дорога с прямым и обратным ходом) создается двухсторонний прямоугольный буфер по 50 м с обеих сторон (пример приведен на Рис. 40). В случае с Кольцевой автомобильной дороги, для каждой из осей создавался правосторонний буфер 25 м и левосторонний буфер 10 м. Затем, буферы объединялись по критерию принадлежности к кольцу и номеру километрового участка (который совпадает с номером присоединенного километрового знака). Итоговый пространственный класс KM_BUFFERS был сохранен в файловую базу геоданных объектов дорожной инфраструктуры. Буферы для каждого из колец были объединены в один пространственный класс, а для разграничения был введен атрибут принадлежности к кольцу по аналогии с иными пространственными классами, предусмотренными в базе.

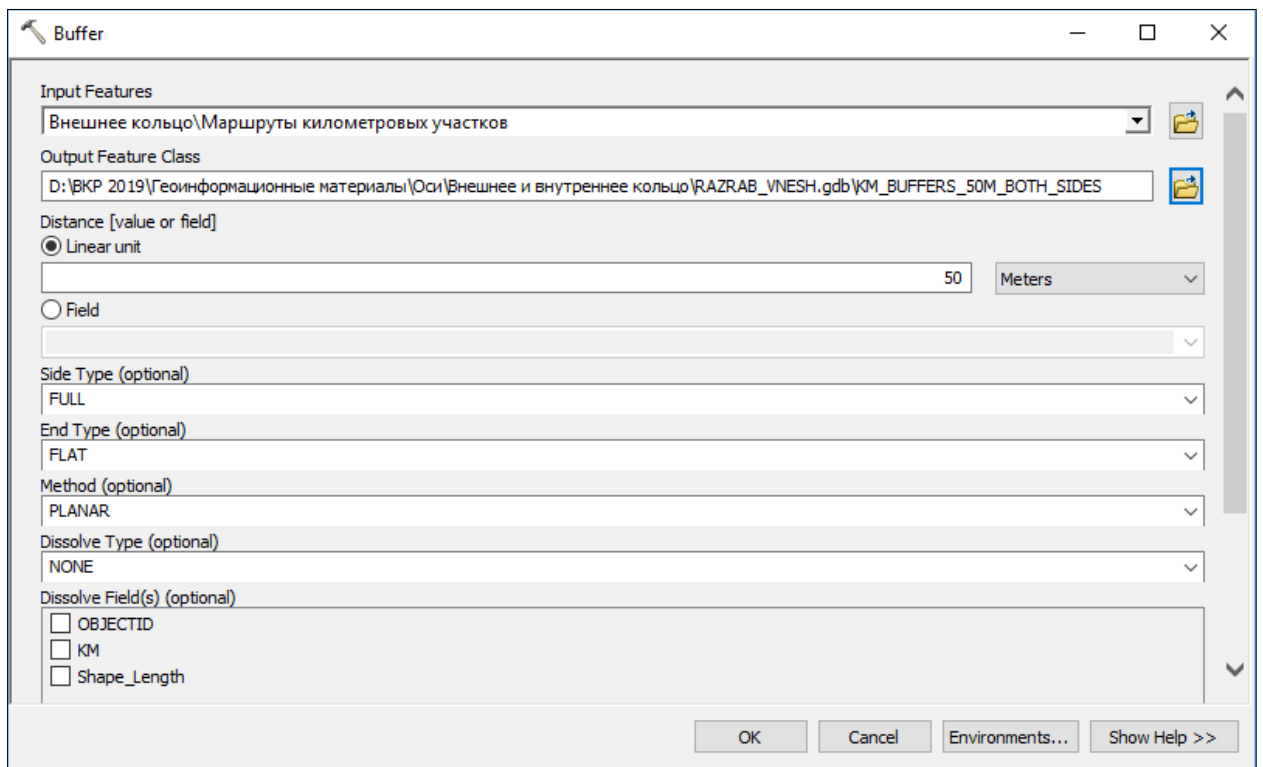


Рис. 40 – Инструмент создания буферных полигонов

3.4 Расчет линейной адресации объектов дорожной инфраструктуры

На основании метода, приведенного в Главе 2, разработан алгоритм автоматического расчета линейной адресации для объектов дорожной инфраструктуры.

Для разработки выбрано программное обеспечение FME от канадского производителя Safe Software. FME является мощным и универсальным инструментом обработки графических и семантических данных. Данное программное обеспечение позволяет разрабатывать технологические цепочки, а именно – модели обработки вышеуказанных данных. Кроме

того, важным преимуществом является возможность получения пробной лицензии для студентов на время обучения.

FME поддерживает множество форматов растровых и векторных данных. Среди них – пространственные классы файловых баз геоданных, а также данные лазерного сканирования, что полностью соответствует тематике данной работы. FME позволяет осуществлять пространственный и геоинформационный анализ.

Принцип построения моделей в FME следующий: задаются классы входных данных и цепочка преобразований. Выходные данные записываются в новые классы заданного формата.

В рамках апробации алгоритма автоматизированного расчета линейной адресации объектов дорожной инфраструктуры, были разработаны универсальные модели для расчета адресации точечных и линейных объектов. Цепочка обработки данных полностью соответствуют приведенной ранее методике. Таким образом, были разработаны следующие модели:

- расчет линейной адресации при непосредственном размещении точечных объектов вдоль линейных объектов-маршрутов;
- расчет линейной адресации с извлечением точек из всех узлов объекта (для объектов, имеющих протяженность).

Исходя из вышеописанного, сущность моделей одинакова, с наличием частных отличий в зависимости от типа объекта.

Входными данными служат пространственные классы базы данных объектов дорожной инфраструктуры, включая элементы разбивки участка автомобильной дороги.

Прежде всего, для расчета адресации вводится переменная «km». Значение переменной (а именно – номер километрового участка) является критерием выборки километрового участка. Уже для выбранного километрового участка происходит выборка объектов. Размещение попавших в выборку объектов происходит вдоль соответствующего километрового участка. На Рис. 41 приведен вид модели в FME:

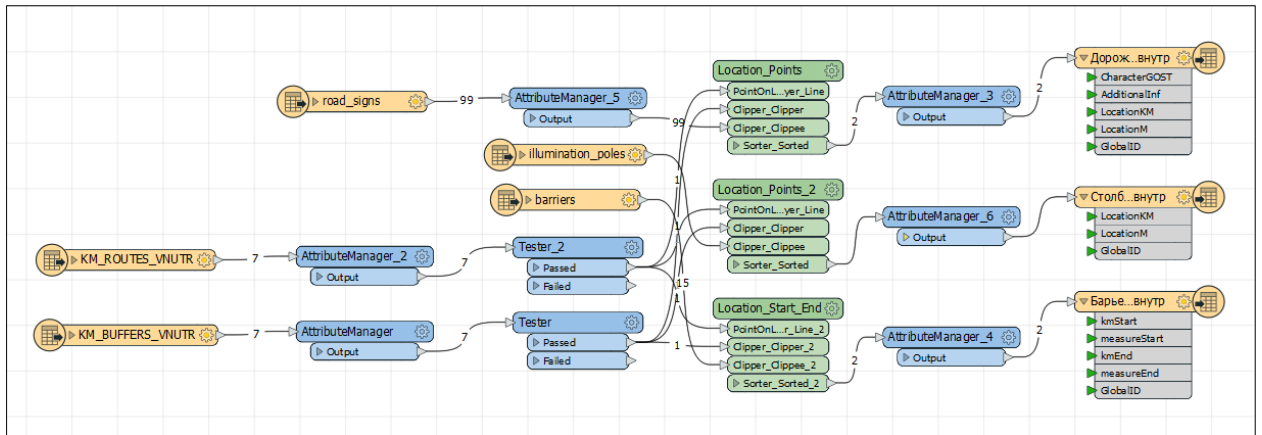


Рис. 41 – Расчет линейной адресации в FME

Для запуска модели в командной строке используется специальный *.bat-файл, в котором прописываются все значения переменной «km». Вид bat-файла – на Рис. 42. Рис. 43 демонстрирует работу модели в командной строке.

```

ADDRESS — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
chcp 1251
fme D:\FME\ADDRESS.fmw --km 17
fme D:\FME\ADDRESS.fmw --km 18
fme D:\FME\ADDRESS.fmw --km 19
fme D:\FME\ADDRESS.fmw --km 20
fme D:\FME\ADDRESS.fmw --km 21
fme D:\FME\ADDRESS.fmw --km 22
fme D:\FME\ADDRESS.fmw --km 23
  
```

Рис. 42 – Параметры запуска алгоритма расчета линейной адресации в FME в командной строке

```

C:\windows\system32\cmd.exe
D:\FME>chcp 1251
Текущая кодовая страница: 1251

D:\FME>fme D:\FME\ADRESS.fmw --km 17
      FME 2019.0.0.1 (20190415 - Build 19246 - WIN32)
      FME Database Edition (node locked-crc)
      Temporary License: 90 days left.
      Machine host name is: LAPTOP-LQT542II
      Operating System: Microsoft Windows 10 64-bit (Build 17134)
      Copyright (c) 1994 - 2019, Safe Software Inc.
      Safe Software Inc.

Reading...
Emptying factory pipeline.....
Translation was SUCCESSFUL

D:\FME>fme D:\FME\ADRESS.fmw --km 18
      FME 2019.0.0.1 (20190415 - Build 19246 - WIN32)
      FME Database Edition (node locked-crc)
      Temporary License: 90 days left.
      Machine host name is: LAPTOP-LQT542II
      Operating System: Microsoft Windows 10 64-bit (Build 17134)
      Copyright (c) 1994 - 2019, Safe Software Inc.
      Safe Software Inc.

```

Рис. 43 – Запуск модели расчета адресации в командной строке

Выходной продукт – ведомость адресации в формате Microsoft Excel с указанием линейной адресации и линейным идентификатором. На Рис. приведен пример ведомости барьерных ограждений, а на Рис. – фрагмент ведомости дорожных знаков. Стоит обратить внимание, что ведомость должна пройти некоторую ручную обработку, в соответствии с описанной в Главе 2 технологий (выборка начала и конца объекта по уникальному идентификатору).

На Рис. 44 и 45 продемонстрированы фрагменты выходных ведомостей.

kmStart	measureStart	kmEnd	measureEnd	GlobalID
17	3	17	83	{B5C64ACF-AB82-4435-B0B7-279B09EB3788}
17	70	17	995	{02B16BE0-1E82-44AB-A4F2-11AB617E516F}
18	2	18	472	{02B16BE0-1E82-44AB-A4F2-11AB617E516F}
18	450	18	485	{37A574C2-6630-4EC2-B270-C6E4A46CAC97}
18	450	18	647	{B6008BEC-84A4-4EA7-ADEA-99F3A8995591}
18	601	18	647	{A806C5D3-A3A6-4B68-899F-EBD436A235B1}
18	636	18	996	{31A8C127-B428-45A5-8A5B-893F5F89ADEE}
19	0	19	990	{31A8C127-B428-45A5-8A5B-893F5F89ADEE}
20	0	20	436	{31A8C127-B428-45A5-8A5B-893F5F89ADEE}
20	470	20	999	{47B75A51-07A2-440D-8087-C36A997B81E6}
21	7	21	1002	{814FB3B9-7741-49AC-83BE-2BE55D8FF5C8}
22	0	22	997	{814FB3B9-7741-49AC-83BE-2BE55D8FF5C8}
23	0	23	671	{814FB3B9-7741-49AC-83BE-2BE55D8FF5C8}
23	669	23	688	{3AE9D1B2-C5EF-4D73-B71E-4E5FC08E1F08}

Рис. 44– Ведомость барьерных ограждений

CharacterGOST	AdditionalInf	LocationKM	LocationM	GlobalID
4.1.1	<Null>	17	99	{55D6936F-C94C-4204-87FC-FF6BD01DC6B8}
2.4	<Null>	17	99	{E5147797-B2CD-4392-B83C-20E7792A6949}
5.1	<Null>	17	162	{A67B893B-801A-44AA-B9DF-B060ADACFB92}
5.15.5	<Null>	17	329	{5199BEE2-8FB2-41B2-AAE9-7227D6A5598A}
6.9.1	(Мурманское шоссе 800 м)	17	401	{C5E3EA38-C5F2-4242-A8F6-400CD7B9EB91}
7.15	<Null>	17	493	{BBEDF7CB-5DA1-4A89-B8E1-EC2663C57F58}
6.9.1	(Мурманское шоссе 300 м)	17	986	{A7264BFA-9050-42DF-851A-7EFDD430ACE6}
6.10.2	(300m)	18	110	{11B5F7F6-C9DA-42D9-9D86-19A495D11A25}
5.15.3	<Null>	18	176	{0FFF85A8-E451-4D5A-B153-37F4061F1464}
6.10.2	(200m)	18	218	{06BE1DFC-767B-4362-AF4D-5E2FC3F84380}
5.15.2	(st)	18	285	{8C933801-A7C6-4A55-B4BD-41E9D087F4FC}
5.15.2	(st)	18	286	{C214D66C-29C2-4B8F-91E0-D9FD92371B5F}
5.15.2	(R45)	18	287	{7D7E353F-CE6D-48B9-8FFA-B2CDA48FA8B4}
6.10.2	(100m)	18	310	{89E0980C-8EC9-4EC1-BBC2-17ACE3A53CD3}
6.10.1	(Мурманское Московское шоссе)	18	359	{1194B3BA-F2D5-4D65-8073-6EE7A10599E6}
6.10.1	(Выборг Парголово)	18	361	{5D196231-C9CC-41FB-8CBE-13B62F8D9917}
6.10.2	<Null>	18	409	{283D327A-1A90-4A1A-8BDF-CBD7F7FF394B}
6.2	(40)	18	445	{B9D463D2-09C2-49EF-8416-5BF788937E08}
8.22.3	<Null>	18	458	{6BCE27D7-C2E0-45D6-8DDF-B85DBC73A442}
4.2.3	<Null>	18	458	{EB16CE68-4079-4D41-9E61-68D904432E05}
5.2	<Null>	18	462	{3ED17093-63C0-446C-963D-C79DA9000AC1}
4.1.1	<Null>	18	648	{DBD69E68-C3A2-4FD8-931E-EDA852794A64}
2.1	<Null>	18	648	{CAF696E5-CA7B-4069-B40E-72DC915D6C17}
2.2	<Null>	18	662	{CABB379B-0C43-4CFA-8D8F-4732FA2AFC26}
2.4	<Null>	18	662	{67121C8F-6E7B-4780-BE1B-7B99B234FB3A}
4.1.1	<Null>	18	662	{92A29402-394D-4603-818D-FB3249206EE0}
5.1	<Null>	18	718	{6D283635-3F8F-4FA1-83B3-B376C68D3F35}
5.15.5	<Null>	18	904	{AC280AFC-5CF4-4E12-B04E-FFDF436173A6}

Рис. 45 – Фрагмент ведомости дорожных знаков

Полученная информация интегрируется в геоинформационную модель (присоединяется к атрибутивной таблице необходимого класса с помощью уникального идентификатора, а исходные атрибуты адресации присваиваются с помощью калькулятора полей).

3.5 Картографическая визуализация. Автоматический разворот дорожных знаков по направлению движения

Картографическая визуализация является одним из важнейших аспектов геоинформационного моделирования. В особенности, это касается дорожных знаков, как наиболее важного объекта обустройства, в вопросах содержания и безопасности организации дорожного движения.

Для решения задачи визуализации дорожных знаков в соответствии с требованиями по ГОСТ необходим выбор специализированного программного обеспечения. В итоге, выбор был сделан в пользу отечественного решения, IndorRoadSigns. Преимуществом программы является встроенная база знаков, соответствующая национальному стандарту, а также широкие возможности для отрисовки знаков индивидуального проектирования. Кроме того, присутствует пробная версия программы, а цена на приобретение полноценной лицензии достаточно невысокая. Интерфейс данной программы представлен на Рис. 46.

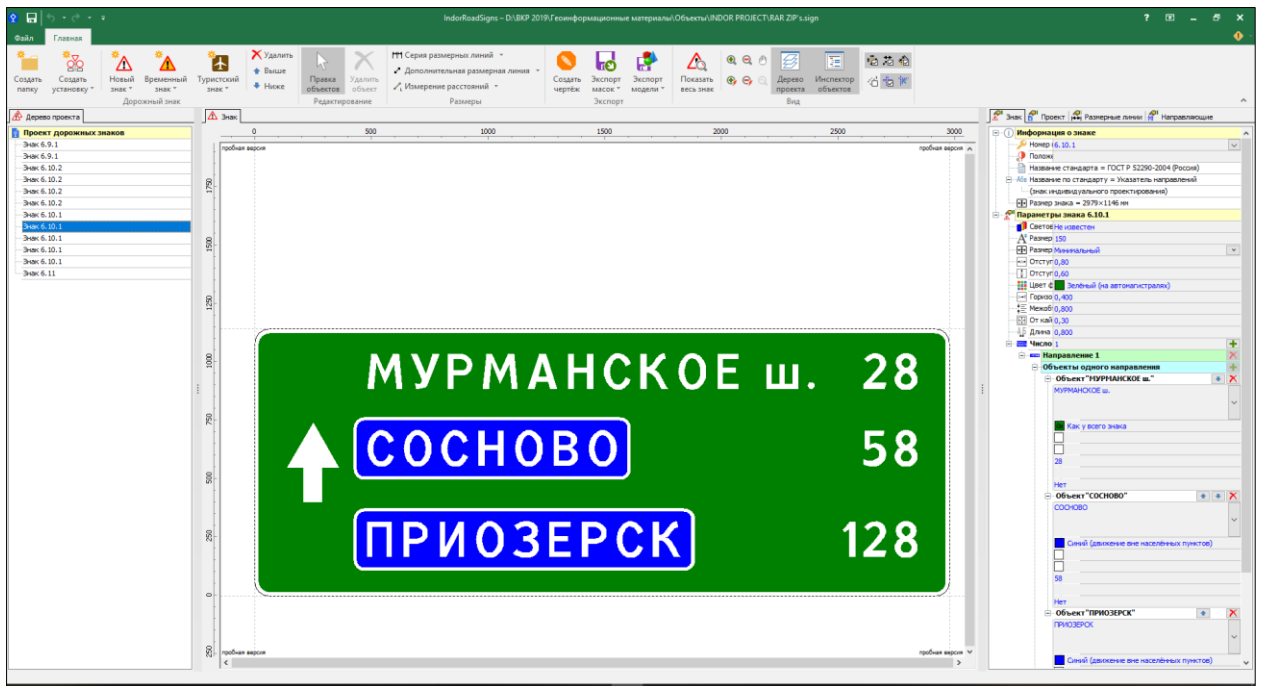


Рис. 46 – Разработка дорожных знаков в программе IndorRoadSigns

В результате создания базы знаков, был разработан слой *.lyr для геоинформационной модели. Данный слой предусматривает выборку символики по двум полям: номер по ГОСТ и поле дополнительной информации. Такая организация, в сочетании с отрисовкой в IndorRoadSigns, позволяет учесть на геоинформационной модели все уникальные случаи дорожных знаков, и – в первую очередь – знаки индивидуального

проектирования. На Рис. 47 представлена организация слоя символики в геоинформационной модели.

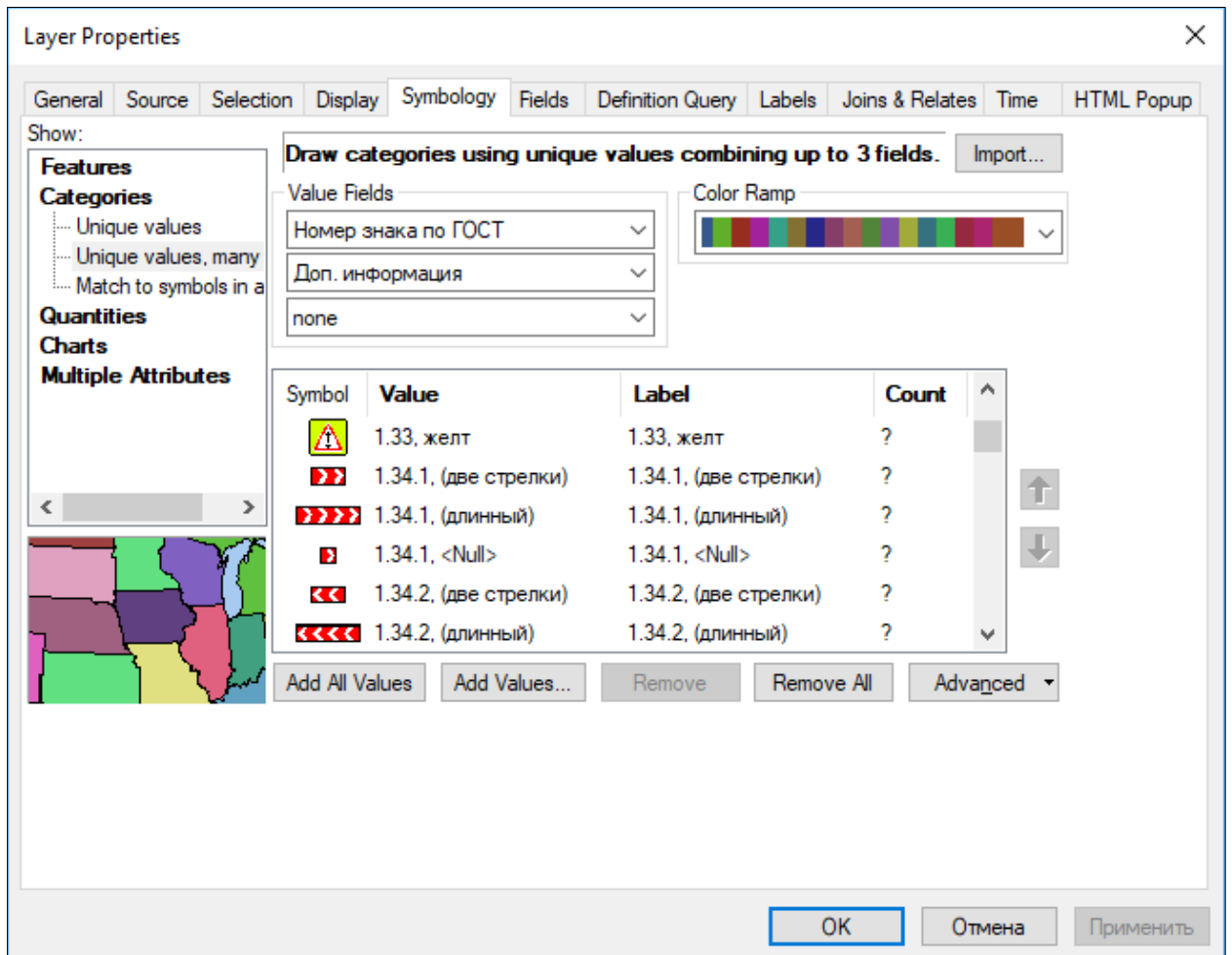


Рис. 47– Символика слоя дорожных знаков

База знаков предусматривает различные случаи и является универсальным продуктом.

Дорожные знаки являются объектом тематического картографирования. Также они являются одними из ключевых объектов проектирования автомобильных дорог. Поэтому важно, чтобы в геоинформационной модели они были развернуты вдоль направления движения. Таким образом, пользователь модели максимально погружается в фактическую дорожную обстановку, а для проектировщиков расширяются возможности принятия проектных решений.

Апробация алгоритма разворота знаков вдоль направления движения дала положительные результаты.

Также картографической визуализации подверглись остальные объекты, включенные в модель. Приложение представляет собой тематическую карту «Фрагмент

геоинформационной модели объектов дорожной инфраструктуры Кольцевой дороги г. Санкт-Петербурга (А-118) по результатам данных лазерного сканирования».

3.6 Создание тематических карт. Оценка результатов

Одним из наиболее действенных методов оценки результатов создания геоинформационной модели является создание тематических карт. Тематические карты наиболее выразительно демонстрируют результаты и практическое применение исследования.

В ходе оценки результатов были созданы 4 тематические карты.

1. Разбивка участка автомобильной дороги А-118 (Кольцевой автомобильной дороги г. Санкт-Петербурга).

На Рис. 48 приведен уменьшенный эскиз карты. Приложение 1 представляет собой полномасштабную версию карты. Масштаб – 1:10000. Данная карта наглядно демонстрирует результаты разбивки участка автомобильной дороги А-118 на километровые участки. Алгоритм разбивки реализован с учетом особенности кольцевой дороги – движение осуществляется по внешнему и внутреннему кольцу, для каждого из колец осуществляется привязка к различным километровым столбам.

Содержание карты составляют: подложка открытого картографического сервиса OpenStreetMap, километровые столбы, дешифрованные по данным лазерного сканирования, маршруты и буферы километровых участков. В совокупности они дают картографическую визуализацию и свидетельство о том, что метод работает.

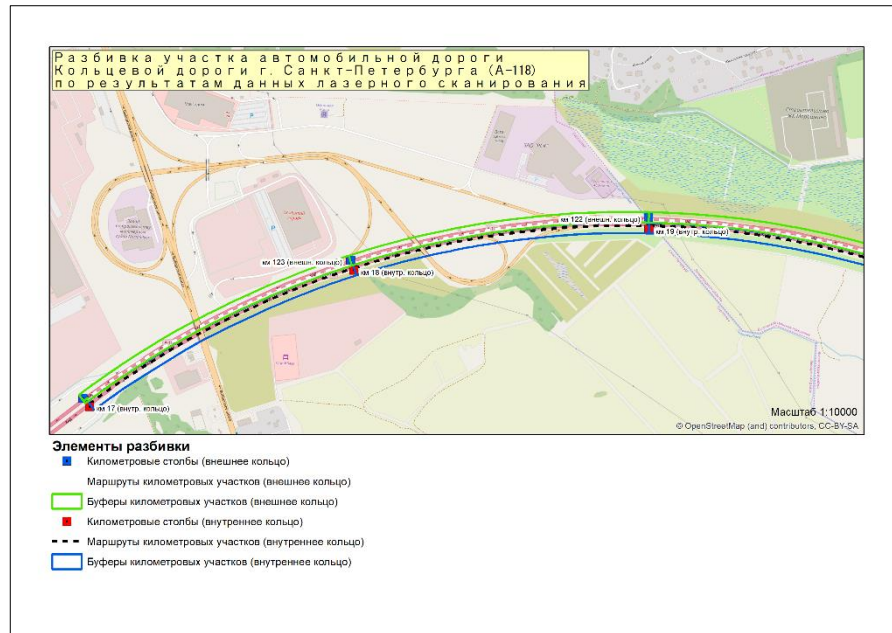


Рис. 48 – Уменьшенный эскиз карты «Разбивка участка автомобильной дороги А-118 (Кольцевой автомобильной дороги г. Санкт-Петербурга)».

2. Фрагмент геоинформационной модели объектов дорожной инфраструктуры Кольцевой автомобильной дороги г. Санкт-Петербурга (А-118) по результатам данных лазерного сканирования (Рис. 49 – уменьшенный эскиз). Приложение 2 представляет собой полномасштабное картографическое изображение. Масштаб – 1:2500.

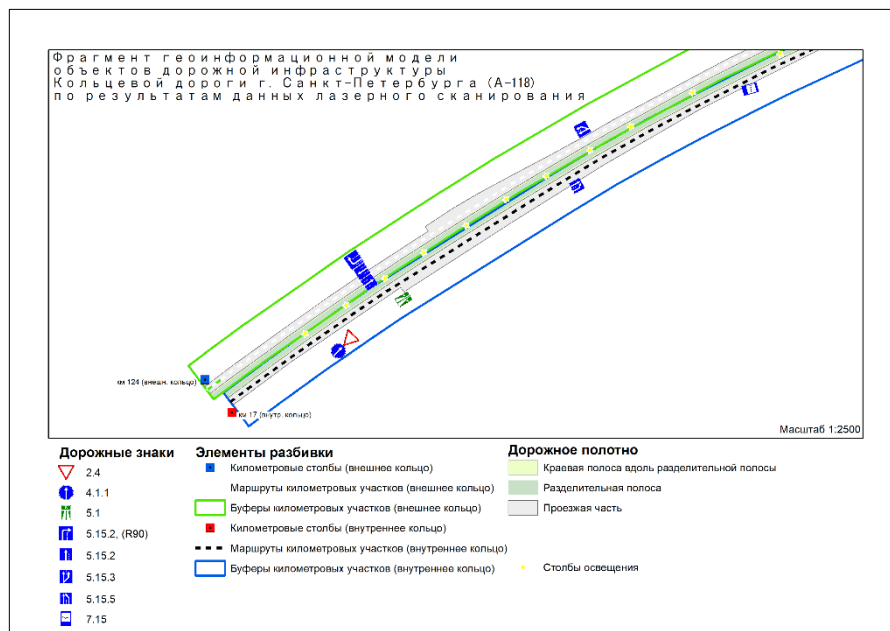


Рис. 49 – Уменьшенный эскиз карты «Фрагмент геоинформационной модели объектов дорожной инфраструктуры Кольцевой автомобильной дороги г. Санкт-Петербурга (А-118) по результатам данных лазерного сканирования».

Данная карта наглядно демонстрирует, что созданная геоинформационная модель несет в себе существенные возможности по визуализации дорожной ситуации. В особенности, эти возможности увеличились за счет разработки, соответствующей национальному стандарту системы условных обозначений дорожных знаков, а также алгоритм автоматического разворота дорожных знаков вдоль направления движения.

3. Соответствие местоположения знаков 6.11 реальным границам административных районов – масштаб 1:1000, на Рис. 50 представлен уменьшенный эскиз. Полноценная версия карты – Приложение 3.

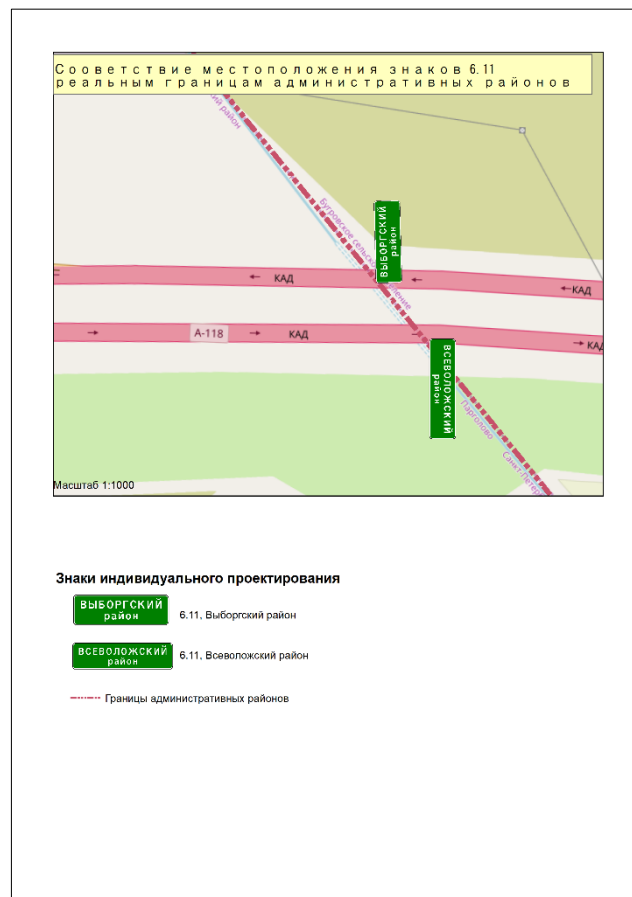


Рис. 50 – Уменьшенный эскиз карты «Соответствие местоположения знаков 6.11 реальным границам административных районов».

В ходе формирования геоинформационной модели выявлены особые знаки индивидуального проектирования, указывающие на границы административных районов. Выявлено, что их местоположение достоверно. Кроме того, данная карта демонстрирует визуализацию знаков индивидуального проектирования в созданной модели, а также достоверность данных лазерного сканирования в вопросах пространственной привязки.

4. Пространственное положение в системе линейных координат особых знаков, предупреждающих о приближении съезда. Масштаб – 1:2500. Уменьшенный эскиз представлен на Рис. 51. Полномасштабная версия карты – Приложение 4.

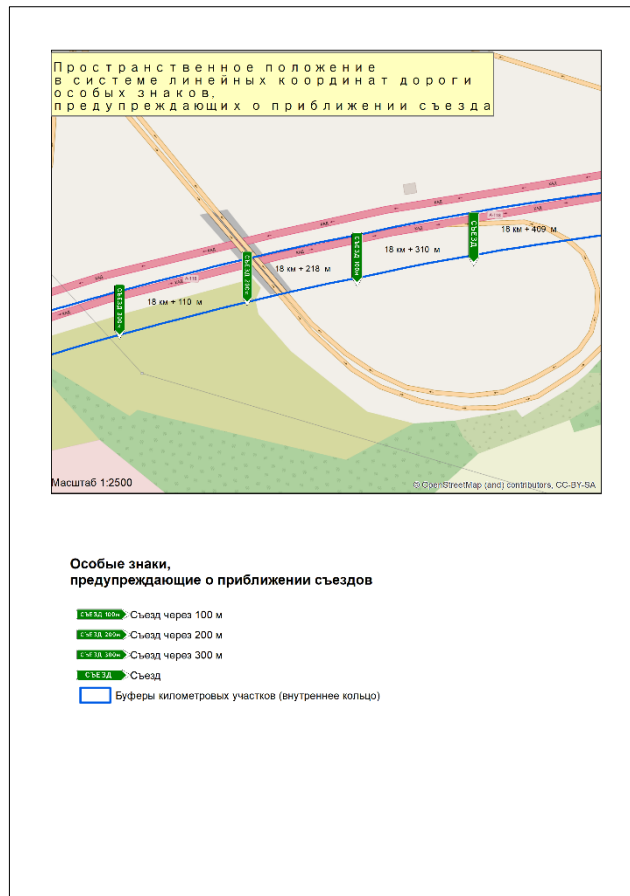


Рис. 51. Уменьшенный эскиз карты «Пространственное положение в системе линейных координат особых знаков, предупреждающих о приближении съезда».

На карте представлены особые знаки, оповещающие о приближении съезда – через 300, 200, 100 м, а также сам съезд. Также представлено их положение в системе линейных координат – наглядная демонстрация результатов разработки алгоритма расчета и присвоения линейной адресации объектам инфраструктуры.

Теоретически, расстояние между знаками должно составлять 100 м. Реальные результаты?

- между знаками 300 и 200 м – 108 м;
- между знаками 200 и 100 м – 92 м;
- между знаками 100 м и съезда – 99 м.

Стоит обратить внимание на разницу в +8 и -8 метров между знаками 300 и 200, 200 и 100 м соответственно. Это, вероятно, обусловлено реальным смещением установленных знаков фактически.

По разным оценкам, допускаются смещения до 3-5 м. Вывод – алгоритм присвоения линейной адресации работает.

Таким образом, тематические карты позволили оценить результаты создания геоинформационной модели, а также ее преимущества.

Заключение

В ходе проведенных теоретических исследований, разработки и апробации метода достигнута основная цель магистерской диссертации: разработана геоинформационная модель объектов дорожной инфраструктуры на основе данных лазерного сканирования.

Результаты диссертационного исследования заключаются в следующем:

1. Проведен обзор и анализ предшествующего отечественного и зарубежного опыта применения данных лазерного сканирования в дорожном информационном моделировании. Также в обзор и анализ вошел обзор предшествующего опыта классификации объектов дорожной инфраструктуры по данным лазерного сканирования (облакам точек и панорамной фото- и видеосъемки).
2. Были проведены полевые работы с мобильной сканирующей системой (сбор исходных данных), в результате постобработки данных были получены облако точек, панорамная фотосъемка с привязкой в пространстве и времени.
3. Были исследованы и апробированы ручные и полуавтоматические алгоритмы классификации объектов дорожной инфраструктуры по данным лазерного сканирования, в результате чего были подготовлены исходные данные для дальнейшей интеграции и обработки методами геоинформационного моделирования. Проведен анализ различного программного обеспечения для обработки данных лазерного сканирования.
4. Разработана структура и создана файловая база геоданных объектов дорожной инфраструктуры.
5. Разработан и апробирован метод разбивки участка автомобильной дороги по километровым участкам средствами пространственного и геоинформационного анализа.
6. Разработан и апробирован метод автоматического расчета линейной адресации объектов дорожной инфраструктуры.
7. В рамках решения задачи картографической визуализации была разработана система условных обозначений дорожных знаков, соответствующая требованиям национального стандарта. Учитывалась уникальность всех знаков – вплоть до каждого знака индивидуального проектирования.
8. По результатам создания геоинформационной модели объектов дорожной инфраструктуры был составлен ряд уникальных тематических карт, позволяющих провести оценку качества результатов.

Таким образом, цель магистерской диссертации достигнута, решены все задачи на пути ее достижения.

Список литературы

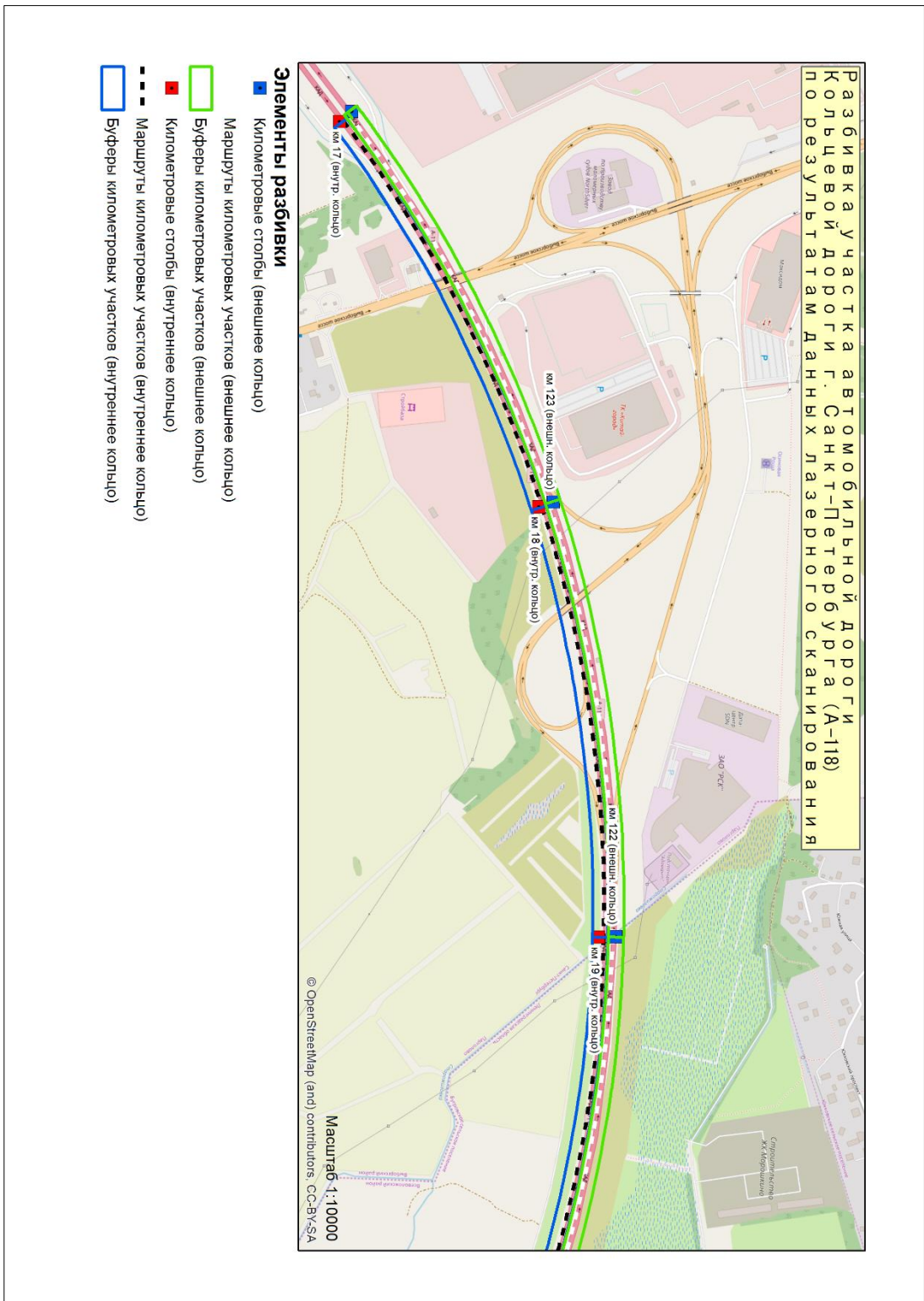
1. Халтурин Р.А. Приоритеты формирования дорожной инфраструктуры России // Вопросы экономики и права – 2011 – №4 – С. 226-230.
2. Укуева Г.Б. Информационные моделирования автомобильных дорог с использованием географических информационных систем // – 2016.– №2 (52). – С.110-114
3. Транспорт в России. 2018: Стат.сб./Росстат. М. – 2018. – Т. 65. – 101 С.
4. С.В. Баранник, Е.Г. Кузовлев ГИС в жизненном цикле автомобильных дорог на этапе их эксплуатации // САПР и ГИС автомобильных дорог – 2017. – № 2(9). – С. 5-9|
5. Розенберг И.Н. Геоинформационное моделирование как фундаментальный метод познания / Перспективы науки и образования – 2016 - №3 – 4 С.
6. Опыт использования мобильной системы лазерного сканирования LYNX Mobile Mapper для решения задач проектирования ремонта автомобильных дорог [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.jena.ru/publish/237.html>
7. Мотуз В.О., Сарычев Д.С. Применение лазерного сканирования и 3D-моделей в жизненном цикле автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог – 2014. – №1(2). – С. 12-15
8. Медведев В.И., Сарычев Д.С., Скворцов А.В. Предварительная обработка данных мобильного лазерного сканирования в системе IndorCloud // САПР и ГИС автомобильных дорог – 2014 – №2(3) – С. 67-74.
9. Картографический веб-сервис <http://www.etomesto.ru> [Электронный ресурс]
10. Жалковский Е.А. Цифровая картография и геоинформатика. Под ред. Е.А. Жалковского [Текст] / Жалковский Е.А., Халугин Е.И. – Картогеоцентр-Геодезиздат, 1998. – 104 с.
11. Е.А. Герасюк, А.В. Комиссаров Применение наземного лазерного сканирования для инженерно-геодезических изысканий при реконструкции автомобильных дорог // - 2017. – Сибирский государственный университет геосистем и технологий
12. ГОСТ Р 58398–2019. Экспериментальные технические средства организации дорожного движения. Виды и правила применения дополнительных дорожных знаков. Общие положения. – Введ. 2019-04-19. – М.: Стандартинформ, 2019. – 32 С.
13. ГОСТ Р 57563-2017 Моделирование информационное в строительстве. Основные положения по разработке стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. – Введ. 2017-10-01.– М.: АО КОДЕКС, 2017. – 27 С.

14. ГОСТ Р 52289-2004. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. – Введ. 2006-01-10. С изм. на 12.09.2018. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 31 С.
15. ГОСТ Р 50828-95. Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования. – Введ. 1995-10-18. М.: Изд-во стандартов, 1996. – 23 С.
16. ГОСТ 52766-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования. – Введ. 2007-10-23. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 31 С.
17. ГОСТ 51256-2018. Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Классификация. Технические требования. – Введ. 2018-06-1. – М.: Изд-во стандартов, 2018. – 38 С.
18. ГОСТ 50597-2017. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля – Введ. 2017-09-26. – М.: Изд-во стандартов, 2017. – 31 С.
19. ГОСТ 33475-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Технические требования. – Введ. 2015-08-27. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 15 С.
20. ГОСТ 33180-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню летнего содержания. – Введ. 2015-12-05. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 15 С.
21. ГОСТ 33062-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к размещению объектов дорожного и придорожного сервиса. – Введ. 2015-12-01. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 27 С.
22. ГОСТ 32825-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения геометрических размеров повреждений. – Введ. 2015-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 35 С.
23. Бойков В.Н., Скворцов А.В. Эволюция ГИС автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог – 2017. – №1(8). – С. 47-53
24. Бойков В.Н. САПР автодорог – перспективы развития // САПР и ГИС автомобильных дорог – 2013. – №1. – С. 7-9
25. Бойков В.Н. О километровых столбах и протяженности автомобильных дорог // Дорожная держава. – 2009. – № 22. – С. 25-27.

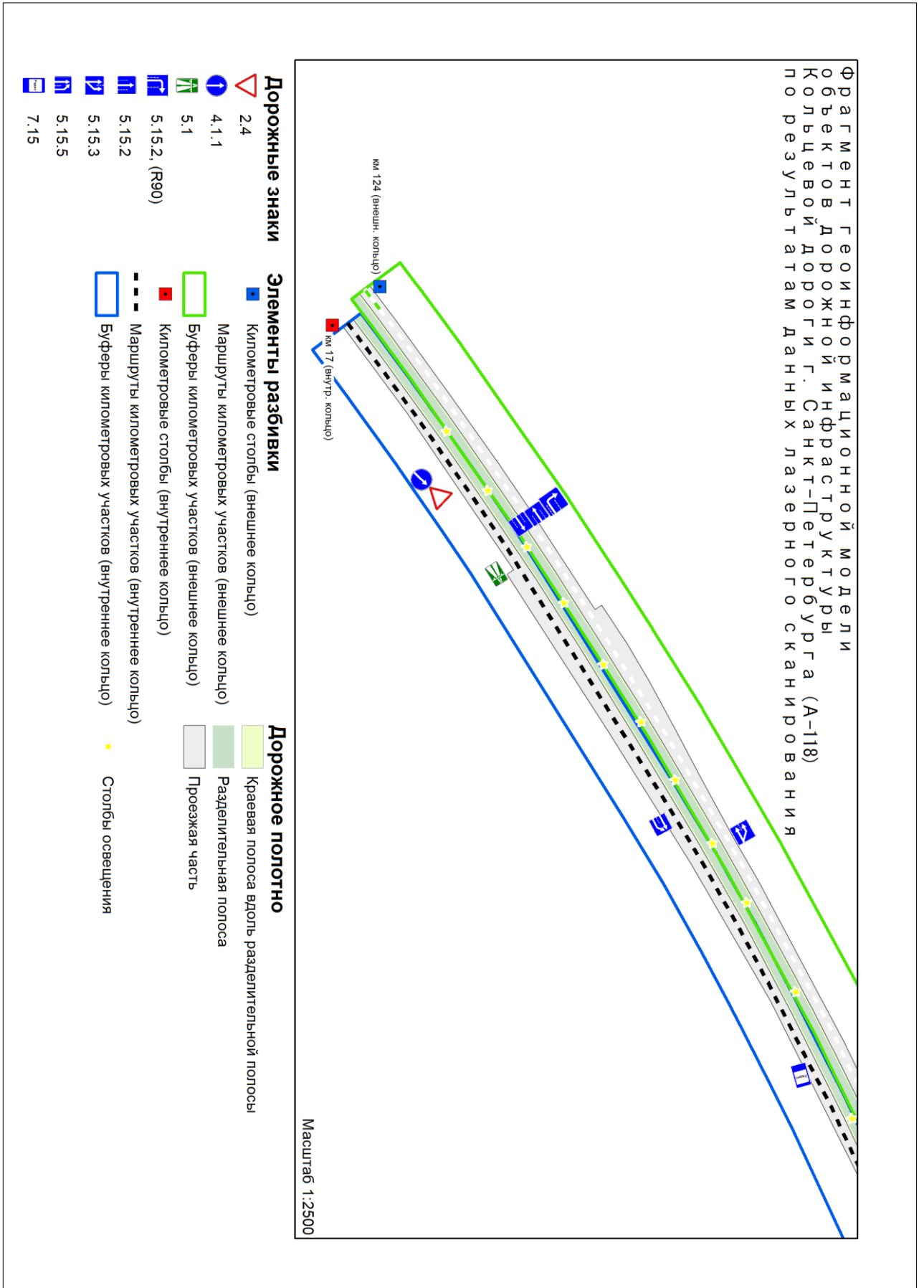
26. Бойков В.Н. ИТ-технологии в поддержке жизненного цикла дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог – 2014. – №2. – С. 1-7
27. Абакумов Г.В. Элементы транспортной структуры. Автомобильные дороги: учеб. пособие / Г.В. Абакумов – Тюмень.: ТюмГНГУ, 2012. – 103 С.
28. Yang B. [и др.] Computing multiple aggregation levels and contextual features for road facilities recognition using mobile laser scanning data // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2017. – №126. – P. 180–194.
29. Y. Li [и др.] Road detection from airborne LiDAR point clouds adaptive for variability of intensity data // Optik – 2015. – №26. – P. 4292–4298
30. Wu B. [и др.] Automated extraction of ground surface along urban roads from mobile laser scanning point clouds // Remote sensing letters. – 2016. – №7 (2). – P. 170–179.
31. V. Balali, M.Golparvar-Fard Segmentation and recognition of roadway assets from car-mounted camera video streams using a scalable non-parametric image parsing method // Automation in Construction. – 2015. – №49. – P. 27–39
32. Sherif El-Halawany [и др.] Detection of road curb from mobile terrestrial laser scannerpoint cloud // The International Archivers of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2018. – Vol. Volume XXXVIII-5/W12– P. 109-114.
33. Pu S. [и др.] Recognizing Basic Structures from Mobile Laser Scanning Data for Road Inventory Studies // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2011. – №66. – P. 28–39.
34. Mori U. [и др.]. Classification of pole-like objects using point clouds and images captured by mobile mapping systems // The International Archivers of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2018. – Vol. Volume XLII-2 – P. 732-736
35. M. Javanmardi [и др.] Towards High-Definition 3D Urban Mapping: Road Feature-Based Registration of Mobile Mapping Systems and Aerial Imagery // Remote Sensing – 2017. - №9
36. <https://www.docme.ru/doc/231015/kartograficheskoe-obespechenie-avtomobil. nyh-navigacionnyh-> [Электронный ресурс]
37. https://wiki.openstreetmap.org/wiki/RU:Автомобильное_картографирование [Электронный ресурс]
38. Herold M. [и др.] Road condition mapping with hyperspectral remote sensing [Электронный ресурс] // Department of Geography, University of California. – 2004
Режим доступа: http://www.geogr.uni-jena.de/~c5hema/urbanspec/av04_roadmapping_heroldetal.pdf

39. H. Guyan [и др.] Use of mobile LiDAR in road information inventory: a review
International journal of image and data fusion // International journal of image and data
fusion. – 2016. – Vol. 7 (3), P. 219–242
40. Gong J. [и др.] Mobile Terrestrial Laser Scanning for Highway Inventory Data Collection
// Computing in Civil Engineering. – 2012. – №6. – P. 545-552.
41. G. Zunino SLAM in Realistic Environments [Электронный ресурс] // Режим доступа:
<https://pdfs.semanticscholar.org/57da/d99781bbd0d196990ef44db55c3c9ce7817a.pdf>
42. D. Cheng [и др.] Fast automatic three-dimensional road model reconstruction based on
mobile laser scanning system // Optik – 2015. – №126. – P. 725-730

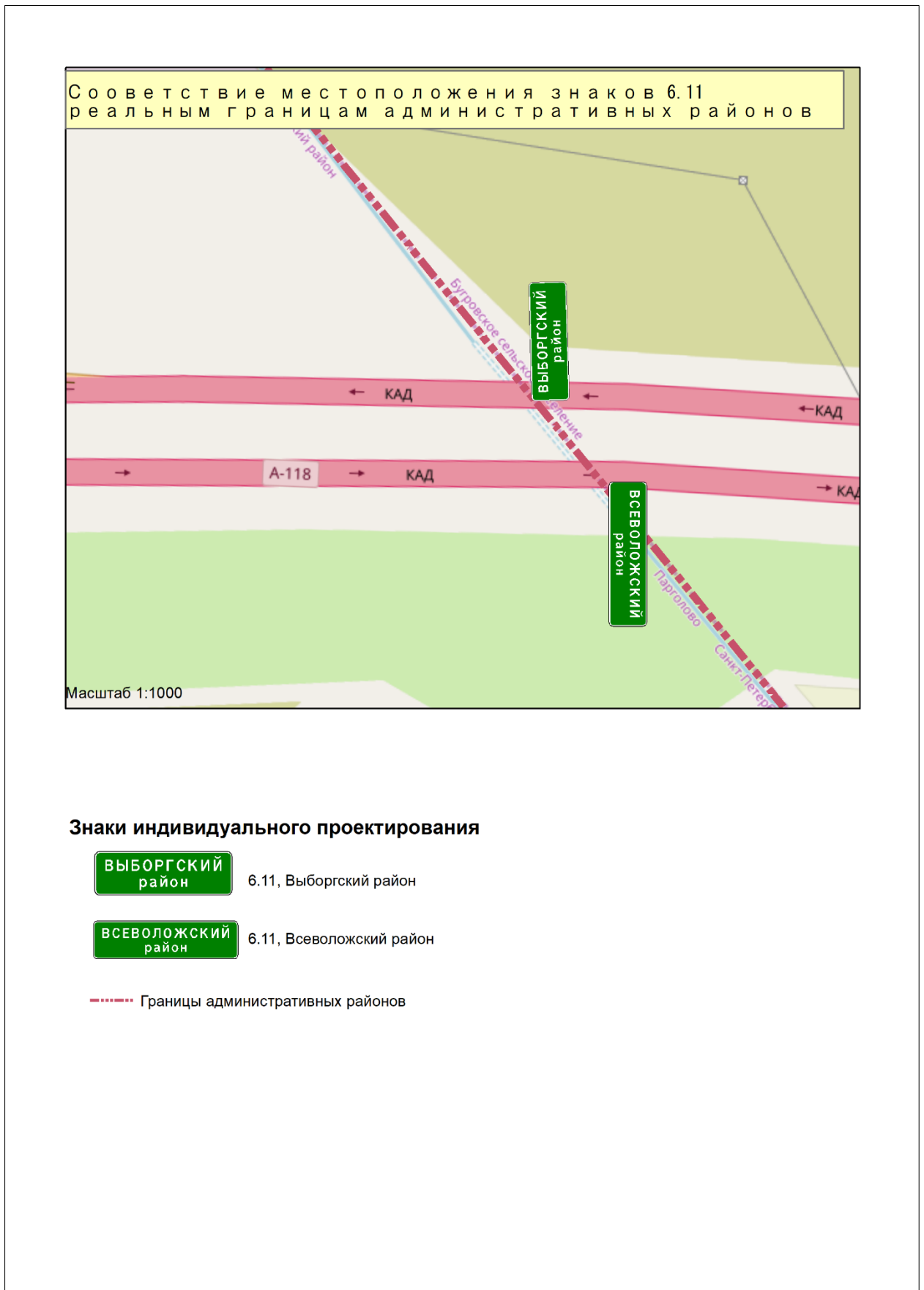
Приложение 1. Разбивка участка автомобильной дороги А-118



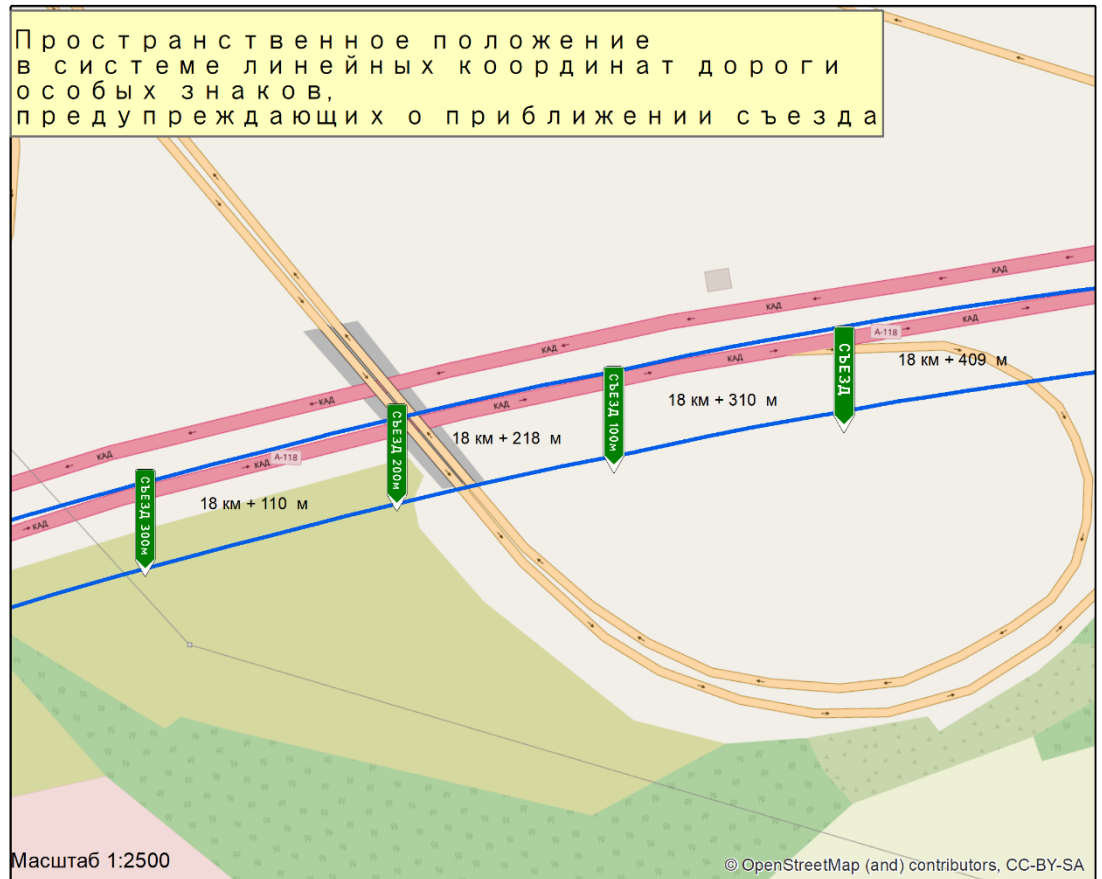
Приложение 2. Фрагмент геоинформационной модели автомобильной дороги А-118








Приложение 3. Соответствие местоположения знаков 6.11 реальным границам административных районов



Приложение 4. Пространственное положение в системе линейных координат дороги
особых знаков, предупреждающих о приближении съезда



**Особые знаки,
предупреждающие о приближении съездов**

-  Съезд через 100 м
-  Съезд через 200 м
-  Съезд через 300 м
-  Съезд
-  Буферы километровых участков (внутреннее кольцо)