

Санкт-Петербургский государственный университет

РОМАЩЕНКО Кирилл Николаевич

Выпускная квалификационная работа

Дистанционные методы анализа состояния дорожной сети на территории отдельного субъекта Российской Федерации

Уровень образования: магистратура

Направление *05.04.03 «Картография и геоинформатика»*

ВМ.5523 «Геоинформационное картографирование»

Научный руководитель:

профессор СПбГУ, д.т.н.

Баденко В. Л.

Рецензент:

главный разработчик

ООО «Мосты и

инженерные проекты»

Жук С. В.

Санкт-Петербург

2019

СОДЕРЖАНИЕ:

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. Литературный обзор	12
1.1 Опыт отечественных и зарубежных учёных в исследовании состояния дорожной сети дистанционными методами	12
1.2 Выбор наилучшего дистанционного метода для проведения исследования.....	20
Глава 2. Технология дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли для анализа состояния дорожной сети	24
2.1 Общая технологическая схема	24
2.2 Дешифрирование горизонтальной дорожной разметки	29
2.3 Дешифрирование геометрических элементов автодорог	42
2.4 Дешифрирование объектов дорожного обустройства	56
Глава 3. Апробация технологии. Оценка результатов	65
3.1 Используемые для проведения апробации исходные данные дистанционного зондирования Земли	65
3.2 Методика апробации	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	87
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	92
ПРИЛОЖЕНИЯ	98

ВВЕДЕНИЕ

Транспортная система является одним из основных элементов современного хозяйства, она формирует каркас и выполняет связующие функции в системе расселения человека. Многочисленные экономические и социальные процессы тесно связаны с транспортной системой и её состоянием. Функции транспортной системы многообразны, в их число входят: интеграционная, структурообразующая, градообразующая, дистрибутивная, социальная, стимулирующая. Как и любая система, транспортный комплекс представляет из себя многокомпонентную, многоуровневую структуру из взаимосвязанных подсистем. В наиболее общем виде транспортную систему можно представить, как совокупность транспортных средств, транспортной инфраструктуры, а также системы управления. С отраслевой точки зрения, транспортная система подразделяется на: морскую, железнодорожную, автомобильную, воздушную, речную и трубопроводную транспортные подсистемы. По своему пространственному охвату транспортные системы можно подразделить на: глобальную транспортную систему (планетарного уровня); международные или региональные транспортные системы (системы отдельных континентов, групп стран); национальные транспортные системы; межрегиональные транспортные системы; региональные транспортные системы; локальные транспортные системы (Галабурда и др., 2001).

По протяжённости маршрутов и по удельному весу перевозки грузов в Российской Федерации основная доля среди всех видов транспорта приходится на автомобильный транспорт (Росстат, 2018). Особо велика роль автомобильного транспорта в перевозке грузов и пассажиров на локальном и региональном уровне. Суммарная протяжённость автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального (межмуниципального) и местного значения на территории Российской Федерации составляет 1,5 млн. км (Росстат, 2018). Автомобильный транспорт играет значительную роль в экономической жизни страны, тем не менее, текущее состояние автомобильных дорог, объектов дорожного обустройства, сервиса и инфраструктуры находится в не оптимальном состоянии. К числу основных проблем автомобильной подсистемы относятся: большой процент дорог, не удовлетворяющих технико-эксплуатационным требованиям; низкий срок безремонтной службы автомобильных дорог; широкое распространение дефектов дорожного полотна; высокая аварийность; повышенная загруженность автодорог и др. Лишь 43,1% автомобильных дорог регионального значения соответствуют технико-эксплуатационным требованиям. Дорожная сеть крупнейших

городских агломераций страны также далека от оптимального состояния – 42% протяжённости сети отвечают требованиям. Среди автомобильных дорог Минобороны России 34% соответствуют нормативным требованиям. Более 10% автодорог федерального и регионального значения работают в настоящее время в режиме перегрузки (Паспорт национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги», 2018).

Проблемное состояние дорожной сети является неблагоприятным экономическим и социальным фактором. На решение данной проблемы и общее развитие системы автомобильного транспорта направлены федеральные проекты Российской Федерации и выделяются субсидии из федерального бюджета. Одним из основных нормативных актов в сфере развития дорожной сети является Постановление Правительства РФ от 20 декабря 2017 г. №1596 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие транспортной системы» (последняя редакция от 29.03.2019). В состав данной федеральной программы входит направление (подпрограмма) «Дорожное хозяйство», которое должно быть реализовано в 2018-2021 гг. Подпрограмма предусматривает в числе прочего следующие мероприятия:

- Строительство и реконструкцию 1,3 тыс. км автомобильных дорог общего пользования федерального значения.
- Приведение автомобильных дорог общего пользования федерального значения к соответствующим нормативным требованиям к транспортно-эксплуатационным показателям.
- Капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог. Строительство и реконструкции более 1,2 тыс. км автомобильных дорог, эксплуатируемых на платной основе.
- Приведение с учетом соблюдения требований технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» в нормативное состояние дорожной сети 38 городских агломераций с населением свыше 500 тыс. человек в каждой и снижение в указанных городских агломерациях мест концентрации дорожно-транспортных происшествий.
- Содействие развитию автомобильных дорог регионального, межмуниципального и местного значения.

К числу субъектов Федерации, в которых до 2021 года будут производиться работы по ремонту и реконструкции автомобильных дорог регионального, межмуниципального и местного значения относятся в числе прочих: Красноярский край, Камчатский край,

Приморский край, Хабаровский край, Забайкальский край; Амурская, Волгоградская, Иркутская, Калининградская, Магаданская, Нижегородская, Ростовская, Самарская, Сахалинская области. Строительству и реконструкции будут подлежать участки автомобильной дороги М-1 «Беларусь»; М-3 «Украина»; М-4 «Дон»; М-9 «Балтия»; М-11 - строящаяся скоростная автомобильная дорога Москва - Санкт-Петербург; А113 - строящаяся Центральная кольцевая автомобильная дорога (Московская область); А-180 «Нарва» и др. Программа включает проекты по ликвидации грунтовых разрывов на сети автомобильных дорог федерального значения; обеспечение сохранности автомобильных дорог общего пользования федерального значения; замену дорожной одежды переходного типа на капитальный; мероприятия по повышению уровня обустройства автомобильных дорог федерального значения. В рамках программы также предусмотрено проведение прикладных научно-исследовательских работ и экспериментальных разработок в сфере дорожного хозяйства, в частности:

1. Информационное, телекоммуникационное и навигационное обеспечение деятельности транспортного комплекса.
2. Исследования по совершенствованию системы мониторинга состояния транспортного комплекса.

В 2017 году был принят национальный долгосрочный приоритетный проект *«Безопасные и качественные автомобильные дороги»*, реализуемый до конца 2024 года. К числу задач проекта относится: увеличение доли автомобильных дорог городских агломераций, дорог регионального значения и дорог Минобороны России, соответствующих технико-эксплуатационным требованиям; сокращение количества аварийно-опасных участков и показателей смертности в результате ДТП; снижение перегрузки автомобильных дорог; развитие дорожного хозяйства. В рамках проекта предусмотрено проведение работ на территории 83 субъектов Российской Федерации. К 2025 году планируется увеличить долю дорог регионального значения, соответствующих нормативным показателям до 50,9%; дорожной сети городских агломераций – до 85%; дорог Минобороны России до 60%. Проект включает задачи определения приоритетных участков дорожной сети, требующих ремонта; формирование программ дорожной деятельности (региональных проектов) на уровне субъектов Федерации и уровне местного самоуправления. Разработка подобных проектов требует проведения инвентаризации структурных элементов дорожной сети. В ряде субъектов уже проводится инвентаризация и разработка региональных проектов, в том числе в Московской области и Удмуртии. Проводится инвентаризация в настоящий момент и на уровне местного самоуправления.

В состав национального проекта входят четыре федеральных проекта: «Дорожная сеть», «Общесистемные меры по развитию дорожного хозяйства», «Безопасность дорожного движения» и «Автомобильные дороги России» (Паспорт национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги», 2018; Паспорт федерального проекта «Дорожная сеть», 2018). Федеральный проект «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» включает в том числе следующие задачи:

- Создание системы мониторинга эксплуатационного состояния объектов дорожной инфраструктуры с применением мобильных лабораторий.
- Создание цифровой модели автомобильных дорог (участков автомобильных дорог) общего пользования федерального, регионального или межмуниципального значения, содержащую, в том числе, информацию о диагностике и оценке состояния автомобильных дорог (участков автомобильных дорог).

Результаты инвентаризации элементов дорожной сети должны сформировать информационную основу данной модели (Паспорт федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства», 2018).

Научное исследование, проведённое в рамках выпускной квалификационной работы направлено на: 1. Разработку технологии инвентаризации объектов дорожной сети с помощью дистанционных методов; 2. Разработку структуры цифровой информационной/геоинформационной модели дорожной сети, получаемой путём моделирования на основании данных ДЗЗ (далее – ДДЗЗ); 3. Разработку технологии оценки технико-эксплуатационного состояния структурных элементов дорожной сети на основании извлечённых из данных дистанционных методов диагностических показателей и последующего геоинформационного моделирования; 4. Совершенствование системы мониторинга состояния дорожной сети средствами дистанционных методов. Запланированные в рамках указанных выше программ и проектов мероприятия требуют разработки и совершенствования:

- Методов и средств координации взаимодействия федеральных органов государственной власти, органов власти субъектов Федерации, органов местного самоуправления, юридических лиц.
 - Методов и средств инвентаризации элементов дорожной сети.
 - Методов и средств оценки технико-эксплуатационного состояния объектов дорожной сети.

- Методов и средств контроля и верификации результатов ремонта и реконструкции автомобильных дорог.
- Методов и средств сбора статистики.
- Методов и средств формирования отчётных материалов.
- Методов и средств информационного обеспечения указанного объёма и видов работ.
- Методов и средств информационного обеспечения управленческих решений, приоритезации работ и оперативного управления.

Разрабатываемая в рамках исследования технология анализа состояния дорожной сети в случае успешной апробации может быть применена для содействия реализации указанных задач. Оценка состояния дорожной сети сводится к оценке состояния составляющих её структурных элементов. В свою очередь, состояние элементов дорожной сети характеризуется соответствием технико-эксплуатационным требованиям, которые установлены нормативно-технической базой отрасли. Требования к состоянию структурных элементов дороги представлены в виде диагностических параметров, которые устанавливаются в процессе диагностики. Полные перечни диагностических признаков и характеристик для отдельных структурных элементов автодорог приведены в государственных и международных стандартах. Ключевые диагностические параметры для автомобильных дорог в РФ согласно *Рекомендациям по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог*, это:

1. Общие сведения о дороге (номер и титул дороги; класс и категория дороги, протяжённость; расположение километровых столбов и др.);
2. Геометрические параметры и характеристики (расположение оси дороги на местности; расположение и ширина проезжей части и уширений; количество полос движения; переходно-скоростных полос; ширина основной укрепленной поверхности дороги и укрепительных полос; поперечные уклоны проезжей части и обочин; радиусы кривых в плане и др.);
3. Характеристики дорожной одежды и покрытия (конструкция дорожной одежды и тип покрытия; состояние дорожной одежды и покрытия и характеристика дефектов; продольная ровность покрытия; колейность; сцепные свойства покрытия; прочность дорожной одежды и др.);
4. Характеристики искусственных дорожных сооружений (расположение, тип, протяжённость и габариты мостов, путепроводов, эстакад, тоннелей; грузоподъемность мостов, путепроводов и эстакад; наличие и высота бордюров и др.);

5. Характеристики объектов обустройства автомобильных дорог (расположение, тип и технические параметры объектов освещения, сигнальных столбиков, дорожных знаков, дорожной разметки, дорожных ограждений; примыканий, железнодорожных переездов, автобусных остановок и павильонов, площадок отдыха, площадок для остановки и стоянки автомобилей и др.);
6. Характеристики защитных сооружений (расположение, размеры и тип защитных сооружений);
7. Характеристики объектов придорожного сервиса (расположение, тип и основные параметры АЗС, СТО, мотелей, кемпингов, гостиниц, пунктов питания, пунктов медицинской помощи, постов ДПС, таможенных пунктов, автовокзалов);
8. Характеристики объектов дорожной службы (расположение, тип и основные характеристики зданий и сооружений дорожной службы - базы противогололёдных материалов, пескобазы, места дислокации дорожных машин и т.п.);
9. Характеристики транспортного потока и данные о ДТП на дороге (интенсивность движения и состав транспортного потока на характерных перегонах; данные о дорожно-транспортных происшествиях с привязкой к километражу (км + м) и детальные сведения о происшествиях) (Росавтодор, 2018)

Семь из девяти приведённых выше диагностических групп параметров может быть установлено в той или иной степени полно посредством дистанционных методов исследования. Традиционные полевые методы изысканий характеризуются значительной стоимостью реализации, что является сдерживающим фактором для их проведения в масштабах целого субъекта РФ. В большинстве случаев традиционные методы исследований направлены на анализ состояния отдельных трасс различного уровня, либо дорожной сети населённого пункта или муниципального образования. Большой пространственный охват дистанционных методов потенциально позволяет проводить исследование дорожной сети на региональном уровне. Использование дистанционных методов в ряде случаев окажется более целесообразным экономически по сравнению с затратными традиционными методами исследований. Дистанционные методы анализа состояния дорожной сети могут упростить проведение плановой и специализированной диагностики автомобильных дорог; их инвентаризацию и паспортизацию. Методы дистанционного зондирования могут способствовать приоритезации направлений капитального ремонта; принятию управленческих решений и планированию дальнейшего развития дорожной сети. Получаемая в результате дешифрирования исходных материалов дистанционного зондирования Земли (далее – ДЗЗ) и последующего моделирования

геоинформационная модель потенциально найдёт многообразное применение в дорожной отрасли. Данная модель может стать основой/каркасом для хранения больших объём разнообразной пространственной информации о дорожной сети, полученных как дистанционными, так и традиционными полевыми методами изысканий.

Работа с базой данных модели позволит получать необходимую информацию о свойствах всех объектов в составе дорожной сети; получать статистику по определённым сегментам сети и принимать решения на основании этой информации. Будучи преобразованной в форматы САПР, векторная составляющая модели дорожной сети в сочетании с цифровыми моделями рельефа (ЦМР) может быть использована инженерами-проектировщиками для разработки проектов расширения автомобильных дорог; размещения направляющих островков и велодорожек; проектировании примыканий и размещения инженерных коммуникаций и т.д. С помощью геоинформационной модели представляется возможным наглядно визуализировать наиболее проблемные участки дорожной сети: участки наибольшего износа разметки; участки разрушения бортового камня, дорожных ограждений и т.д. Подобная модель может найти применение в органах местного самоуправления в рамках проектирования локальных транспортных систем, проектов регионального развития а также при решении других задачах.

Цель работы - разработать геоинформационный метод оценки состояния дорожной сети на территории отдельного субъекта Российской Федерации на основании ДДЗЗ.

Задачи работы:

- Выбрать наилучшую технологию/технологии дистанционного зондирования Земли для достижения цели исследования.
- Разработать технологию дешифрирования материалов ДЗЗ, получаемых выбранным дистанционным методом, а также методы извлечения диагностических показателей состояния автомобильных дорог.
- Разработать методы автоматизации дешифрирования исходных материалов ДЗЗ.
- Разработать технологию геоинформационного моделирования и структуру геоинформационной модели, которая будет содержать результаты выявленные диагностические показатели.
- Провести апробацию предложенной технологии на выбранных экспериментальных участках, исходя из того, что пробные участки должны представлять

наиболее распространённые варианты дорожных ситуаций на территории субъекта Федерации.

- Оценить результаты апробации, представить их в виде тематических карт и геоинформационной модели. Сделать заключение о целесообразности и рентабельности использования дистанционных методов в сфере анализа состояния дорожной сети.
- Сформулировать возможные направления для дальнейшего развития предложенной технологии и выявить перспективные направления дальнейших научно-исследовательских работ в данной сфере.

Объект исследования - дорожная сеть на территории субъекта Российской Федерации.

Предмет исследования – диагностические параметры, характеризующие состояние структурных элементов дорожной сети, получаемые дистанционными методами и представленные в форме геоинформационной модели.

Методы исследования: метод дистанционного зондирования, картографический, геоинформационный, математический, статистический.

Актуальность работы в настоящее время можно оценить как высокую. Дорожная сеть в Российской Федерации находится в не оптимальном состоянии. Значительная доля автомобильных дорог не соответствует технико-эксплуатационным требованиям, что является неблагоприятным сдерживающим экономическим фактором. В настоящее время реализуются федеральные программы и национальные проекты, направленные на решение проблем и всестороннее развитие дорожного комплекса. Проекты ставят в том числе задачи разработки средств анализа состояния дорожной сети и концепции структуры информационной модели автомобильных дорог. Использование дистанционных методов может способствовать решению проблем дорожного комплекса и дополнять традиционные полевые методы изысканий. В настоящий момент актуальна разработка методов дешифрирования исходных ДДЗЗ для извлечения диагностических параметров состояния дорожной сети. Необходима и разработка концепции и структуры цифровой модели автомобильных дорог. Основанием для подобной модели могут стать пространственные данные, получаемые методами ДЗЗ.

Научная новизна работы состоит в разработке оригинальной технологии извлечения диагностических параметров структурных элементов дорожной сети из исходных материалов ДЗЗ, направленной на достижение задач инвентаризации объектов дорожной

сети и общей оценки её состояния. Оригинальность технологии заключается в: 1. Наборе исходных данных, используемых для извлечения диагностических параметров; 2. Методах частичной автоматизации процесса дешифрирования исходных ДДЗЗ; 3. Методах геоинформационного моделирования и геоинформационного картографирования полученных результатов; 4. Структуре геоинформационной модели, содержащей результаты дешифрирования; 5. Проработанной методике дешифрирования данных ДЗЗ для основных возможных вариантов дорожной ситуации в пределах субъекта РФ.

Структура работы. Работа включает: три главы, 105 страниц, 8 таблиц, 12 рисунков и 7 приложений. При написании работы было задействовано 70 источников.

Глава 1. Литературный обзор

1.1 Опыт отечественных и зарубежных учёных в исследовании состояния дорожной сети дистанционными методами

В современной научной литературе тематика применения дистанционных методов в дорожной отрасли освещена достаточно широко. Многочисленные монографии, диссертации, публикации в научных журналах и телекоммуникационной сети Интернет содержат описания опыта применения методов дистанционного зондирования Земли в данной сфере. Исследования в области дистанционных методов анализа дорожной сети проводятся как учёными из США, стран Азии, Южной и Западной Европы, так и российскими учёными. Значительная часть от объёма проанализированного в рамках исследования материала была написана и опубликована в период с 2016 по 2018 гг. Таким образом, в рассмотренных работах освещены новейшие представления специалистов о возможностях применения дистанционных методов для анализа и оценки состояния дорожной сети.

В рассмотренных работах затронуты все аспекты применения дистанционных методов для анализа состояния дорожной сети. Монографические работы обзорного характера дают всестороннюю характеристику использования дистанционных методов в дорожной сфере. Подобные обзорные работы содержат классификацию и детальное описание технологии основных дистанционных методов, применяемых в настоящее время для исследования автодорог. В обзорных работах приведены параметры сенсоров; съёмочных станций/платформ и прочего оборудования; технические особенности съёмки; описываются преимущества и недостатки используемых дистанционных методов. Уделено внимание сравнению аспектов применения дистанционных методов в дорожной отрасли – отдельно для анализа состояния дорог с твёрдым и грунтовым покрытием. При этом учитывается также и коммерческая составляющая вопроса - оценивается экономическая целесообразность использования тех или иных методов при решении различных задач. Примерами подобных работ обзорного характера являются следующие статьи: *Review of remote sensing methodologies for pavement management and assessment* (Schnebele и др., 2015); *Satellite Assessment and Monitoring for Pavement Management* (Faghri и др., 2015); *Study of asphalt pavement deterioration through remote sensing* (Nicolaou, 2016); *The use of appropriate high tech solutions for road network and condition analysis, with a focus on satellite imagery*

(Workman и др., 2016); *Commercial Remote Sensing & Spatial Information Technologies Program* (Singh, 2017). Наиболее подробная и детальная среди подобных работ из числа рассмотренных – *Advancing Innovative High-Speed Remote-Sensing Highway Infrastructure Assessment Using Emerging Technologies* (Carlson и др., 2017). Среди обзорных работ российских исследователей следует отметить статью *Анализ дистанционных и визуальных методов оценки состояния дорожного покрытия* (Бургонутдинов и др., 2015).

Некоторые учёные занимаются исследованием изменений состояния дорожного полотна и разрабатывают способы мониторинга технико-эксплуатационных показателей дорожного покрытия. В частности, данная проблема рассматривается в публикации *Pavement distress detection methods: a review* (Ragnoli и др., 2018). В подобных работах большое внимание, как правило, уделяется инженерной составляющей – техническим стандартам дорожного строительства; технологии создания дорожного одежды; основным типам дорожных покрытий и их свойствам; видам повреждения полотна; механизмам износа полотна и связанных с этим изменением его механических и оптических свойств. Стоит отметить большое число публикаций, в которых описывается изменение альбедо дорожного покрытия с увеличением степени износа – межремонтного срока эксплуатации дороги. Именно на основании изменения оптических свойств и базируется способ оценки состояния дорожного полотна методом управляемой классификации с использованием спектральных библиотек. К числу подобных работ относятся такие публикации, как: *Large-Area Road-Surface Quality and Land-Cover Classification Using Very-High Spatial Resolution Aerial and Satellite Data* (Emery, Singh, 2013); *Bitumen Removal Determination on Asphalt Pavement Using Digital Imaging Processing and Spectral Analysis* (Mei и др., 2014); *Monitoring the condition of roads pavement surfaces: proposal of methodology using hyperspectral images* (Resende и др., 2014).

Значительное количество статей затрагивает вопрос применения классификации с обучением, нейросетей и средств машинного обучения для выявления трещин в дорожном покрытии и оценки степени износа дорожного полотна по материалам аэрофотосъёмки, преимущественно по материалам, полученным с платформы БПЛА. Примерами являются такие работы, как: *Object-based and supervised detection of potholes and cracks from the pavement images acquired by UAV* (Pan и др., 2017); *Automatic Recognition of Asphalt Pavement Cracks Based on Image Processing and Machine Learning Approaches: A Comparative Study on Classifier Performance* (Hoang, Nguyen, 2018). К работам обзорного характера по данной тематике следует отнести статью *Image Based Techniques for Crack Detection, Classification and Quantification in Asphalt Pavement: A Review* (Zakeri и др., 2016) и диссертацию *Analytical*

study of computer vision-based pavement crack quantification using machine learning techniques (Mokhtari, 2015).

Большое число исследователей занимается вопросом применения технологий как наземного (стационарного и мобильного), так и воздушного лазерного сканирования для анализа состояния дорожной сети. Проблема автоматизации сегментации облака точек, полученных путём мобильного лазерного сканирования подробно описана в следующих статьях: *Automated extraction of ground surface along urban roads from mobile laser scanning point clouds*» (Wu и др., 2016); *Recognizing Basic Structures from Mobile Laser Scanning Data for Road Inventory Studies* (Pu и др., 2011); *Use of mobile LiDAR in road information inventory: a review* (Guan и др., 2016); *Snake energy analysis and results validation for a mobile laser scanning data based automated road edge extraction algorithm* (Kumar и др., 2016); *Computing multiple aggregation levels and contextual features for road facilities recognition using mobile laser scanning data* (Yang и др., 2017); *Status and prospects of automatic 3D mapping of road objects* (Lemmens, 2018). В работе *Object Classification and Recognition from Mobile Laser Scanning Point Clouds in a Road Environment* (Lehtomäki и др., 2016) приведена подробная техническая характеристика всех видов технологии лазерного сканирования, применяемых для анализа дорожной сети. Публикация *Mobile Terrestrial Laser Scanning for Highway Inventory Data Collection* (Gong и др., 2012) содержит сравнительный анализ наземного лазерного сканирования с другими дистанционными методами для оценки состояния дорожного полотна скоростных шоссе.

Вопрос оценки состояния грунтовых дорог рассматривается в относительно небольшом числе работ. Данной проблемой занимаются, в частности, учёные из Технического Исследовательского Института штата Мичиган, США (Michigan Tech Research Institute, MTRI). Результаты проведённых исследований опубликованы в серии работ, среди них *Collecting Decision Support System Data Through Remote Sensing of Unpaved Roads* (Dobson и др., 2014) и *Characterization of Unpaved Road Condition Through the Use of Remote Sensing Project* (Brooks и др., 2016).

Большое число работ в сфере анализа состояния дорожной сети посвящены теме извлечения дорожной сети из материалов, полученных различными дистанционными методами. Авторы данных публикаций описывают особенности дешифрирования и сегментации исходных материалов ДЗЗ; возможности автоматизации процесса сегментации, применяемые для этого алгоритмы, статистические и математические методы. Чаще всего рассматривается вопрос извлечения дорожной сети из материалов радиолокационной съёмки. Некоторые примеры подобных работ: *Road Segmentation using*

Multipass Single-Pol Synthetic Aperture Radar Imagery (Koch и др., 2015); *Statistical Evaluation and Analysis of Road Extraction Methodologies Using a Unique Dataset from Remote Sensing* (Cardim и др. 2018); *Road Extraction from Very High Resolution Remote Sensing Optical Images Based on Texture Analysis and Beamlet Transform* (Sghaier, Lepage, 2016); *Road Centerline Extraction from Very-High-Resolution Aerial Image and LiDAR Data Based on Road Connectivity* (Zhang и др., 2018).

Многие публикации во вступительной части содержат перечисление и характеристику традиционных методов оценки диагностических показателей состояния дорожной сети – параметров дорожной одежды, полотна, а также общей оценки состояния дорог без твёрдого покрытия. Например, в работе *Satellite Assessment and Monitoring for Pavement Management* приводится характеристика существующей в США системы мониторинга дорожного полотна (PMS). Авторы некоторых публикаций отмечают, что традиционные методы оценки состояния дорожного полотна не всегда являются в должной степени оперативными. По мнению многих исследователей, зачастую традиционные методы оценки требуют несоизмеримых результатам финансовых и временных затрат, особенно при исследовании сетей автомобильных дорог большой протяжённости.

В Российской Федерации применение дистанционного зондирования в сфере оценки состояния дорожной сети пока что менее распространено, чем в зарубежных странах и не имеет системного характера. Подавляющее большинство статей в данной сфере написаны специалистами из области инжиниринга и строительства, имеют уклон в техническую составляющую. Подобные работы, как правило, рассматривают вопросы конструкции объектов дорожной инфраструктуры, состояния дорожного полотна и методы оценки этого состояния. Существенно меньшее число статей затрагивает непосредственно тематику ДЗЗ; особенности получаемых дистанционными методами материалов; вопросы дешифрирования и последующей геоинформационной обработки результатов.

В работах российских исследователей рассматривается опыт использования георадаров для оценки мощности дорожного полотна на различных трассах Российской Федерации. В статье *Прогрессивные методы и современное георадарное оборудование для обследования автомобильных дорог* (Кулижников, 2011) автор отмечает, что внутреннее строение и состояние дорожных конструкций может быть успешно определено с помощью метода подповерхностной георадиолокации с применением георадарных технологий. Публикация *Оценка толщины асфальтобетонных слоев георадиолокационными методами* (Кулижников, Еремин, 2017) описывает опыт применения георадаров для обследования толщины слоёв асфальтобетона на четырёх автомобильных дорогах, находящихся в разных

природно-климатических условиях. В статье *Применение георадаров для диагностики состояния лесовозных автомобильных дорог* (Кочанов, Петров, 2010) авторы приводят описание существующих методов обследования лесовозных дорог с применением подповерхностной георадиолокации. Западные исследователи также описывают применение георадаров для оценки состояния дорожных конструкций. В статье *Review of remote sensing methodologies for pavement management and assessment* описываются особенности применения GPR (Ground Penetrating Radar) технологии.

Радиолокационная съёмка (Synthetic Aperture Radar, SAR) в настоящее время находит достаточно широкое применение в области оценки состояния дорожной сети. В значительном числе работ рассматривается проблематика применения SAR в дорожной отрасли. Радиолокационная съёмка при достаточном пространственном разрешении и определённой геоинформационной обработке потенциально позволяет выявлять отдельные деформации дорожного покрытия, мостовых переходов, связанные с карстовыми явлениями провалы и просадки полотна автотрасс. В рассмотренных статьях описывается методика применения радиолокационных снимков среднего и высокого пространственного разрешения. Вопрос применения радиолокационной съёмки подробно изложен в работе *Evaluation of Synthetic Aperture Radar Satellite Remote Sensing for Pavement and Infrastructure Monitoring* (Ozden и др., 2016). В другой публикации *Satellite Assessment and Monitoring for Pavement Management* (Ozden и др., 2015), помимо вышеуказанных аспектов применения SAR, авторы приводят перечень и краткий обзор программных продуктов, позволяющих проводить обработку радиолокационных снимков; описаны возможности пространственного анализа по материалам радиолокационной съёмки.

Использование спутниковых снимков описано в значительном числе работ отечественных и зарубежных учёных. В статье *Спутниковый мониторинг федеральных автотрасс* (Кучейко, Рогова, 2009) описывается опыт применения снимков со спутников IRS, EROS, SPOT, IKONOS и QuickBird в мониторинге состояния дорожного покрытия ряда федеральных трасс РФ. Вопросы обработки данных космических снимков и материалов мультиспектральной съёмки рассматриваются в диссертации *Методы и средства построения модели транспортной инфраструктуры на основе данных дистанционного зондирования земли* (Федосеев, 2017). Шошина К.В. в своей статье *Система мониторинга и исследования лесных дорог* описывает возможности мониторинга покрытия лесовозных дорог в РФ с помощью дистанционных методов (Шошина, 2013).

Ряд статей затрагивают вопросы применения методов аэрофотосъёмки для оценки состояния автомобильных дорог. Наибольшее внимание уделено съёмке с платформы

беспилотных летательных аппаратов (БПЛА, англ. Unmanned Aerial Vehicle, UAV). Авторы статьи *Состояние автомобильных дорог изучает БПЛА* (Филиппов и др., 2012) рассматривают применение технологии БПЛА в связке с наземными передвижными автолабораториями для оценки состояния автотрасс. Из других работ, в которых описано применение БПЛА, следует отметить статью *Road condition mapping with hyperspectral remote sensing* (Herold и др., 2004). В качестве примера использования БПЛА для оценки состояния дорожного полотна приведён опыт исследования дорожной сети в городе Гилрой (англ. Gilroy), Калифорния, США. Возможности применения гиперспектральной съёмки для оценки состояния дорожного полотна подробно описаны в статье *Road classification and condition determination using hyperspectral imager* (Mohammadi, 2012). В данной работе описывается опыт использования технологии мульти- и гиперспектральной съёмки для оценки состояния покрытия дорожной сети города Людвигсбург (нем. Ludwigsburg), земля Баден-Вюртемберг, ФРГ.

В публикации *Road pavement condition mapping and assessment using remote sensing data based on MESMA* (Pan и др., 2016) описан опыт применения гиперспектральной съёмки для оценки состояния покрытия дорожной сети в границах квартала городской застройки. Данное исследование было выполнено учёными из КНР с использованием снимка, полученного со спутника WorldView-2. В диссертации *Automatic Extraction of Number of Lanes from Aerial Images for Transportation Applications* рассмотрен вопрос создания алгоритмов, позволяющих выявлять по спутниковым снимкам число полос движения в автомагистралях (Tang, 2015). Авторы статьи *Towards HD Maps from Aerial Imagery: Robust Lane Marking Segmentation Using Country-Scale Imagery* предлагают методику выделения дорожной разметки на основании материалов аэрофотосъёмки с помощью масочных фильтров (Fischer и др., 2018). В работе *Reading the Road: Road Marking Classification and Interpretation* рассмотрен вопрос разработки методов распознавания дорожной разметки средствами классификации с обучением в режиме реального времени в целях проектирования систем управления беспилотных транспортных средств (Mathibela и др., 2015).

Технология съёмки в инфракрасном диапазоне спектра (инфракрасная термография, Infrared thermography, IR) также находит применение в сфере анализа состояния дорожной сети, но это далеко не самый активно используемый дистанционный метод. Моделирование дорожной сети, в том числе на основании материалов дистанционного зондирования в научной литературе освещено в настоящий момент недостаточно полно. Существует значительное число работ, затрагивающих вопросы использования сетевой модели данных для решения теоретических вопросов и прикладных задач в транспортной отрасли. Ряд

учёных описывают применение ГИС в сочетании с дистанционными методами для определения оптимального маршрута проложения проектируемых трасс. Однако, изучив современную научную литературу, можно сделать вывод, что применение результатов дешифрирования данных дистанционных методов для непосредственно геоинформационного моделирования и инвентаризации дорожной сети пока что изучено не достаточно подробно. В данной области существует потенциал для проведения дальнейших исследований.

Дорожная сеть является распространённым объектом современного геоинформационного картографирования. Основной тенденцией геоинформационного картографирования дорожной сети является реализация социального запроса – т.е. ориентация на обеспечение автомобильной навигации. В связи с этим, в современном геоинформационном картографировании дорожной сети преобладает использование сетевой модели данных/графов для навигационных карт, мультимасштабных веб-карт и т.д. На большинстве прочих видов карт, шириной автомобильных дорог пренебрегают, в первую очередь в силу генерализации и масштаба. Как следствие, для изображения дорог повсеместно используется геоинформационный аналог традиционного способа картографического изображения – линейных знаков. Для современных карт характерна значительная генерализация всех структурных элементов дорог, не значимых для непосредственной навигации и не передающих основную траекторию дороги, плановое положение её оси. Зачастую на картах из всех геометрических элементов дороги изображается лишь край проезжей части и разделительная полоса в случае её наличия. Примеры современных произведений геоинформационного картографирования, изображающих дорожную сеть представлены на рисунках 1 и 2.

В рамках проводимого исследования необходимо отобразить на результирующих картах все структурные элементы дорог и выявленные диагностические характеристики. Для реализации данного требования требуется разработка оригинального метода геоинформационного картографирования автомобильных дорог, позволяющего отобразить все необходимые диагностические показатели, отражающие состояние дорожной сети. Необходимо разработать систему символики, наиболее подходящую для изображения структурных элементов дорожной сети и извлекаемых из ДДЗЗ диагностических показателей. Требуется определить методы генерализации, которые следует использовать

при геоинформационном картографировании результатов дешифрирования и анализа ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.

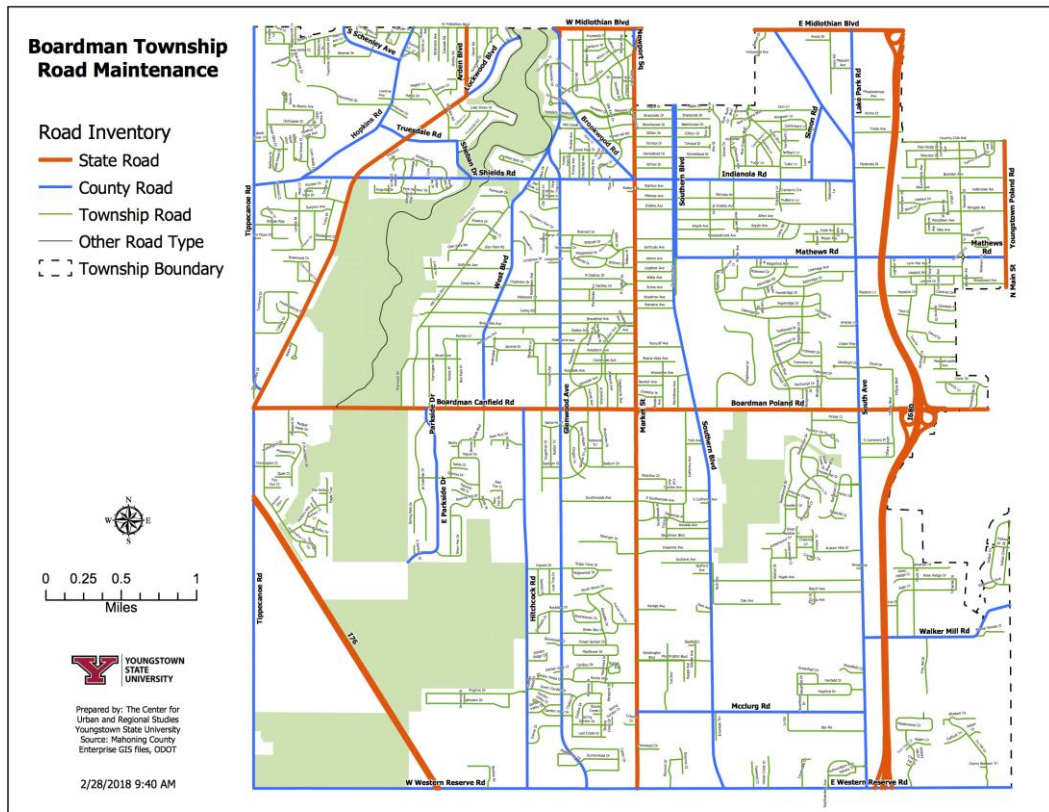


Рисунок 1 Boardman Township Road Maintenance (<http://boardmantwp.com>, 2018)

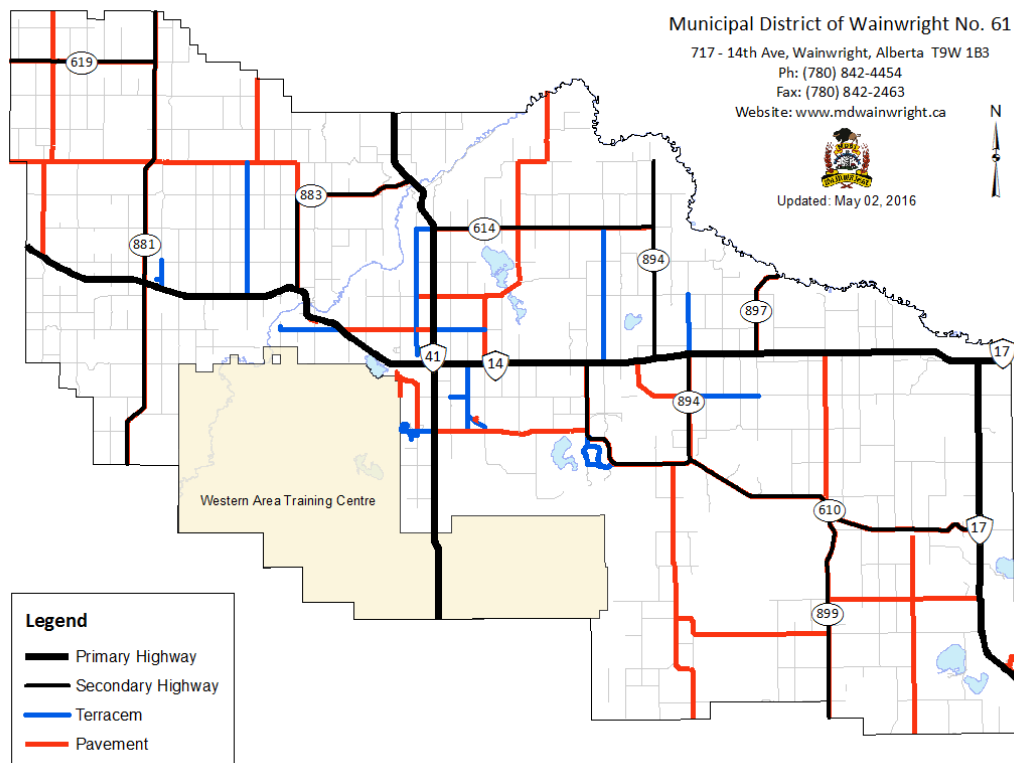


Рисунок 2 Municipal District of Wainwright No. 61 (<http://www.mdwainwright.ca>, 2016)

1.2 Выбор наилучшего дистанционного метода для проведения исследования

На основании проведённого литературного обзора на тему дистанционных методов анализа состояния дорожной сети можно сделать ряд выводов. Выбор дистанционного метода или сочетаний методов для конкретного исследования зависит от ряда факторов. В их число входит:

- Цель и задачи исследования;
- Площадь изучаемой территории;
- Специфика и свойства объекта/объектов исследования;
- Требуемая точность результирующих материалов для достижения поставленных задач;
- Бюджет;
- Особенности процесса дешифрирования;
- Возможности автоматизации дешифрирования

Большинство современных дистанционных методов в той или иной степени применимы для оценки состояния дорожной сети. Дистанционные методы значительно различаются по типу и объёму получаемых материалов; их пространственному и радиометрическому разрешению; технологиям дешифрирования материалов; возможности автоматизации дешифрирования и т.д. Изучив современные научные работы с описанием опыта использования дистанционных методов в исследовании дорожной сети, можно сделать вывод, что наиболее часто в данном направлении исследований применяются следующие дистанционные методы:

1. Спутниковые снимки (панхроматические, мульти- и гиперспектральные) сверхвысокого пространственного разрешения;
2. Аэрофотосъёмка. В первую очередь - съёмка с платформы БПЛА, преимущественно в оптическом диапазоне;
3. Радиолокационная съёмка с синтезированной апертурой антенны (SAR);
4. Наземное статическое (TLS) и мобильное (MLS) лазерное сканирование;
5. Воздушное/космическое лазерное сканирование (лидарная съёмка) (LiDAR, AMS);
6. Георадарная съёмка (GPR) – условно дистанционный метод

Все вышеуказанные дистанционные методы имеют свои преимущества и недостатки, способны предоставить информацию разной точности. Спутниковая съёмка сверхвысокого разрешения является достаточно широко распространённой технологией дистанционного зондирования во многих областях. Применение находят как панхроматические, так и мультиспектральные снимки. Для решения ряда задач, спутниковые снимки в видимом диапазоне являются наиболее подходящей технологией, т.к. они обладают значительным пространственным охватом, а также высоким и в ряде случаев сверхвысоким разрешением. Несомненно, спутниковые снимки имеют и ряд существенных недостатков. Во-первых, они зависимы от погодных условий, свойств атмосферы, времени суток, облачности, затенения и других природных и технических факторов. Во-вторых, снимки в видимом диапазоне, как правило, не предоставляют никаких прямых сведений о подземных процессах. В-третьих, для выполнения анализа состояния дорожной сети требуется максимально возможное пространственное разрешение, поэтому снимки высокого разрешения в значительной степени малоинформативны. Для решения ряда задач недостаточно даже пространственного разрешения снимков сверхвысокого разрешения. Технология аэрофотосъёмки, в частности, с платформы БПЛА, имеет те же преимущества, что и технология спутниковой съёмки. БПЛА позволяют проводить мульти- и гиперспектральную съёмку, а также получать ЦМР и цифровые модели местности (ЦММ). Последнее является значительным достоинством аэрофотосъёмки при анализе антропогенных объектов, в т.ч. дорожной сети. По пространственному разрешению БПЛА съёмка существенно превосходит спутниковую съёмку – разрешение получаемых ортофотопланов составляет до 2 см. Единственными существенными недостатками данного метода относительно спутниковой съёмки является сравнительно низкий пространственный охват и значительная стоимость.

Лазерная съёмка предоставляет большие возможности для всестороннего анализа дорожной сети. Несомненным достоинством технологии является информативность и высокое пространственное разрешение получаемых материалов, в ряде случаев при максимальной плотности точек до нескольких мм. Облака точек, получаемые в результате лазерной съёмки, позволяют посредством обработки извлечь большую часть диагностических характеристик элементов дорожной сети; распознать все элементы дорожного обустройства, геометрические элементы дорог, выявить мельчайшие деформации дорожного полотна и т.д. Тем не менее, дешифрирование результатов лазерного сканирования представляет весьма ресурсоёмкую задачу. Работа с облаками точек (визуализация, сегментация, анализ) требуют использования

высокопроизводительных персональных компьютеров и операций с большими массивами данных. Трудоёмкость процесса дешифрирования делает маловероятным применение данного дистанционного метода в масштабных исследованиях. Помимо сложностей процесса дешифрирования, использование данного метода для анализа дорожной сети осложняется необходимостью сопровождения облаков точек материалами панорамных съёмки (пространственно привязанных видеозаписей). Без использования панорамных съёмки, распознавание некоторых объектов дорожного обустройства (например, дорожных знаков) исключительно по облакам точек затруднительно в ряде случаев.

Другим принципиальным недостатком лазерного сканирования является высокая стоимость её выполнения. Наземное лазерное сканирование наиболее применимо в условиях городской среды для анализа отдельных улиц, сегментов небольшой протяжённости. В масштабах всей дорожной сети субъекта Российской Федерации проведение подобной съёмки представляется маловероятным как в настоящий момент, так и в обозримом будущем. Воздушное лазерное сканирование предоставляет существенно более низкую плотность результирующих облаков точек, что является значительным недостатком относительно наземного лазерного сканирования в вопросе анализа состояния дорожной сети.

Радиолокационная съёмка позволяет в процессе обработки получаемых снимков выделять составные части дорожной сети, а также потенциально выявить проблемные участки в её структуре. Тем не менее, главный недостаток данного дистанционного метода состоит в том, что SAR снимки зачастую не позволяют точно установить характер нарушения/деформации. Сравнительно низкое пространственное разрешение большинства коммерчески доступных материалов радиолокационной съёмки также является значительным недостатком технологии. Таким образом, радиолокационная съёмка по ряду параметров уступает съёмке в видимом диапазоне при решении задачи выявления диагностических показателей структурных элементов дорожной сети.

Технология георадарной съёмки является лучшим дистанционным методом определения мощности дорожного покрытия, выявления пустот, аномалий и других дефектов дорожной одежды. Данная технология позволяет выявлять скрытые от других дистанционных способов исследования дефекты дорожной одежды. В то же время георадары не предоставляют сведений и прочих составных элементах дорожной сети – они направлены исключительно на диагностику дорожной одежды. В силу ограничения направленности, повышенной трудности дешифрирования и сложностей визуализации результатов, данный условно дистанционный метод не подходит для исследования протяжённой дорожной сети субъекта Федерации в качестве основного. Тем не менее, в

качестве вспомогательной технологии, дополняющей данные, полученные основным дистанционным методом, георадарная съёмка не имеет аналогов.

Достоинства и недостатки потенциально применимых для достижения задач исследования дистанционных методов приведены в таблице 1. Учитывая вышесказанное, двумя наиболее подходящими дистанционными методами для выполнения исследования представляются спутниковая съёмка (в панхроматическом и мультиспектральном диапазоне), а также аэрофотосъёмка с платформы БПЛА.

Таблица 1 - Достоинства и недостатки дистанционных методов зондирования Земли с учётом цели и задач исследования

Дистанционный метод	Достоинства	Недостатки
Спутниковая съёмка в видимом диапазоне	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокое/сверхвысокое пространственное разрешение; 2. Наглядность; 3. Большой пространственный охват; 4. Повторяемость съёмки 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Зависимость от свойств атмосферы; 2. Недостаточная информативность и пространственное разрешение для решения ряда задач
Аэрофотосъёмка (с платформы БПЛА)	<ol style="list-style-type: none"> 1. см. спутниковую съёмку 2. Построение ЦММ сверхвысокого разрешения 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сравнительно малый пространственный охват; 2. Стоимость
Лазерное сканирование	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокое и сверхвысокое пространственное разрешение; 2. Позволяет выполнять детальную 3D визуализацию 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Трудность дешифрирования; 2. Ресурсоёмкость; 3. Необходимость использования в сочетании с панорамной съёмкой для полноты результатов; 4. Стоимость
Георадарная съёмка	Предоставляет сведения о дорожной одежде и внутренних деформациях	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не предоставляет сведений об остальных объектах дорожной сети; 2. Сложность дешифрирования

Глава 2. Технология дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли для анализа состояния дорожной сети

2.1 Общая технологическая схема

Материалы аэрофотосъёмки, получаемые с платформы БПЛА и спутниковые снимки предоставляют значительные возможности для анализа состояния дорожной сети. Однако, несмотря на визуальную наглядность исходных материалов, в необработанном виде они не позволяют достигнуть задач исследования. Использование материалов аэрофотосъёмки и спутниковых снимков для анализа дорожной сети требует:

1. Разработки технологического процесса дешифрирования исходных ДДЗЗ и методов извлечения диагностических параметров структурных элементов дорожной сети.
2. Разработки структуры и содержания геоинформационной модели, содержащей полученные диагностические параметры и предоставляющей возможности для проведения анализа.

Далее приведено описание технологического процесса и ключевых особенностей процесса дешифрирования исходных ДДЗЗ, извлечения диагностических параметров и геоинформационного моделирования дорожной сети. В первую очередь рассмотрим процесс дешифрирования исходных ДДЗЗ. Базовые материалы дистанционного зондирования изначально представлены в растровой, либо в регулярно-ячеистой модели данных. Для решения поставленных задач исследования, как растровая, так и регулярно-ячеистая модели не являются оптимальным выбором. Обе модели не предоставляют достаточных возможностей для проведения пространственного анализа и объектного моделирования линейных объектов, которыми являются автомобильные дороги. Следовательно, требуется выполнить преобразование ДДЗЗ в иную модель данных путём дешифрирования и извлечения диагностических параметров в форме геометрической (позиционной) и атрибутивной (семантической) информации.

Процесс дешифрирования представляет собой преобразования растровых материалов ДЗЗ в данные векторной топологической модели данных. Дешифрированные материалы ДЗЗ в векторной модели данных, структурированные определённым образом, содержащие геометрическую и атрибутивную информацию, представляют собой геоинформационную модель дорожной сети и её структурных элементов. Использование векторной топологической модели данных в качестве основной позволяет видится

оптимальным исходя из поставленных задач исследования. Результатом процесса дешифрирования, извлечения диагностических параметров и непосредственно связанного с этим процесса моделирования должна стать геоинформационная модель. Полученная геоинформационная модель дорожной сети станет основой для выполнения последующего геоинформационного картографирования, а также анализа состояния дорожной сети.

Понятие анализа подразумевает «метод исследования, характеризующийся выделением и изучением отдельных частей объектов исследования». Лишь часть данных, изображённых на исходных растровых материалах ДЗЗ относится непосредственно к объектам исследования. Следовательно, начальным этапом должно стать определение элементов, относящихся к исследованию, информацию о которых (диагностические параметры) в том или ином объёме и с той или иной точностью представляется возможным извлечь из ДДЗЗ. Данные элементы будут являться объектами дешифрирования, последующего геоинформационного моделирования и детального изучения. Объектом исследования, обозначенным нами ранее, является дорожная сеть на территории отдельного субъекта Российской Федерации. Основными структурными элементами дорожной сети являются составляющие её дороги различных классов и категорий. В свою очередь, дороги различных классов и категорий состоят из: геометрических элементов (структурных линий, дорожных конструктивов); объектов дорожной инфраструктуры; объектов дорожного и придорожного сервиса; объектов дорожного обустройства.

Геоинформационная модель дорожной сети, создаваемая путём процесса дешифрирования, должна включать следующие структурные компоненты:

1. Модель горизонтальной дорожной разметки;
2. Модель геометрических элементов дороги;
3. Модель элементов обустройства, сервиса и дорожной инфраструктуры

Помимо указанных компонентов, опционально в геоинформационную модель могут быть внесены элементы вспомогательного содержания, полученные не в результате непосредственного дешифрирования материалов ДЗЗ. Подобные дополнительные данные могут существенно расширить возможности анализа состояния дорожной сети средствами модели. Пример структуры слоёв геоинформационной модели представлен на рисунке 3.

Дешифрирование элементов дорожной сети может быть выполнено как в полностью ручном режиме геоинформационной обработки исходных материалов ДЗЗ, так и в частично автоматизированном режиме. Режим частичной автоматизации подразумевает непосредственную корректировку результатов автоматической составляющей оператором.

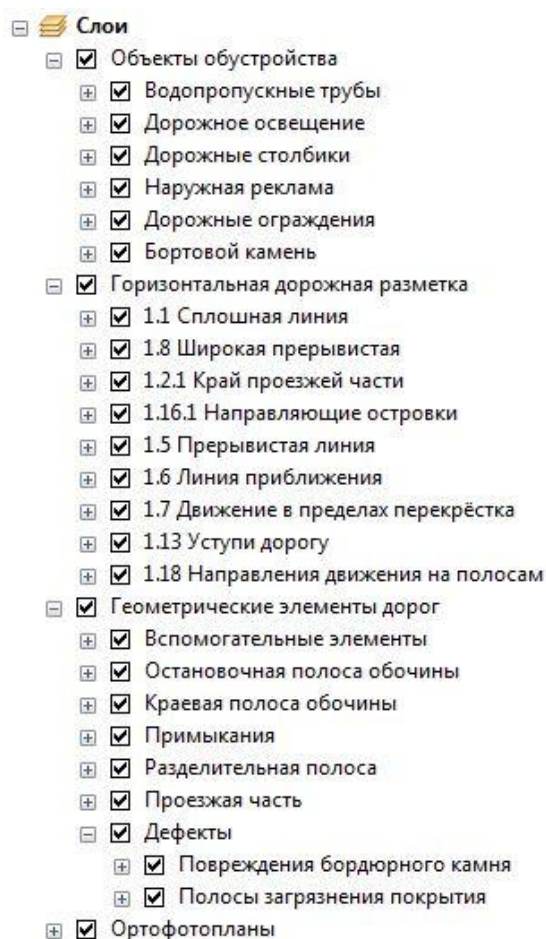


Рисунок 3 - Пример структуры слоёв геоинформационной модели

Полная автоматизация процесса дешифрирования представляется невозможной в силу следующих факторов:

- Технические ограничения материалов ДЗЗ, в первую очередь – предельное пространственное разрешение; воздействие свойств атмосферы и технических параметров сенсоров и платформ на результаты съёмки и т.д.
- Большое число возможных вариантов сочетаний компонентов дорожной сети – автоматизированное дешифрирование участков с неоднозначной дорожной ситуацией затруднительно.
- Наличие посторонних объектов (транспортных средств, деревьев, теней от многоэтажных домов и т.д.), затрудняющих автоматический режим дешифрирования.
- Необходимость анализировать ПДД и топологическую структуру геометрических элементов дорог при моделировании участков сложной конфигурации/сложной дорожной ситуации (содержащих несколько проезжих частей, многоуровневых транспортных развязок и т.д.).

Далее приводится детальное описание технологической схемы дешифрирования. Технология может быть реализована в программной среде большого числа программных продуктов, в том числе open-source ГИС и пакетов обработки ДДЗЗ. Большая часть технологического процесса описана исходя из функциональных возможностей программной среды ESRI ArcGIS, в частности её составляющей ArcMap Desktop 10.3. Технологическая схема некоторых этапов дешифрирования дополняется элементами геоинформационной обработки, реализованными в других программных продуктах, в частности в ENVI, Easy Trace и др. Предлагаемая технологическая схема обработки исходных данных состоит из последовательного сочетания автоматического и ручного этапов дешифрирования ДДЗЗ. Для каждого структурного элемента дорожной сети предлагается и поэтапно характеризуется технологическая схема дешифрирования в полностью ручном режиме. Далее описываются возможности потенциальной автоматизации процесса дешифрирования. Каждый этап сопровождается перечислением диагностических признаков, извлекаемых из ДДЗЗ. Приводятся пояснения процесса геоинформационного моделирования на основании результатов дешифрирования. После характеристики каждого этапа формирования геоинформационной модели перечисляются некоторые из возможностей пространственного анализа, предоставляемые соответствующими составными блоками геоинформационной модели. Блок-схема предлагаемой технологии дешифрирования представлена на рисунке 4.

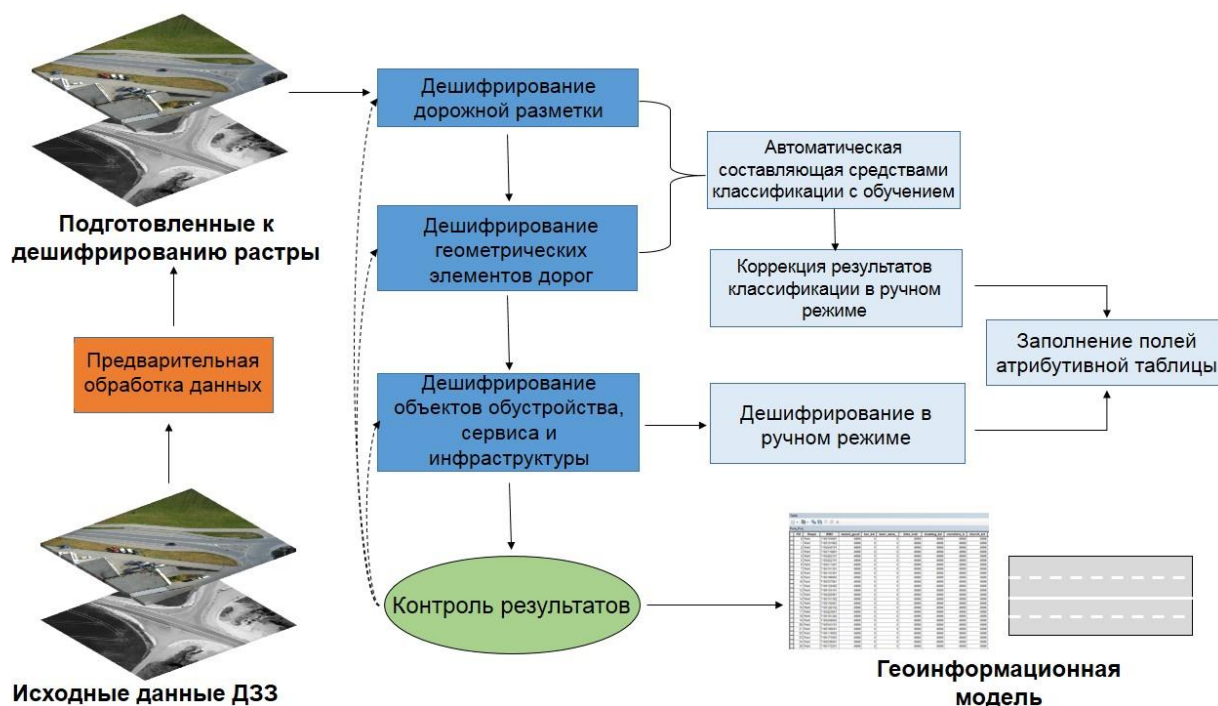


Рисунок 4 - Общая схема технологического процесса дешифрирования

В качестве этапа, предшествующего непосредственно дешифрированию ДДЗЗ, следует обозначить предварительную обработку растровых материалов ДЗЗ и их подготовку к процессу дальнейшей обработки. В зависимости от параметров исходных материалов ДЗЗ, набор операций предварительного этапа может несколько варьироваться и включать такие действия, как: атмосферная коррекция, радиометрическая коррекция, топографическая коррекция, локальное усиление яркости, наложение масочных фильтров, создание мозаичных изображений и т.д. Опциональным также является выполнение панхроматического слияния (паншарпенинга). Паншарпенинг (англ. *panchromatic sharpening, pan sharpening*) - процесс, позволяющий получить из панхроматического и мультиспектрального каналов продукта (материала ДЗЗ) одно изображение. Панхроматический канал, как правило, имеет более высокое пространственное разрешение, мультиспектральный - более низкое. В результате слияния каналов получается изображение, обладающее пространственным разрешением панхроматического канала и цветностью мультиспектрального канала. Создание и использование снимка с панхроматическим слиянием из панхроматического и мультиспектрального снимков на предварительном этапе дешифрирования представляется рациональным по двум причинам. Первая и основная – вертикальная и горизонтальная дорожная разметка могут быть выполнены в двух цветах: белом и жёлтом. В ряде ситуаций, единственным различием между двумя видами разметки будет исключительно цветовое исполнение, которое не возможно установить по панхроматическому снимку. При недостаточном пространственном разрешении мультиспектрального снимка той же территории, в данной ситуации оператор может принять ошибочное решение в процессе дешифрирования. Использование снимка с панхроматическим слиянием может предотвратить подобную ошибку. Вторая причина – удобство работы по паншарпененному изображению для оператора при ручном дешифрировании (в сравнении с панхроматическим изображением).

Наиболее рациональным порядком проведения дешифрирования структурных элементов автодорог станет следующая последовательность: горизонтальная дорожная разметка – геометрические элементы дороги – элементы обустройства, сервиса и инфраструктуры. Это объясняется тем, что дорожные конструктивы и дорожная разметка зачастую обладают общими элементами геометрии. Но при этом дорожная разметка обладает наивысшим потенциалом автоматизированного дешифрирования среди всех элементов автодорог. Таким образом, выполнив в автоматизированном режиме дешифрирование дорожной разметки, представляется возможность существенно ускорить процесс дешифрирования геометрических элементов дорог, т.к. часть геометрии дорожных

конструктивов будет совпадать с геометрией дорожной разметки. Выявление элементов дорожного обустройства представляется рациональным выполнять на последнем технологическом этапе, т.к. данный элемент практически не представляется возможным дешифровать в автоматизированном режиме, а процесс ручного дешифрования существенно упрощается при предварительном моделировании дорожной разметки и геометрических элементов дороги.

2.2 Дешифрирование горизонтальной дорожной разметки

Первым этапом технологического процесса является дешифрирование дорожной разметки по материалам ДЗЗ. Производится извлечение диагностических признаков из исходных ДДЗЗ в растровой модели данных и представление их в векторной модели данных. На данном этапе выполняется распознавание и моделирование двух групп объектов:

1. Горизонтальная разметка дорожного полотна – линии, надписи и другие обозначения на проезжей части автомобильных дорог, информирующие участников дорожного движения об условиях и режимах движения на участке дороги.
2. Объекты контроля безопасности – комплекс объектов, предназначенных для увеличения уровня безопасности на дорогах (ограничение скорости, информирование водителей о приближении к опасным участкам трассы, разделение потоков машин).

В процессе дешифрирования и моделирования по материалам ДЗЗ выявляется и представляется в виде геометрических примитивов векторно-топологической модели данных плановое положение объектов дорожной разметки. Из исходных ДДЗЗ извлекаются и заносятся в базу данных модели следующие диагностические параметры: наличие разметки; тип разметки (по ГОСТ); сохранность разметки по площади; площадь объекта разметки; длина объекта разметки.

По характеру локализации, т.е., по типу геометрии, объекты дорожной разметки могут быть объединены в три группы:

1. Точечные объекты (разнообразные стрелки направления движения, надписи, дублирование знаков дорожного движения на проезжей части);
2. Линейные объекты (линии различных цветов; пунктиры; разметка велодорожек; а также разметка парковочных мест);
3. Площадные объекты (штриховые элементы, которыми обозначаются съезды и заезды на дорогу, а также островки безопасности)

Необходимо отдельно упомянуть особенности моделирования разметки пешеходных переходов; съездов и заездов на дорогу, а также разметки искусственных неровностей. По характеру локализации на местности данные типы разметки де-факто являются полигональными (их шириной можно пренебречь в меньшей степени, чем шириной прочих типов разметки). Тем не менее, при решении ряда задач (а также для визуализации/настройки символики в ГИС) для пешеходных переходов рациональнее использовать линейный тип геометрии. Выбор типа геометрии необходимо выполнить при проектировании структуры набора классов объектов. Возможно одновременное использование полигональных элементов (для отражения и хранения площадей разметки) и линейных объектов (для визуализации).

Полный список объектов горизонтальной дорожной разметки в РФ представлен в приложении А. Необходимо отметить тот факт, что типы разметки 1.2.1 и 1.2.2 были упразднены в июле 2017 года. Оба типа разметки были заменены на единый вариант разметки для края проезжей части 1.2. Однако, на значительной части автомобильных дорог нанесённые ранее разметки 1.2.1 и 1.2.2 присутствуют, в связи с этим оба типа разметки подлежат моделированию в рамках исследования.

Суть процесса дешифрирования дорожной разметки в ручном режиме сводится к следующей последовательности действий:

1. Создание классов пространственных объектов для всех объектов дорожной разметки. Создание полей атрибутивных таблиц, которые будут содержать диагностические параметры состояния разметки в виде атрибутивной (семантической) информации о моделируемой разметке. Создание доменного словаря.
2. Настройка символики для слоёв дорожной разметки (в соответствии с реальным видом разметки на местности - линейными размерами, указанными в ГОСТ, а также цветом).
3. Визуальное выявление оператором наличия разметки на исследуемом фрагменте. Определение типа дорожной разметки, переход в режим создания объектов/редактирования объектов необходимого слоя.
4. Векторизация дорожной разметки с помощью функционала создания и редактирования векторных объектов. Линейные объекты векторизуются по оси и должны повторять выявленную на материалах ДЗЗ разметку. Полигональные объекты векторизуются по оси ограничивающих их линий разметки. Если разметка полностью закрыта на используемых материалах транспортным средством или иным объектом – её следует нанести на основании анализа ситуации на дороге.

5. Выявление участков полного отсутствия горизонтальной дорожной разметки на основании ПДД и присутствующих объектов дорожной разметки (восстановление ситуации). Векторизация полностью стёртых участков разметки, указание в поле атрибутивной таблицы отсутствия разметки путём выбора соответствующего домена из списка.
6. Заполнение полей атрибутивных таблиц диагностическими параметрами. Оценка степени сохранности знаков разметки по площади.
7. Подсчёт базовых геометрических показателей объектов дорожной разметки (длина, площадь) и занесение результатов в соответствующие поля атрибутивной таблицы - в случае программной среды ArcMap используются инструменты *Вычислить геометрию* и *Калькулятор поля*.
8. Проверка корректности выполненного дешифрирования, наличия не заполненных полей в атрибутивных таблицах.

Необходимо подробнее рассмотреть некоторые из этапов дешифрирования.

На этапе, который предшествует непосредственному дешифрированию, выполняется подготовка структуры будущей геоинформационной модели. Структура модели должна отвечать таким требованиям как: строгая иерархия (последовательность классов объектов должна быть непосредственно определена до начала дешифрирования); удобство использования оператором, выполняющим дешифрирование; полнота и избыточность наполняющей модель информации - структура базы данных модели должна быть разработана предварительно, вплоть до отдельных полей атрибутивной таблицы, их типа и точности. Представляется рациональным использование баз геоданных для хранения структуры модели. В случае использования программной среды ArcGIS, возможно использовать один из двух типов баз геоданных - файловую базу геоданных (.gdb) и распределённую базу геоданных (.mdb). Распределённая база геоданных при таком значительном по масштабам объёме работ как анализ дорожной сети субъекта Федерации видится оптимальным выбором – т.к. подобное исследование требует коллективного труда большого числа операторов над отдельными сегментами дорожной сети. В структуре базы геоданных содержатся наборы классов пространственных объектов и входящие в их состав классы пространственных объектов. Как было сказано ранее, моделированию для полноты исследования подлежит дорожная горизонтальная разметка всех типов, указанных в приложении А, как присутствующая (в том числе разметка с повышенным износом), так и отсутствующая (полностью стёртая). Наличие и состояние разметки рационально представить для целей хранения данных и визуализации в виде атрибутивной информации,

а не классов пространственных объектов. Следовательно, классы пространственных объектов должны представлять следующий вышестоящий структурный уровень – т.е. типы дорожной разметки (1.1, 1.2.1 и т.д.). Таким образом, наборы классов пространственных объектов должны содержать типы дорожной разметки единой геометрии – точечной, линейной, площадной.

Структура базы данных модели содержит поля, в которые заносятся извлечённые из исходных материалов ДЗЗ диагностические показатели. Диагностические показатели напрямую связаны с геометрической составляющей результатов диагностики через id объектов. Предлагаемый набор полей, содержащих диагностические показатели объектов дорожной разметки приведён в таблице 2. Помимо данного набора параметров сохраняется возможность расширения набора полей в случае необходимости. Например - при использовании дополнительных данных из вспомогательных источников, не выявленных непосредственно в процессе дешифрирования, в структуру таблицы может добавляться поле, содержащее сведения о материале исполнения объектов разметки и т.д.

Таблица 2 - Предлагаемый набор полей атрибутивных таблиц для слоёв дорожной разметки

№	Поле	Псевдоним	Предлагаемый доменный словарь
1	Existence	Наличие	Присутствует; отсутствует
2	Condition	Состояние	Хорошее, удовлетворительное, повышенный износ, сильный износ
3	Condition_pl	Сохранность по площади	Более 80%, 50-80%, 30-50%, 11-30%
4	Type	Тип	Дублирует название класса, см. приложение А
5	Length	Длина	-
6	Area	Площадь	Доменный словарь только для точечной разметки (значения согласно ГОСТ)
7	Address	Адресация	см. раздел 2.3, зависит от области исследования. Не извлекается из ДДЗЗ

Для заполнения большинства полей в базе данных создание доменного словаря существенно ускорит процесс моделирования. Функционал ArcGIS позволяет реализовать данную операцию в полном объёме. Другим способом увеличить производительность дешифрирования является использование расширения *Attribute Assistant*. Данное расширение позволяет автоматически заполнять поля в атрибутивной таблице: заполнение поля А значением 1 автоматически триггерит (активирует) заполнения поля В значением 2

и т.д. Использование *Attribute Assistant* позволяет, заполнив из доменного словаря поле *Сохранность по площади*, одновременно заполнять поле *Состояние* необходимым доменом и т.д. При отсутствии данного расширения альтернативно возможно использовать выборку по атрибуту, например, [Condition_pl] = 'Более 80%' и заполнение поля *Состояние* для всех объектов, удовлетворяющих условию.

Под отсутствием разметки рационально понимать разметку с сохранностью по площади менее 10%, т.е. разметку, несомненно требующую демаркировки (Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог, 2018). Поле *Состояние* связано с полем *Сохранность по площади* и должно быть реализовано в виде нескольких категорий различной степени сохранности. Предлагаются следующие категории: хорошее состояние (сохранность более 80%), удовлетворительное состояние (50-80%), повышенный износ (30-50%), сильный износ (11-30%). Поле *Длина* заполняется по измерениям с помощью картометрического функционала вычисления геометрии в автоматизированном режиме. Длины линейных типов разметки измеряются с помощью инструмента *Вычислить геометрию*. Для линейной разметки поле *Площадь* заполняется с помощью *Калькулятора поля*. Для вычисления используем поле *Длина*, значение которого мы умножаем на специальный коэффициент:

$$S = l * n \quad (1.1)$$

где S – площадь сегмента разметки; l – длина сегмента в метрах; n – коэффициент, выражающий соотношение площади каждого типа разметки в 1 м² на 1 метр длины этого типа разметки. Так, разметка 1.1 представляет собой одну сплошную линию, шириной по ГОСТ от 0,1 до 0,15 см. Возьмём среднее значение в 0,125 как ширину, умножим на длину 1 м мы получаем площадь в 0,125 м². Таким образом, коэффициент n для разметки 1.1. составляет 0,125. Условный участок разметки длиной в 139 м, имеющий высокую степень износа и требующий демаркации будет иметь площадь: $139 * 0,125 = 17,315$ м. Для разметки 1.5 коэффициент n будет равен 0,05; для разметки 1.3. 0,3 и т.д. Через коэффициент n подлежат расчёту площади всех векторизованных элементов горизонтальной разметки. Полученные значения площадей позволяют проводить дальнейшие операции пространственного анализа. Более сложные с геометрической точки зрения типы разметки требуют для расчёта коэффициента n более сложных формул.

Для точечной разметки площадь условного знака берётся из ГОСТ. Следует отметить, что для некоторых знаков точечной разметки возможны два варианта реализации, разной длины и, соответственно, площади. При дешифрировании точечной разметки оператору необходимо предварительно выполнить измерение длины знака с помощью

картометрических инструментов и выбрать соответствующее ГОСТ значение из доменного словаря. Площадь полигональной разметки вычисляется автоматически с помощью картометрического функционала.

Выявление степени сохранности дорожной разметки по площади - важный этап в процессе моделирования. Показатель сохранности по площади необходим в первую очередь для выделения элементов разметки, требующих демаркировки. К таким элементам относятся участки разметки с малым процентом сохранности по площади. Подобные элементы разметки: 1. распознаются как часть покрытия автодороги при проведении классификации без обучения/с обучением; 2. при диагностике оператором визуально распознаются как участки, на которых разметка либо фактически отсутствует, либо практически не распознаваема. Все прочие предложенные ранее категории сохранности носят преимущественно вспомогательный, оценочный характер.

Полная автоматизация оценки износа дорожной разметки маловероятна при масштабных исследованиях, особенно при использовании материалов спутниковой съёмки. В наиболее общем виде задача сводится к определению доли пикселей, соответствующих сохранившейся разметке от общего числа пикселей, составляющих данный объект дорожной разметки на материалах ДЗЗ. Введём понятие эталона, которое должно зависеть от того, какие исходные материалы ДЗЗ используются для проведения анализа. Для мультиспектральных снимков, получаемых с платформы БПЛА, эталон - значения спектральной яркости пиксела/Digital Number (DN) на используемых материалах ДЗЗ, который соответствует сохранившейся разметке на местности. В случае использования панхроматических снимков эталон фактически должен представлять собой пороговое значение, DN равное которому либо «выше» которого принимается за сохранность разметки. Выбор эталона осуществляется на основании уверенности в фактической сохранности разметки на местности. Основаниями для выбора эталона может быть достоверная информация (например, данный объект разметки был демаркирован месяц назад), либо полевые «in situ» исследования; использование разметки с тестового полигона как эталона и т.д. При отсутствии подобных оснований, выбор эталона принимается оператором на основании анализа материалов ДЗЗ. Элементы разметки в идеальном случае при полной сохранности будут состоять целиком из пикселей с DN превышающим или равным эталонному. При наличии в составе элемента разметки пикселей с DN ниже эталонного, требуется вычислить долю таких пикселей от общего числа. Полученная доля в % будет соответствовать проценту сохранности разметки.



Рисунок 5 - Участки с эталонным (сверху), неудовлетворительным состоянием (по середине) и фактическим отсутствием (снизу) разметки 1.5

Наиболее рациональным при решении задач исследования способом заполнения поля *Сохранность по площади* является оценка сохранности оператором в процессе дешифрирования. Выбирается эталонный образец разметки, при сравнении с которым прочие объекты разметки получают оценку сохранности разметки в виде одной из указанных ранее категорий. Сегменты с сохранностью разметки менее 10% будут состоять из пикселей, имеющих DN схожий с DN дорожного покрытия и отличный от эталона. На рисунке 5 представлен пример эталонного участка в сравнении с участком в неудовлетворительном состоянии и участком, на котором разметка фактически отсутствует.

При выполнении моделирования оператор может использовать инструменты анализа растровых изображений. В случае использования ArcGIS, оператору доступен инструмент *Инспектор пикселей*. С помощью данного инструмента оператор оценивает значения DN эталонного объекта разметки; DN покрытия дороги («фон», зависящий от

покрытия конкретного участка); DN исследуемого объекта разметки и производит сопоставление последнего с первыми двумя. Имеется возможность экспорта матрицы пикселей из данного инструмента в буфер обмена, а далее в другие приложения, в частности в *Microsoft Excel*. В *Microsoft Excel* реализованы как математические средства анализа, так и возможность настроить условное форматирование ячеек. Задав условие форматирования и выбрав цвет ячеек, оператор имеет возможность как визуально, так и математически оценить число ячеек, находящихся в определённом диапазоне яркости пиксела и увидеть их пространственное расположение. Дополнительный функционал позволяет произвести операции подсчёта ячеек, соответствующих эталону от общего числа ячеек матрицы, равно как выполнить и другие операции сбора статистики при такой необходимости. Наибольшую эффективность выявления сохранности использование *Pixel Inspector* и условного форматирования предоставляет при анализе площадной разметки, в первую очередь пешеходных переходов. Пример условного форматирования матрицы, полученной с помощью инструмента *Pixel Inspector* представлен на рисунке 6.

959	920	832	704	608	509	404	263		762	825	339	255	289	251	256	234
460	340	258	201	181	184	250	421		789	984	630	502	533	551	527	209
244	402	552	665	757	852	908	919		849	850	409	326	372	389	424	435
880	906	916	915	796	731	647	491		771	663	207	161	202	187	184	391
667	540	393	351	219	165	189	207		675	636	306	246	278	252	216	211
175	235	282	407	554	661	746	781		696	635	272	217	231	232	229	235
729	823	899	877	928	867	809	738		801	694	258	194	241	252	239	223
842	785	683	540	441	309	205	147		923	737	255	190	238	233	230	247
224	160	147	209	280	384	468	527		821	627	233	230	221	218	239	230
447	525	635	722	782	818	905	913		730	558	218	244	243	222	243	215
903	896	873	799	683	593	461	329		778	568	251	251	248	254	262	224
468	351	223	221	237	275	324	394		844	596	186	176	211	234	236	234
284	398	516	620	776	855	953	1028		638	555	235	220	248	244	229	227
963	1019	1119	1109	1054	937	798	667		562	553	516	542	497	455	425	233
785	676	501	371	279	279	243	222		621	523	423	422	475	473	482	371
270	224	280	339	394	525	676	832		575	362	179	254	252	230	246	557
685	789	917	1035	1006	1008	966	857		655	524	203	220	215	225	217	269
901	870	753	650	535	419	325	243		903	543	195	251	230	256	248	217
287	286	263	190	239	326	360	491		980	510	176	249	237	239	216	257
404	521	616	773	857	956	1030	987		1039	564	153	249	238	219	247	228

Рисунок 6 - Условное форматирование ячеек растра, представляющих разметку 1.14.1 (слева); 1.12 и 1.1 (справа), зелёным выделены ячейки сохранности разметки

Линейный характер простираения большинства объектов разметки; большая площадь территории исследования; пунктирный вид некоторых объектов разметки, а также относительно низкое пространственное разрешение спутниковых снимков затрудняет процесс определения сохранности разметки по площади в автоматическом режиме. Пространственное разрешение спутниковых снимков даже сверхвысокого разрешения

превышает ширину большей части объектов дорожной разметки. Как следствие, большинство типов дорожной разметки на спутниковых снимках изображены в виде узкой полосы, шириной в большинстве случаев не более трёх, а во многих случаях в один пиксел. Пунктирные виды дорожной разметки представлены в виде последовательности сегментов шириной в 1-2 пиксела, и длиной до 10-12 пикселов. Таким образом, каждый пиксел составляет значительную долю от общего числа пикселов, изображающих сегмент разметки (до 33%). Столь высокая доля означает высокую погрешность при проведении потенциального подсчёта пикселов различной степени сохранности, составляющих знак разметки на исходных материалах. В результате, получаемые значения сохранности будут иметь низкую достоверность.

Спутниковые снимки мультиспектрального диапазона фактически не позволяют в силу сравнительно низкого пространственного разрешения дешифровать дорожную разметку достаточно точно и определять степень её сохранности. Разрешения панхроматического диапазона уже достаточно для выполнения дешифрирования. Наибольшие же возможности дешифрирования разметки и выявления её сохранности предоставляют материалы аэрофотосъёмки. В силу более высокого пространственного разрешения, до первых см, задача определения сохранности приобретает несколько иное решение. Горизонтальная дорожная разметка на ортофотопланах фактически переходит от объекта линейного к объекту полигональному. Число пикселей, соответствующих разметке на местности существенно больше, чем на спутниковых снимках, что снижает погрешность и делает более рациональным их непосредственный подсчёт. Основанием для решения подобной задачи может быть результат классификации с обучением/без обучения. Пример результата классификации представлен на рисунке 7. При выполнении классификации растрового изображения, один из полученных классов содержит пиксели, соответствующие дорожной разметке, другие – прочим объектам, в т.ч. дорожному покрытию, трещинам в покрытии, неклассифицированным пикселям.

Далее задача сводится к вычислению числа пикселей иных классов, содержащихся в качестве «каверн» внутри пикселей класса разметки, т.е. которые окружены со всех сторон пикселями класса разметки. В ряде случаев также требуется подсчитать группы пикселей, окружённые с трёх сторон пикселями класса разметки – данные пиксели с точки зрения геометрии должны принадлежать знаку разметки, но фактически классифицированы иначе в силу износа. После выполнения данных операций для элемента дорожной разметки возможно вычислить сохранность по формуле 1.2.

$$Q = \frac{\sum_1^n p_c + \sum_1^n p_d}{p_r + \sum_1^n p_d} * 100\% \quad (1.2)$$

Где Q – сохранность знака разметки; p_c – число пикселей-каверн классов $1 \dots n$; n – число классов, к которым принадлежат пиксели-каверны; p_d – число пикселей, которые классифицированы как пиксели иных классов ($1 \dots n$), но которые должны принадлежать с точки зрения геометрии знаку разметки (например, пиксели класса *Трещины*); p_r – число пикселей класса *Разметка* в исследуемом знаке разметки. Модификации и расширения формулы 1.2 могут быть в дальнейшем использованы при создании алгоритмов автоматизированного подсчёта сохранности разметки. Многие инструменты, необходимые для подсчёта сохранности подобным образом уже реализованы в современных пакетах обработки материалов ДЗЗ. Вычисление сохранности разметки таким инструментом возможно представить в виде трёх этапов:

1. Выделение полигоном исследуемого объекта разметки, автоматический подсчёт пикселей «каверн» и пикселей класса *Разметка*.
2. Последовательное выделение групп пикселей иных классов, занимающих геометрическое пространство знака разметки.
3. Запуск алгоритма и получение результата для исследуемого объекта дорожной разметки по указанной формуле.



Рисунок 7 - Результат классификации без обучения, позволяющий оценить процент сохранности разметки заезда на автодорогу

Автоматизация процесса дешифрирования дорожной разметки представляется возможной в виде использования классификации с обучением/без обучения для выделения разметки по материалам ДЗЗ. Помимо непосредственно классификации, частичной автоматизации подлежит технологический процесс преобразования результатов в векторную форму и далее в описанную ранее подструктуру геоинформационной модели. Оба метода классификации позволяют выделять дорожную разметку по материалам ДЗЗ. Основным преимуществом классификации с обучением в данном случае является создание отдельных образцов обучающей выборки (Regions of interest, ROI) для видов разметки, имеющих жёлтый цвет и для видов, имеющих белый цвет. При должном качестве и достаточном пространственном разрешении исходных материалов, оба варианта классификации по ортофотопланам могут предоставить достаточно точные результаты, чтобы использование полуавтоматического режима было целесообразно. Материалы спутниковой съёмки при использовании методов классификации дают результаты меньшей точности и их использование представляется менее рациональным. Детальнее данный вопрос рассматривается в главе 3.

Выполнение классификации с обучением/без обучения составляет основу автоматического этапа дешифрирования дорожной разметки. Операции кластеризации и классификации реализованы во многих программных продуктах. К их числу относятся: ArcGIS Desktop; ArcGIS Pro с модулем *Image Classification Wizard*; ENVI; ERDAS Imagine; QGIS с модулем *Semi-Automatic Classification Plugin* и другие. Технологическая схема преобразования результатов классификации в векторные данные несколько варьируется в зависимости от используемого программного обеспечения. После непосредственного процесса векторизации следует этап ручной коррекции результатов. Функционал различного программного обеспечения предоставляет опции для оперативной коррекции полученных классов, например, ENVI включает инструмент *Intelligent Digitizer*. Рациональным видится дальнейшая разработка и внедрение алгоритмов и инструментов, которые ускорят процесс коррекции. В частности, такие алгоритмы могут включать следующие этапы предварительной «чистки» результатов классификации:

- Удаление объектов, расположенных целиком вне определённой области/буферной зоны радиусом x и т.д.;
- Удаление линейных объектов длиной менее/более x ;
- Удаление точечных объектов, удалённых от других точечных/линейных объектов на расстояние x ;

- Удаление точечных объектов, имеющих общую геометрию с линейным/полигональным объектом и т.д.
- Удаление полигонов шириной более; от ... до ...

Инструменты, ускоряющие процесс коррекции, могут предоставлять оператору быстрый доступ к базовым опциям редактирования геометрии: разбить линию в узлах; разрезать полигон; преобразования из одного типа геометрии в другой и т.д. Использование методов машинного обучения потенциально может значительно ускорить процесс коррекции результатов, а часть операций свести к выбору из предлагаемых программой вариантов. Общая технологическая схема ручного преобразования результатов классификации выглядит следующим образом:

1. Импорт результатов классификации в векторной форме в рабочий проект.
2. «Чистка» результатов классификации. Удаление заведомо неверных объектов, не относящихся к разметке, удалённых от автодорог, ошибочно классифицированных пикселей и т.д.
3. Коррекция геометрии. Преобразование типов геометрии. Объединение разделённых линейных/точечных объектов в целостные. Преобразование пунктирных видов разметки и разметки 1.13 в линейные объекты. Редактирование вершин, продление и сокращение линейных объектов. Сегментация. Замена «парных» типов разметки (1.3., 1.9 и т.д.) на одинарные полилинии. Преобразование пешеходных переходов в единый полигональный объект. Прочие виды дополнительной векторизации в ручном режиме исходя (сверяясь с) из начальных материалов ДЗЗ.
4. Разделение результатов на классы пространственных объектов. Импорт классов в базу геоданных.
5. Создание полей в атрибутивных таблицах, содержащих извлекаемые диагностические параметры.
6. Настройка символики по полю *Typ* – выбор из доменного словаря.
7. Определение длин и площадей, оценка степени износа и состояния, заполнение атрибутивных таблиц.
8. Добавление участков отсутствующей/стёртой разметки, по аналогии с ручным способом.
9. Итоговая проверка корректности геометрии.
10. Проверка атрибутивных таблиц на наличие незаполненных полей.

При использовании отечественного программного продукта Easy Trace возможен несколько иной подход к автоматическому выделению разметки. Суть подхода сводится к

преобразования исходных ДДЗЗ в двухцветный растр и дальнейшей полуавтоматической векторизации. После выполнения предварительной обработки растра (локальное усиление яркости, наложение масочных фильтров, коррекция гаммы, настройки каналов изображения и т.д.) требуется перевести растр в двухцветный. Наиболее рациональным выбором является сочетание чёрного и белого цветов. Пороговые значения DN для символики цветов задаются оператором экспериментальным путём в зависимости от исходных материалов. Далее выполняется инверсия растра – в результате разметка оказывается представленной в виде белых полилиний на чёрном фоне. Производится обработка полученного инвертированного растра, заполнение каверн, утоньшение линий, удаление мелкого шума и т.д. Функционал Easy Trace позволяет удалить большую часть шума и предоставить пригодный для полуавтоматической векторизации растр. Далее выполняется полуавтоматическая векторизация и ручной контроль результатов по аналогии с указанной ранее методикой. Пример дешифрованной дорожной разметки представлен на рисунке 8.

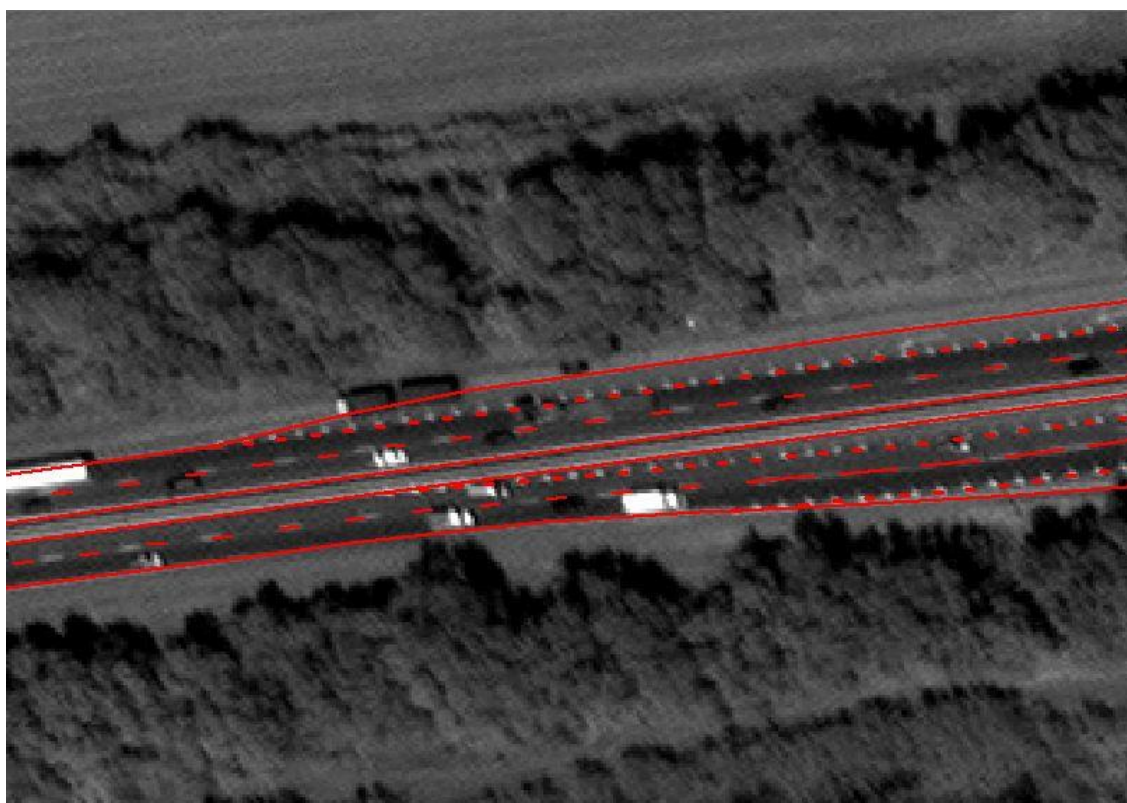


Рисунок 8 - Дешифрованная по снимку WorldView-2 дорожная разметка

Созданная в результате ручного или частично автоматизированного дешифрования геоинформационная модель дорожной разметки позволяет выполнять дальнейшие операции пространственного анализа, получать разнообразные статистические

сведения. С помощью модели дорожной разметки мы можем получить следующую информацию:

- Список присутствующих типов разметки в границах исследуемой территории. Соответственно, представляется возможным узнать и обратное – какие типы разметки отсутствуют. Сопоставление результатов с проектами организации дорожного движения (далее ПОДД), архивными материалами.
- Количественные характеристики разметки: число объектов разметки различного типа геометрии. Длины и площади разметки. Суммарные длины и площади дорожной разметки каждого типа в пределах автотрассы/улицы/населённого пункта/муниципального района и т.д.
- Оценка степени износа разметки. Отсутствие/высшая степень износа разметки. Пространственное распространение изношенной разметки, корреляционный анализ распространения стёртой разметки с иными природными и социальными явлениями. Длины участков разметки, требующих демаркации. Объёмы предполагаемых демаркационных работ и их потенциальная стоимость, составление тендеров и планирование работ. Основания для принятия управленческих решений о необходимости проведения и приоритете демаркации в границах территории исследования.
- Оперативный дистанционный контроль за результатами демаркации проблемного участка (верификация по оперативно получаемым материалам ДЗЗ).
- Наличие/отсутствие дорожной разметки (преимущественно точечной) в предписанных по ГОСТ особых дорожных ситуациях (на выделенных транспортных полосах, велодорожках и т.д.).
- Статистика подверженности различных типов разметки износу. Наиболее и наименее подверженные износу типы разметки в пределах исследуемой территории/отдельных её частях.
- При использовании разновременных материалов ДЗЗ возможно также получить следующую информацию: средние темпы износа за единицу времени; участки, на которых наблюдается ускоренный износ; оценка качества демаркационных работ прочих лет.

2.3 Дешифрирование геометрических элементов автодорог

Вторым этапом дешифрирования материалов ДЗЗ является выявление геометрических элементов автодорог (структурных линий, дорожных конструктивов). При

проведении дешифрирования в полуавтоматическом режиме средствами классификации с обучением и/или использования двухцветных растров, данный этап частично совмещен с этапом дешифрирования дорожной разметки. При дешифрировании в полностью ручном режиме данный этап следует после выявления дорожной разметки. Для этого есть несколько причин. Некоторые из рассмотренных ниже геометрических элементов одной и более гранями дублируют дорожную разметку. Так как моделирование выполняется в векторной топологической модели данных, представляется возможность упростить процесс векторизации геометрических элементов с помощью таких инструментов как *Трассировка*. Использование трассировки по элементам разметки существенно ускоряет процесс моделирования и позволяет предотвратить возможные ошибки топологии. Другая причина – удобство работы оператора, выполняющего процесс дешифрирования. Вынесенные на передний план линии разметки позволяют оператору легче диагностировать границы различных геометрических элементов.

В рамках данного технологического этапа моделированию подлежат следующие объекты:

- Проезжая часть – конструктивный элемент автомобильной дороги, предназначенный для движения транспортных средств. По проезжей части осуществляется движение безрельсовых транспортных средств. Дорога может состоять из одной или нескольких проезжих частей, которые отделяются друг от друга разделительными полосами.
- Обочина – элемент дороги, примыкающий непосредственно к проезжей части на одном уровне с ней, отличающийся типом покрытия или выделенный с помощью разметки. Предназначен для обеспечения устойчивости земляного полотна, повышения безопасности дорожного движения, организации движения пешеходов и велосипедистов, а также использования при чрезвычайных ситуациях. Используется для остановки и стоянки в соответствии с правилами дорожного движения.
 - Краевая полоса – часть обочины, примыкающая к проезжей части и имеющая дорожную одежду, конструкция которой позволяет обеспечить безопасный заезд на неё транспортных средств и защиту кромки проезжей части основной полосы движения от обламывания.
 - Остановочная полоса – часть обочины, примыкающая к краевой полосе, обозначенная специальными дорожными знаками и предназначенная для размещения транспортных средств, вынужденных преднамеренно прекратить движение на время более 5 минут по причинам, не связанным с посадкой или высадкой пассажиров либо загрузкой или выгрузкой транспортного средства.

- Разделительная полоса – конструктивный элемент автомобильной дороги, разделяющий транспортные потоки по направлениям или составу движения. Выделяется при помощи разметки или специальных конструкций. В большинстве случаев фактически разграничивает смежные проезжие части.
 - Полоса безопасности - часть разделительной полосы, примыкающая к проезжей части и имеющая дорожную одежду, конструкция которой при нештатных ситуациях позволяет обеспечить безопасный заезд на неё транспортных средств.
- Примыкания и пересечения – узел автомобильных дорог, в котором к одной дороге примыкает в одном уровне другая дорога, не имеющая прямого продолжения и прерывающаяся в этом узле (ГОСТ 33475-2015 Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Технические требования).
- Бортовой камень (бордюрный камень) – бетонный или железобетонный камень, предназначенный для отделения зоны движения пешеходов от проезжей части или прочих геометрических элементов дороги.

Схема, показывающая геометрические элементы дорог, представлена на рисунке 9:

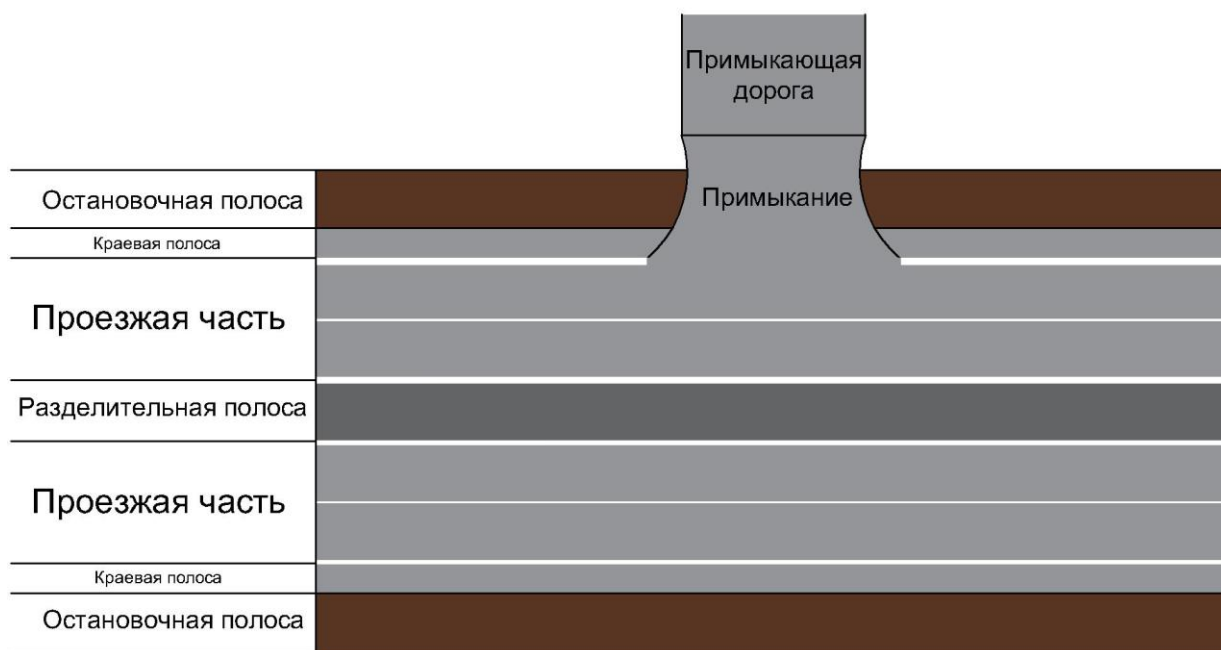


Рисунок 9 - Схема геометрических элементов автомобильных дорог

На данном этапе выполняется извлечение диагностических параметров из исходных ДДЗЗ в растровой модели данных. Результатом извлечения являются диагностические параметры в виде геометрической и атрибутивной составляющих, связанных между собой по id объектов. Полный список диагностических показателей, извлекаемых на данном этапе дешифрирования представлен в приложении Б.

Вышеуказанные элементы по типу пространственного распространения делятся по полигональные и линейные. К линейному типу геометрии относится бортовой камень, все остальные элементы – к полигональному типу. Процесс векторизации выполняется с использованием описанной ранее базы геоданных, содержащей классы объектов и наборы классов. В базе геоданных создаётся набор классов, который будет содержать классы геометрических элементов дороги. Каждый класс объектов внутри набора соответствует одному из указанных ранее элементов дороги: проезжей части; краевой полосе; остановочной полосе; разделительной полосе; примыканиям; бортовому камню. Обочина моделируется в виде двух отдельных классов объектов для её составляющих – краевой и остановочной полосы; создание дополнительного отдельного класса для обочины является нерациональным.

Для ручного режима дешифрирования предлагается следующая технологическая схема:

1. Создание набора классов и классов объектов в базе геоданных.
2. Добавление содержащих диагностические параметры полей в атрибутивные таблицы классов объектов (см. приложение Б).
3. Настройка визуализации/символогии для каждого слоя проекта.
4. Визуальное выявление оператором точки «затравки», переход в режим создания векторных объектов, выбор класса *Проезжая часть*. «Стыковка» с вершиной/стороной линейной разметкой 1.2/1.2.1/1.2.2/1.4, ограничивающей проезжую часть. Активация инструмента *Трассировка*.
5. Обход проезжей части по контуру - векторизация границ проезжей части путём повторения ранее созданных линий разграничительной разметки и создания/редактирования дополнительных вершин и сегментов в случае необходимости. Замыкание (завершение скетча) полигонального объекта в исходной точке. Ввиду больших размеров территории исследования, не рационально создавать в один заход полигон для всей проезжей части сегмента – сохраняется вероятность программных сбоев и потери прогресса. Векторизацию протяжённых сегментов рационально выполнять в несколько подходов – после векторизации определённой части сегмента обход проезжей части прерывается и выполняется стыковка с противоположной гранью проезжей части. Далее происходит обход проезжей части по этой грани в обратном направлении с замыканием полигона в исходной точке. После выбора созданного полигона оператор входит в режим редактирования и геометрии и продолжает обход.

6. Сегментация полигона проезжей части «по ширине». Сегментация выполняется оператором на основании визуального анализа дорожной ситуации. Реализуется сегментация с помощью инструмента *Разрезать полигоны (Cut Polygons)*. После выполнения разбиения, полученным полигонам присваиваются соответствующие их характеристикам подтипы. Заполняются диагностическими параметрами поля атрибутивной таблицы. О возможных подтипах проезжей части см. далее.
7. Построение осевой линии дороги.
8. Векторизация разделительной полосы (при наличии таковой в пределах дешифрируемого сегмента). Может выполняться двумя путями в зависимости от конкретной дорожной ситуации: 1. Вырезание из ранее созданного полигона проезжей части с помощью инструментов *Разрезать полигоны*, *Трассировка* и различных средств редактирования геометрии; 2. Непосредственная векторизация по технологии, схожей с описанной в п. 4-5 для проезжей части (в случае, если ранее была векторизована одна, а не несколько параллельных проезжих частей и вырезание не представляется возможным). Вариант реализации путём вырезания требует последующего перевода построенных полигонов в соответствующий класс объектов – наиболее быстрым способом станет реализация подобной опции через специальное поле атрибутивной таблицы с заданным доменным словарём.
9. Построение вспомогательных элементов, не являющихся непосредственно геометрическими элементами дороги, которые позволяют частичной автоматизировать заполнение атрибутивной таблицы (см. далее).
10. Дешифрирование и векторизация примыканий. Примыкания, как правило, имеют трапецевидную форму. Однако, в ряде случаев (в частности, у примыканий, ведущих к АЗС) форма может быть иной - прямоугольной или квадратной. Суть операции векторизации примыкания заключается в визуальной диагностике оператором наличия примыкания по материалам ДЗЗ и моделированной ранее разметкам 1.2/1.2.1, 1.7 и 1.13. Оператор определяет внешнюю границу и форму примыкания и выполняет векторизацию посредством инструментов функционала создания объектов. Следует использовать функцию добавления дуговых сегментов (в ArcGIS подобный инструмент называется *Сегмент дуги конечной точки*) при построении боковых граней трапецевидного примыкания. При необходимости, после векторизации производится корректировка вершин соответствующими инструментами для достижения корректной геометрии. Примыкание векторизуется по разметке 1.2/1.2.1, а с внешней стороны (если примыкание ведёт не к моделируемой рамках исследования территории/дороге) - по видимым границам земляного полотна. Грань примыкания, прилегающая к дороге,

координируется чётко по контуру (кромке) проезжей части, но не обочины. Заполняются диагностическими показателями поля атрибутивной таблицы для класса *Примыкания*.

11. Дешифрирование и векторизация бортового камня. Бордюрные камни векторизируются по оси по аналогии с дорожной разметкой. Оператор визуально выявляет бортовой камень и производит векторизацию средствами создания линейных объектов. Поля атрибутивной таблицы заполняются диагностическими параметрами.
12. Дешифрирование и векторизация краевой полосы обочины. Выполняется последовательно по прямому либо обратному ходу дороги. Оператор визуально определяет внешнюю границу краевой полосы и выполняет векторизацию с помощью инструментов создания объектов. Прилегающая к проезжей части грань полосы векторизируется с помощью инструмента *Трассировка*. Как и в случае с проезжей частью, представляется рациональным дешифрировать и векторизовать краевую полосу не на протяжении всего исследуемого сегмента, а на определённой его части – т.е. разделять операцию на несколько этапов. Положение внешней грани полосы определяется оператором визуально, векторизируется внешняя грань путём расстановки вершин вдоль сегмента. Ширина краевой полосы не стабильна и может варьироваться. В связи с этим необходимо производить сегментацию получаемых полигонов при значительных изменениях ширины. Достаточно существенным для сегментации предлагается понимать изменение ширины на значение более 30 см. Векторизовав участок краевой полосы, оператор визуально определяет и с помощью картометрического инструментария ГИС проверяет изменения ширины краевой полосы. При наличии существенных изменений следует проводить сегментацию полосы с помощью инструмента *Разрезать полигоны*. Операция повторяется до тех пор, пока векторизованная полоса не будет сегментирована на необходимое количество участков со стабильной шириной (± 30 см) в пределах каждого участка. Операция выполняется последовательно для прямого и для обратного ходов дороги.
13. Дешифрирование и векторизация остановочной полосы обочины. Выполняется по полной аналогии с предыдущим пунктом. Одна из внешних граней трассируется по внешней стороне краевой полосы обочины. В некоторых дорожных ситуациях, в структуре автотрассы может отсутствовать краевая либо остановочная полоса. Возможны ситуации, в которых обочина может отсутствовать полностью – в пределах населённых пунктов, а также на участках зон отдыха вдоль автотрасс.
14. Дешифрирование и инвентаризация дефектов, связанных с геометрическими элементами автодорог. Создание в базе геоданных набора классов и классов объектов

для отдельных дефектов. Выполнение векторизации дефектов с помощью средств создания объектов. Картометрические операции. Заполнение полей атрибутивной таблицы диагностическими параметрами.

15. Проверка топологической корректности результатов дешифрирования.
16. Автоматическое вычисление ширин, длин, площадей.
17. Заполнение оставшихся полей атрибутивной таблицы диагностическими показателями.
18. Финальная проверка результатов – полноты дешифрирования, заполнения атрибутивной таблицы, корректности геометрии.

Рассмотрим подробнее некоторые из перечисленных технологических этапов моделирования. В первую очередь следует прокомментировать поля атрибутивных таблиц для всех классов объектов. В отличие от этапа моделирования дорожной разметки, содержание полей в атрибутивной таблице для классов геометрических элементов дорог более многообразно, а общее число полей больше. Многие из полей заполняются автоматизированным способом посредством операций картометрии и использования вспомогательных объектов. Предлагаемый набор полей атрибутивных таблиц классов объектов конструктивных элементов автодорог, содержащих диагностические показатели, представлен в приложении Б.

Остановимся подробнее на типах сегментов проезжей части по ширине. Видится рациональным выделить следующих типов: сегменты постоянной ширины; сегменты переменной ширины; сегменты с остановочными карманами; кольцевые развязки. Принадлежность участков проезжей части к одному из типов определяется оператором, который выявляет границу одного типа проезжей части и разрезает исходные полигоны проезжей части на сегменты по данной границе. На участках переменной ширины не представляется возможным точно измерить общую ширину проезжей части, т.к. данный параметр в пределах подобных сегментов является переменным и изменяется по ходу дороги. Для полигонов данного типа измеряется только ширина полосы движения. Формируются подобные сегменты при наличии переходно-скоростных полос. Переходно-скоростная полоса – полоса движения, устраиваемая дополнительно к основной полосе движения, для безопасного изменения траектории и скорости движения транспортного средства, совершающего манёвр слияния с транспортным потоком прямого направления или разделения с ним на пересечениях и примыканиях или иных участках дороги (ГОСТ 33475-2015 Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Технические требования). Участки, содержащие автобусные карманы, обладают повышенной шириной относительно прочих сегментов автодорог. При подсчёте ширины данных участков, измерению подлежит вся проезжая часть, включая карман в самом его

широком месте. Тип «Кольцевая развязка» предлагается использовать при моделировании дорожной сети населённых пунктов в качестве соединительного элемента прочих типов проезжей части. Ширина подобного участка также не измеряется.

Атрибуты наличия велодорожек и выделенной полосы общественного заполняются оператором путём выбора из доменного словаря на основании визуального анализа. Поле наличия разделительной полосы также возможно заполнять путём выбора значений из доменного словаря. Существует возможность автоматизации заполнения данного этапа путём разработки скрипта, заполняющего поле по результатам комбинации пространственного и атрибутивного запросов. Суть задачи сводится к следующему: выбор полигонов класса *Проезжая часть*, граничащих с полигонами класса *Разделительная полоса*; исключение из выборки полигонов со значением «Кольцевая развязка» в поле *Тип*; заполнение поля *Наличие разделительной полосы* доменом «Да»; заполнение поля *Наличие разделительной полосы* доменом «Нет» для отфильтрованных объектов. Поля, связанные с числом полос движения заполняются оператором вручную либо с помощью доменного словаря на основании визуального анализа дорожной ситуации. Для всех классов объектов поле *Положение по ходу* заполняется оператором путём выбора домена (об особенностях данного поля см. далее). Поле *Покрытие* для классов проезжей части и примыканий заполняется путём выбором домена на основании визуального анализа.

Поля *Класс*, *Категория*, *Расчётная интенсивность движения* и *Максимальный уровень загрузки дороги движением* заполняются оператором на основании установленных ГОСТ критериев. При использовании ArcGIS существует возможность автозаполнения данных полей путём использования упомянутого ранее расширения *Attribute Assistant* и/или создания специальных скриптов. На основании заполненных полей, содержащих сведения о наличии/отсутствии разделительной полосы; ширины разделительной полосы, краевой полосы, остановочной полосы; числе полос движения; возможно установить последовательно класс и категорию дороги, а далее расчётную интенсивность и максимальный уровень загрузки. Настройка динамической атрибутивной таблицы для расширения *Attribute Assistant* может выглядеть следующим образом:

Table Name: Pch

Field Name: Category

Value Info: IIF([Razd_ex]= "Нем", [Lines]= "2", [Width_p]>3,25 "III", IIF([Width_p]<=3,25, "II"));

Table Name: Pch

Field Name: Class

Value Info: IIF([Category]= "Нем" "Обычная автодорога");

Table Name: Zagruzka

Field Name: Category

Value Info: IIF([Class]= "Обычная автодорога " "0,7");

Table Name: Pch

Field Name: Intensity

Value Info: IIF([Category]= "III", "2 000 – 6 000" [Category]= "II", "Свыше 6000");

Поля площади и длины для всех классов объектов вычисляются в автоматическом режиме с помощью картометрического функционала ГИС. Поля, содержащие ширины проезжей части; полосы движения; прямого и обратного хода; разделительной полосы; полосы безопасности; краевой полосы; остановочной полосы; а также ширины и длины примыканий могут заполняться оператором непосредственно вручную с помощью картометрического функционала ГИС. Однако, существует способ автоматизировать процесс посредством создания и последующего измерения длин вспомогательных линейных объектов отдельного класса. Назовём этот вспомогательный класс объектов *Ширины*. Данный класс содержит в атрибутивной таблице поле *Тип*, в котором в качестве домена заданы возможные значения, в зависимости от того, ширину объектов какого класса и какой из вариантов ширины (полную, полосы движения, прямого хода, обратного хода) представляет данная полилиния. Через поле *Тип* настраивается символика – цвет и толщина линий ширин. Объекты класса *Ширины* представляют собой перпендикулярные направлению целевых объектов линии, длины которых фактически соответствуют ширинам целевых объектов. Путём измерения длин вспомогательных объектов картометрическими инструментами, вычисляются ширины целевых объектов.

Оператор выполняет построение вспомогательных линий с помощью инструментов создания объектов и задаёт их тип путём выбора домена. Для полигонов проезжей части строится несколько полилиний в зависимости от дорожной ситуации. На однополосных дорогах, съездах, дорогах с односторонним движением строится одна полилиния, длина которой будет одновременно соответствовать общей ширине дороги, ширине полосы движения и ширине прямого хода. Для полигонов многополосных дорог с двухсторонним движением требуется использовать полилинии общей ширины проезжей части, ширины полосы движения, ширины прямого и обратного ходов. Определение прямого/обратного хода дороги требует установления направления отсчёта километража трассы (с востока на запад, севера на юг и т.д.), т.е. точку начала трассы. Выявление направлений прямого и обратного хода возможно различными способами, в частности с помощью панорамной съёмки и нахождения километровых столбов – по направлению увеличения/уменьшения километража трассы. Условно встав на начало трассы и смотря вперёд по её ходу, справа

от наблюдателя будет расположен прямой ход, слева – обратный ход. Соответственно, все полосы справа от разделительной линии разметки/разделительной полосы будут составлять прямой ход, слева – обратный. Зная это, оператор проводит с помощью инструментов создания объектов полилинии от разметки границ проезжей части до разделительной разметки. Полилиния, проведённая от правой внешней линии разметки, будут определять ширину прямого хода, от левой – обратного. Соответственно, линия, соединяющая разметки границ проезжей части с обеих сторон, будет измерять общую ширину проезжей части на данном сегменте автотрассы. При моделировании дорожной сети в пределах населённых пунктов понятие прямого/обратного хода применимо скорее условно, но по сути два направления движения в большинстве случаев сохраняются. Следовательно, данное поле может быть заполнено, например, прямой ход по ул. Парковой - по нумерации домов в прямом порядке и т.д.

В ряде случаев представляется рациональным построение в пределах сегмента нескольких линий ширины и последующее получение среднего между их длинами – для повышения точности измерений. Рекомендуется строить несколько линий ширины для обеих полос обочины, а также отдельных полос движения проезжей части. Для измерения ширины разделительных полос и полос безопасности в большинстве случаев достаточно одной линии.

Измеряемыми диагностическими параметрами примыканий являются длина и ширина. Ширина примыкания измеряется по ширине дороги/территории, на которую выводит примыкание, т.е. фактически равна длине верхней грани трапеции в наиболее общем случае. Вспомогательная линия ширины в данном случае будет дублировать верхнюю грань трапеции. Длина примыкания измеряется от кромки примыкания у проезжей части (основания трапеции) до вершины примыкания (верхней стороны трапеции). Соответствующая вспомогательная линия будет совпадать или близко расположена к условной «вертикальной» оси примыкания. При измерении параметров примыканий оператору достаточно построить одну линию ширины и одну линию длины.

После непосредственного построения вспомогательных элементов выполняется определение длин всех вспомогательных линий картометрическими инструментами. Полученные значения далее заносятся в атрибутивную таблицу в ручном или автоматизированном режиме. С помощью расширения *Attribute Assistant* и/или создания скриптов с последовательностью пространственных запросов и действий с атрибутивной таблицей представляется возможным реализовать автоматическое заполнение полей атрибутивных таблиц всех классов объектов. С помощью пространственных запросов выполняется поиск вспомогательных линий в пределах каждого полигона; вычисление

среднего между значениями их длин (при необходимости); заполнение поля ширины полигона полученным средним значением длины либо единственным значением длины (если вспомогательная линия в пределах полигона одна). Подобным образом настраивается заполнение всех полей, содержащих значения ширин, а также длина примыканий.

Поле *Направление* в атрибутивной таблице примыканий заполняется оператором вручную и указывает, в какому объекту/на какую трассу/территорию выводит данное примыкание. Оператор выполняет визуальный анализ ситуации, при необходимости используются дополнительные источники информации, картографические произведения, пространственная информация и картографические веб-сервисы, например, *OpenStreetMap*. Анализ расположения примыкания по прямому/обратному ходу выполняется оператором. Поля атрибутивной таблицы класса *Бортовой камень* заполняются вручную оператором на основании визуального анализа. При визуальном выявлении деформаций и/или смещений в бордюрном камне, поле *Состояние* заполняется доменом «Да», при отсутствии таковых – доменов «Нет». В пределах населённых пунктов расположение примыканий и бортового камня по прямому/обратному ходу теряет своё значение и поле оставляется не заполненным.

Построение центральной линии автодороги служит целям адресации геометрических объектов автодорог, дорожной разметки и элементов дорожного обустройства. Исчисление километража автодороги выполняется по осевой линии этой автодороги. Более детально адресация описана в пункте 2.3. Необходимо рассмотреть подробно непосредственно процесс построения осевой линии. Данная задача выполняется в частично автоматизированном режиме. В идеальных условиях, осевая линия представляет собой центральную линию полигона проезжей части, из которого не выполнено вырезание участков разделительной полосы (при наличии таковой) до выполнения его сегментации. Однако, ввиду наличия переходно-скоростных полос и остановочных карманов, получение центральной линии на практике несколько усложняется. Построение осевой линии выполняется в два этапа. Первым этапом является создание центральной линии полигона, в ArcGIS данная задача решается с помощью инструмента тулбокса *Polygon to Centerline*. Вторым этапом является в ручной корректировке осевой линии на участках полигона, содержащих остановочные карманы.

После выполнения моделирования геометрических элементов дороги рационально выполнить проверку топологической корректности результатов. Для этого следует использовать средства проверки топологии, реализованные в ГИС, в частности, топологические правила. При создании топологических правил следует использовать как

классы геометрических элементов дорог, так и классы объектов дорожной разметки.

Примеры некоторых предлагаемых топологических правил:

- Объекты класса *Примыкания* не должны перекрываться с объектами класса *Проезжая часть*.
- Объекты класса *Краевая полоса* не должны перекрываться с объектами класса *Проезжая часть*.
- Объекты класса *Остановочная полоса* не должны перекрываться с объектом класса *Краевая полоса*.
- Объекты класса *Проезжая часть* не должны перекрываться между собой.
- Объекты класса *Проезжая часть* не должны иметь пробелов.

Возможности автоматизированного дешифрирования геометрических элементов дорог достаточно ограничены. Задача выявления геометрических элементов в ряде случаев представляет сложность даже для оператора, переложение подобных функций в автоматический режим малоэффективно. Помимо указанных ранее видов автоматизации работы с атрибутивной таблицей следует отметить возможность использования функционала автопроведения линий на определённом расстоянии от исходного объекта. Подобный функционал реализован в ряде ГИС, в том числе в ArcGIS, и может быть использован для ускорения процесса моделирования обочины дороги. Автоматическое построение линии на расстоянии x от края проезжей части позволяет оператору ускорить процесс моделирования краевой и остановочной полосы. В данном случае оператору остаётся скорректировать положение вершин внешней грани в местах изменения ширины, трассировать внутреннюю грань по дорожной разметке и выполнить сегментацию. К возможным методам автоматизации также относится использование двухцветных растров и средств автоматической векторизации Easy Trace, по аналогии с методом, описанным в пункте 2.1. В значительной степени данная технология применима и к геометрическим элементам автомобильных дорог, в первую очередь – к разделительной полосе. В ряде случаев возможно использование методов классификации с обучением/без обучения для выявления примыканий и разделительных полос. Однако, точность классификации геометрических элементов не всегда достаточна, а объём необходимых действий этапа коррекции в ручном режиме зачастую значителен.

Важным этапом процесса дешифрирования геометрических элементов дорог является обнаружение дефектов данных элементов. Дефекты геометрических элементов дорог могут быть классифицированы различным образом – по типу геометрического элемента, затронутого дефектом; по степени развития дефекта; по критерию

продолжительности существования дефекта и т.д. По продолжительности дефекты можно разделить на постоянные и временные. Временные дефекты могут возникать в случаях ДТП и иных ситуациях, по стандартам отрасли подобные дефекты должны быть ликвидированы в краткие сроки. Постоянные дефекты отличаются длительностью существования и усугублением степени развития дефекта с течением времени. Материалы ДЗЗ представляют дорожную ситуацию на определённый момент времени, в связи с этим определение того, является ли дефект временным или постоянным затруднительно. Использование разновременных материалов позволяет решить данную проблему. Спутниковая съёмка обладает различной повторяемостью и на её основе представляется возможным оценивать динамику дефектов. Материалы аэрофотосъёмки по умолчанию повторяемостью не обладают, в связи с этим различие временных и постоянных дефектов по ним без повторной съёмки невозможно.

Дефекты геометрических элементов дорог могут быть выявлены преимущественно в процессе дешифрирования в ручном режиме. При обнаружении дефекта по диагностическим признакам, оператору следует произвести его моделирование. Для этого в базе геоданных создаётся дополнительный набор классов, в который будут помещаться отдельные классы объектов для каждого выявленного класса дефектов. Большинство дефектов имеют либо точечный, либо полигональный характер локализации. В ряде случаев имеет место линейный характер локализации дефекта (деформированное дорожное ограждение). Атрибутивная информация для выявленных дефектов содержит диагностические параметры, заносимые в следующие поля:

- Тип (возможно использование доменного словаря). Используется для настройки символики и выполнения атрибутивных запросов.
- Площадь. Вычисляется картометрическими инструментами ГИС;
- Длина (при необходимости);
- Степень развития дефекта;
- Примечание. Дополнительное текстовое поле, в которое оператор добавляет комментарии о выявленном дефекте.

Виды дефектов и их атрибуты, подлежащие дешифрированию, могут быть различными и зависят от разрешения и цветности исходных ДДЗЗ, используемых в исследовании. К числу дефектов, подлежащих дешифрированию относятся в том числе: наличие полос загрязнения у кромок покрытия; наличие посторонних объектов на обочине и разделительной полосе; наличие отдельных повреждений, просадок и застоя воды на обочине и разделительной полосе; наличие древесно-кустарниковой растительности на обочине и разделительной полосе; деформации дорожного покрытия и т.д.

Полученная геоинформационная модель, содержащая дорожную разметку, благодаря расширению за счёт данных о геометрических элементах автодорог предоставляет значительный объём статистической информации и возможностей для пространственного анализа. Модель с настроенной символикой даёт наглядное визуальное представление структуры автодороги и служит каркасом для дальнейшего моделирования. Основное назначение подобной модели видится именно в качестве наиболее оптимального каркаса для наполнения вспомогательными данными. Последующее добавление информации об элементах дорожного обустройства, данных полевых методов исследования, прочими пространственными данными вспомогательного содержания существенно расширит аналитические возможности. С помощью модели геометрических элементов дорог представляется возможным:

- Получение сведений по численности геометрических элементов в составе дорожной сети исследуемой территории.
- Получение сведений о длинах и площадях отдельных сегментов автодорог в пределах территории исследования.
- Получение статистики по площадям, линейным размерам геометрических элементов дорог.
- Измерение площади дорог, имеющих определённый тип покрытия.
- Получение сведений о структуре отдельных сегментов автотрасс – количестве и ширине полос движения, наличии выделенных полос и т.д.
- Оценка примерных объёмов работ по реконструкции дорожной одежды в границах территории исследования.
- Выявление дефектов геометрических элементов дорог, вычисление их площади, длины, оценка степени развития дефекта и т.д. Ведение учёта дефектов и оценка их динамики. Пространственный анализ распространения дефектов по территории исследования.
- Принятие управленческих решений о расширении проезжей части, добавлении велодорожек и выделенных полос для общественного транспорта.
- Проектирование развития дорожной сети, строительства новых автотрасс и размещении объектов дорожной инфраструктуры.
- Паспортизация дорог, построение линейных графиков, линейных планов и различных геоизображений.
- Преобразование данных модели в САПР-форматы для дальнейшего использования проектировщиками.
- Инвентаризация объектов дорожной сети.

- Выполнение удалённой диагностики сегментов автодорог по оперативно получаемым материалам ДЗЗ.
- Обновление ПОДД. Сравнение фактической дорожной ситуации с проектной документацией и т.д.

2.4 Дешифрирование объектов дорожного обустройства

В рамках данного этапа выполняется дешифрирование и геоинформационное моделирование объектов дорожного обустройства. Формально, рассмотренные нами ранее объекты горизонтальной дорожной разметки являются элементами дорожного обустройства. Однако, в рамках исследования разметка нами была вынесена в отдельный пункт. Это связано с тем, что возможности ручного и автоматизированного дешифрирования по материалам ДЗЗ дорожной разметки превосходят возможности дешифрирования геометрических элементов дорог и прочих элементов обустройства. Следовательно, рациональным является моделирование разметки на начальном этапе технологического процесса.

К числу элементов дорожного обустройства относятся:

- Дорожные знаки и сигналы:
 - Дорожные знаки;
 - Табло с изменяющейся информацией;
 - Дорожные светофоры
- Направляющие устройства:
 - Дорожные сигнальные столбики;
 - Дорожные тумбы;
 - Дорожные световозвращатели;
 - Направляющие островки
- Устройства воздействия на транспортные средства:
 - Искусственные неровности;
 - Шумовые полосы;
 - Аварийные съезды
- Защитные устройства:
 - Дорожные ограждения;
 - Акустические экраны;

- Противоослепляющие экраны;
- Снегозащитные устройства;
 - Снегозащитные насаждения;
 - Снегопередающие заборы;
 - Снегозадерживающие заборы
- Средства организации движения пешеходов и велосипедистов:
 - Тротуары и пешеходные дорожки;
 - Велосипедные дорожки
- Средства улучшения условий видимости:
 - Стационарное электрическое освещение;
 - Дорожные зеркала (ГОСТ Р 52766-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования)

Дополнительно могут подлежать моделированию такие инженерные сооружения, как сточные (водосборные) лотки; водопропускные трубы; надземные пешеходные переходы; защитные бетонные полусферы, устанавливаемые на пешеходных зонах и другие объекты в зависимости от особенностей территории исследования. При моделировании автомобильных трасс также возможно дешифрирование таких объектов придорожного сервиса как зоны отдыха. Зона отдыха - элемент обустройства автомобильной дороги, предназначенный для кратковременного отдыха водителей и пассажиров, проверки состояния транспортных средств и грузов, устранения мелких неисправностей. На сегментах автодорог, содержащих зону отдыха, отсутствует обочина – зона отдыха примыкает непосредственно к проезжей части. По материалам ДЗЗ также возможно выполнять дешифрирование таких элементов сервиса, как парковки, автостоянки, средства наружной рекламы (ГОСТ 33062-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к размещению объектов дорожного и придорожного сервиса).

По характеру локализации, указанные виды объектов обустройства можно разделить на точечные, линейные и полигональные. В таблице 3 приведён список объектов обустройства, инфраструктуры и сервиса с указанием характера их пространственной локализации. Процесс дешифрирования и моделирования объектов дорожного обустройства и сервиса выполняется почти исключительно в автоматическом режиме. Оператор выявляет на исходных растровых материалах объекты обустройства; производит их моделирование средствами ГИС и заносит извлекаемые диагностические показатели в поля атрибутивных таблиц. Плановое положение объектов представляется

геометрическими примитивами векторной модели данных, прочие диагностические признаки – атрибутивной информацией в базе данных. Связь между геометрией и атрибутами производится через id объектов.

Таблица 3 - Моделируемые объекты дорожного обустройства, инфраструктуры и сервиса по типу геометрии

№	Объект обустройства	Тип геометрии
1	Дорожные знаки	Точечный
2	Табло с изменяющейся информацией	Точечный
3	Дорожные светофоры	Точечный
4	Дорожные сигнальные столбики	Точечный
5	Дорожные тумбы	Точечный
6	Дорожные световозвращатели	Точечный
7	Направляющие островки	Полигональный
8	Искусственные неровности	Линейный
9	Шумовые полосы	Линейный
10	Аварийные съезды	Полигональный
11	Дорожные ограждения	Линейный
12	Акустические экраны	Линейный
13	Противоослепляющие экраны	Линейный
14	Снегозащитные насаждения	Линейный
15	Снегопредувающие заборы	Линейный
16	Снегозадерживающие заборы	Линейный
17	Тротуары и пешеходные дорожки	Полигональный
18	Велосипедные дорожки	Полигональный
19	Стационарное электрическое освещение	Точечный
20	Дорожные зеркала	Точечный
21	Надземные пешеходные переходы	Линейный
22	Защитные бетонные полусферы	Точечный
23	Зоны отдыха	Полигональный
24	Парковки, автостоянки	Полигональный
25	Средства наружной рекламы	Точечный

В силу относительно низкого разрешения спутниковых снимков лишь некоторые из указанных выше элементов обустройства и сервиса могут быть визуально выявлены оператором. Также спутниковые снимки не позволяют определить часть атрибутивной информации об объектах дорожного обустройства, например, материал дорожного ограждения т.д. Использование ортофотопланов, имеющих более высокое пространственное разрешение, позволяет распознать большинство объектов и их свойств. Представляется возможным также выявить различные дефекты объектов обустройства: повреждение дорожных ограждений, знаков, водосборных лотков и т.д. Однако, некоторые объекты обустройства в ряде ситуаций не поддаются дешифрированию даже по

ортофотопланам. Детальный анализ возможностей выявления элементов обустройства представлен в главе 3. Общая технологическая схема процесса дешифрирования объектов обустройства выглядит следующим образом:

1. Создание наборов классов и классов пространственных объектов в базе геоданных. Предлагается создать три набора классов объектов по типам геометрии. Входящие в наборы классы будут соответствовать отдельным типам элементам обустройства.
2. Добавление в атрибутивные таблицы классов пространственных объектов полей, содержащих извлекаемые из исходных ДДЗЗ диагностических параметры. Набор полей включает общие поля (см. таблицу 4) для всех классов и специальные поля для отдельных элементов. К их числу последних относятся такие поля, как: *Число светильников* для объектов освещения и *Расстояние между столбиками* для дорожных столбиков.
3. Настройка символики для каждого класса пространственных объектов исходя из состояния, свойств, функционального назначения и линейных размеров моделируемых объектов.
4. Визуальное выявление оператором наличия объекта обустройства на изучаемом сегменте. Определение класса объекта на основании визуального анализа. Выбор соответствующего класса пространственных объектов и переход в режим создания объектов.
5. Векторизация путём создания точечного объекта (столбики, тумбы, элементы освещения и др.). Векторизация по оси (по аналогии с моделированием разметки и бортового камня) для линейных объектов (ограждения, надземные пешеходные переходы и др.). Оконтуривание полигональных объектов с последующим замыканием скетча в исходной точке для площадных объектов (зоны отдыха, направляющие островки, тротуары и др.).
6. Заполнение полей атрибутивных таблиц диагностическими параметрами. Выявления дефектов при такой возможности и в случае их наличия. Картометрические операции для линейных и площадных объектов – измерение длин и площадей с помощью картометрического функционала ГИС.
7. Проверка корректности геометрии.
8. Проверка атрибутивных таблиц на наличие незаполненных полей.

Свойства объектов обустройства с трудом поддаются диагностике по материалам ДЗЗ, лишь ряд качеств объектов может быть установлен достоверно. Предлагаемый набор

общих полей для всех классов объектов обустройства приведён в таблице 4. Для целей визуализации/настройки символики может быть добавлено дополнительное поле *Тип*.

Таблица 4 - Базовый набор полей атрибутивных таблиц, содержащих диагностические параметры для классов объектов дорожного обустройства и сервиса

№	Поле	Псевдоним	Доменный словарь
1	Address	Адресация	Различная реализация для дорог в населённых пунктах и вне их. см. далее. Не диагностируется непосредственно из ДДЗЗ.
2	Hod	Положение по ходу	По прямому ходу, по обратному ходу
Для линейных и площадных объектов			
3	Length	Длина	-
Для полигональных объектов			
4	Area	Площадь	-
Для тротуаров, пешеходных дорожек, велодорожек			
5	Width	Ширина	-
6	Surface	Покрытие	Асфальтобетон, цементобетон, грунтовое, гравийное, щебёночное, бетонные плиты, мощёное (брусчатка)

Длина площадных объектов измеряется по аналогии с измерением параметров ширин геометрических элементов дорог. При малом количестве площадных объектов операция может быть выполнена вручную оператором с помощью картометрического функционала ГИС. При большом числе подобных объектов возможно выполнение операции в автоматическом режиме – путём построения осевой линии полигонов и измерения её длины с последующим заполнением атрибутивной таблицы. Ширины полигональных объектов измеряются по аналогичной технологией для разделительной полосы. Площадь полигональных объектов вычисляется в автоматическом режиме с помощью картометрического функционала ГИС.

Дополнение объектами дорожного обустройства, инфраструктуры и сервиса геоинформационной модели существенно расширяет её аналитические возможности. Появляется возможность выявить наличие либо отсутствие необходимых для организации дорожного движения элементов обустройства в пределах исследуемой территории, наличие и пространственное распространение дефектов. Дополненная объектами обустройства модель служит основой для создания и обновления ПОДД; проектирования развития дорожной сети в пределах территории; установления приоритетности ремонтных работ в границах территории исследования; принятия управленческих решений; выполнения паспортизации дорог. Представляется возможным сопоставление фактического

расположения объектов обустройства с проектной документацией, а также состояния объектов обустройства со стандартами отрасли (ГОСТ 52289-2004). По оперативно получаемым материалам ДЗЗ возможно проведение контроля за недавно отремонтированными сегментами автодорог спустя определённые промежутки времени. С помощью модели возможно выявить участки дорожной сети, не соответствующие требованиям ГОСТ, в частности, по такому параметру как освещённость. Тем не менее материалы ДЗЗ не позволяют полностью диагностировать все объекты обустройства - для формирования финальных ПОДД и полноценного анализа требуется расширение модели за счёт данных, которые не могут быть получены непосредственно из исходных материалов ДЗЗ.

Расширение модели вспомогательным содержанием существенно увеличивает возможности анализа. Подобные дополнительные материалы получены не путём дешифрирования спутниковых снимков и ортофотопланов, но существенно дополняют возможности геоинформационной модели. В первую очередь необходимо рассмотреть вопрос адресации. Объекты, формирующие дорожную сеть, имеют определённое местоположение, выраженное в различных системах координат. Однако, географические координаты объекта не всегда являются оптимальным представлением ответа на вопрос о местоположении объекта. В связи с этим предлагается представить местоположение объекта не только в географических координатах, но также и в положении относительно километража дороги, к которой относится моделируемый объект. Километраж представит собой одно и более значение в виде количества километров и метров от начала трассы до положения объекта на местности. Объекты точечной локализации и примыкания будут иметь одно значение километража, например, «305 км трассы М-4 Дон». Линейные и площадные объекты будут иметь два значения – километраж начала объекта и конца (305 км 129 м – 305 км 250 м). Использование адресации распространяет подобные значения километража на все моделируемые объекты в составе автомобильных трасс вне населённых пунктов. Состав подобного адреса в рамках исследования рационально представить в виде трёх полей: *Трасса (Название); Число км от начала до объекта; Число метров от начала целого км до объекта*. В результате представляется возможным оценивать состояние сегментов трасс определённого километража, например: «Участок трассы М-4 578-590 км является приоритетным для выполнения демаркировки ввиду повышенного износа разметки». Задача поиска объектов обустройства на определённом сегменте трассы при использовании адресации упрощается до простых атрибутивных запросов.

Реализовать подобную систему адресации представляется возможным с помощью систем линейных координат, отражающих положение точки на линии в определённых единицах относительно точки начала. В ArcGIS работа с системами линейных координат реализована средствами набора инструментов *Linear referencing*. С помощью создания слоёв маршрутов (*routes*), имеющих координату M и дальнейших геоинформационных преобразований возможно реализовать систему адресации, хранящую адрес-километраж объектов в трёх полях атрибутивной таблицы. Для реализации потребуется ось трассы, получаемая в процессе дешифрирования материалов ДЗЗ и координаты километровых столбов начала отсчёта, которые не могут быть получены подобным образом. Геоинформационная модель может быть значительно усовершенствована благодаря реализации подобной системы адресации. В границах населённых пунктов рационально применение иной системы адресации, например, в виде принадлежности объекта к определённой улице. Реализовать подобную систему можно в ручном режиме в процессе моделирования – путём заполнения соответствующего поля атрибутивной таблицы, предварительно уточнив принадлежность объекта к определённой улице с помощью картографических вёб-сервисов и иных источников информации. Опционально возможно применение геокодирования относительно моделируемых объектов.

Помимо адресации, геоинформационная модель может быть расширена путём включения в её состав следующих данных:

- Данные технико-эксплуатационных характеристик автотрасс, полученные мобильными автолабораториями: коэффициенты сцепления с поверхностью; колейность; динамические модули упругости; прочность дорожного покрытия; устойчивость покрытия к нагрузкам и др. Модель может быть каркасом для визуализации и пространственной привязки подобного рода данных, средством инвентаризации результатов полевых работ.
- Данные, получаемые посредством анализа панорамной съёмки, расширяющие результаты дешифрирования ДДЗЗ: ширина и техническое состояние обочины; состояние горизонтальной разметки; наличие, характеристики и состояние объектов дорожного обустройства и т.д.
- Дешифрированные данные георадарной съёмки, выявленные деформации дорожной одежды и различные аномалии.
- Дешифрированные данные лазерного сканирования: состояние дорожного полотна, наличие, местоположение и характеристика необработанных трещин, выбоин и прочих

деформаций полотна; наличие и характеристики элементов дорожного обустройства и др.

- Вспомогательная информация об объектах дорожной сети: конструкция дорожной одежды; сроки последнего выполнения ремонтных работ по каждому сегменту дорожной сети; исполнитель ремонтных работ; материалы, использованные для разметки в пределах сегмента трассы, технология нанесения материала; дата выполнения демаркации и т.д.
- Прочие пространственные данные, расширяющие модель и возможности её использования в целях анализа состояния дорожной сети. ЦМР и ЦММ. ВМ-объекты. Местоположение и характеристики объектов сервиса (АЗС, обзорных площадок, придорожных гостиниц и мотелей, ресторанов, автомоек и т.д.) и объектов дорожной инфраструктуры.

В завершении теоретической части необходимо рассмотреть возможности применения методов классификации с обучением/без обучения вне описанных ранее ситуаций. На основании изучения современной научной литературы (см. главу 1), проведённого в рамках исследования, можно сделать вывод, что методы классификации могут быть использованы для:

1. Выделения очертаний дорожной сети из материалов ДЗЗ.
2. Определения типа покрытия автодорог.
3. Приблизительной оценки состояния покрытия автодорог.

Выделение очертаний дорожной сети может быть достигнуто методом классификации без обучения, в котором программа автоматически распределяет пиксели исходных материалов ДЗЗ на классы. Применение классификации с обучением позволяет уменьшить процент ошибочно классифицированных пикселей. С помощью инструментов классификации возможно с достаточно высокой точностью выявить границы автодорог. В рамках задач исследования важно применение классификации с обучением для выделения дорожной сети в сельской местности и кварталах частного сектора в городских населённых пунктах. Обосновывается это тем, что в сельских населённых пунктах и в кварталах частного сектора в Российской Федерации как правило полностью отсутствует горизонтальная дорожная разметка. Следовательно, этап дешифрирования разметки пропускается в большинстве случаев и требуется начинать дешифрирование с геометрических элементов дорог. В условиях отсутствия разметки, выделение края проезжей части и других дорожных конструктивов становится достаточно трудоёмким

процессом, оператору требуется выявлять и векторизовать границы автодорог в полностью ручном режиме, без возможности применения инструмента *Трассировка*. Применение классификации с обучением и экспорт результатов классификации в векторный формат позволяет значительно ускорить процесс моделирования проезжей части. Оператор выполняет «чистку», корректирует полученные полигоны средствами редактирования геометрии векторных объектов, реализованными в ГИС и приступает к дальнейшим этапам моделирования. Как было отмечено ранее, в ряде ситуаций классификация с обучением позволяет выделить разделительную полосу (например, если её покрытие – засев трав) и примыкания. Примеры использования управляемой классификации приведены в главе 3.

Определение типа дорожного покрытия различных сегментов автодорог и оценка технико-эксплуатационного состояния покрытия рассмотрены во многих научных работах. Суть операции состоит в сочетании управляемой классификации и заранее подготовленных библиотек спектральных кривых. В процессе старения и износа, содержание битуминозной составляющей в асфальтобетоне сокращается, что приводит к изменению его альбедо. Иные виды покрытия, в свою очередь, имеют отличную от асфальтобетона отражающую способность. Спектральные библиотеки содержат значения отражающей способности асфальтобетона с различным межремонтным сроком (1 год, 5 лет и т.д.) и других типов покрытий. Используя спектральные кривые из данных библиотек и сопоставляя их с яркостью пикселей материалов ДЗЗ в различных диапазонах спектра проводится классификация, результатом которой является оценка состояния дорожного покрытия в пределах территории. Фактически производится: 1. Выявление сегментов автодорог с различным типом покрытия; 2. Примерная оценка даты последнего ремонта асфальтобетонного покрытия (принимается как состояние дорожного покрытия). Полученные результаты экспортируются в векторные форматы; далее производится настройка символики и необходимые операции геообработки. Также классификация с обучением позволяет выявить трещины в дорожном полотне. Экспорт результатов классификации в векторную модель данных позволяет вычислить площадь, занимаемую трещинами в дорожном полотне и их долю от общей площади проезжей части. Рациональность применения подобных методов исследования в условиях Российской Федерации оценивается в главе 3.

Глава 3. Апробация технологии. Оценка результатов

3.1 Используемые для проведения апробации исходные данные дистанционного зондирования Земли

Для апробации разработанной технологии дешифрирования материалов ДЗЗ были получены сэмплы спутниковых снимков сверхвысокого разрешения в видимом диапазоне, а также материалы аэрофотосъёмки с платформы БПЛА. Основной объём сэмплов спутниковых снимков был предоставлен компанией *DigitalGlobe Foundation*, лидером среди коммерческих операторов ДЗЗ. Данная компания является оператором таких гражданских спутников, как: WorldView-1, WorldView-2, WorldView-3, WorldView-4, QuickBird, GeoEye-1, RADARSAT-2 и предоставляет клиентам материалы мультиспектральной съёмки, мозаики материалов ДЗЗ, а также радиолокационные снимки. Использование снимков сверхвысокого разрешения при проведении исследования позволяет изучить предельные возможности современных технологий ДЗЗ и достичь максимально возможной точности - получить материалы более высокого пространственного разрешения для гражданских лиц в настоящий момент не представляется возможным. Сэмплы снимков сверхвысокого разрешения были предоставлены DigitalGlobe Foundation на условиях, оговоренных лицензией.

В качестве сэмплов были выбраны снимки территории экспериментальных участков/областей интереса. Ограниченность доступных ресурсов делает невозможным изучение дорожной сети целого субъекта РФ в рамках исследования. Поэтому наиболее рациональным подходом к апробации является анализ основных, наиболее характерных вариантов дорожной ситуации в пределах субъекта Федерации. Проведение апробации по каждому из наиболее распространённых типов дорожной ситуации позволит сделать вывод о применимости технологии при реализации в масштабах целого субъекта РФ. Выбранные экспериментальные участки содержат наиболее распространённые и вероятные варианты сочетаний элементов дорожной сети среди всех возможных на территории субъекта Федерации. Экспериментальные участки были подобраны таким образом, чтобы в их границах присутствовали:

- кварталы городской многоэтажной застройки с плотной дорожной сетью, автостоянками, объектами дорожного обустройства, внутриквартальными проездами, объектами сервиса и обустройства;
- кварталы частного сектора;

- дорожная сеть в границах сельских населённых пунктов;
- участки трассы федерального значения, включающие остановочные карманы, переходно-скоростные полосы, многоуровневые транспортные развязки, съезды, разделительную полосу, примыкания;
- грунтовые автодороги

Необходимо привести краткую характеристику используемых материалов, начиная со спутниковых снимков. DigitalGlobe Foundation было предоставлено пять образцов спутников снимков. Первый и второй сэмплы представляют собой фрагменты снимка WorldView-2 на два участка федеральной трассы М-4 «Дон». Помимо трассы М-4, на снимке представлен участок Северного обхода г. Ростова-на-Дону, протяжённостью в 1 км. Дата съёмки – 6 августа 2018 года. Площадь территории, изображённой на сэмпле №1 составляет 7,07 км², на сэмпле №2 - 0,26 км². Пространственное разрешение снимка в панхроматическом диапазоне составляет 0,5 м, а в мультиспектральном диапазоне – 2 м. Километраж первого сэмпла: 1037 – 1044 км, второго – 1036 км.

Третий сэмпл является частью спутникового снимка WorldView-3 на территорию участка федеральной трассы М-4 «Дон». Изображённая на сэмпле территория соответствует юго-западной половине сэмпла №1. Дата съёмки – 24 сентября 2018 года. Площадь территории, изображённой на снимке, составляет 1,91 км². Пространственное разрешение в панхроматическом диапазоне составляет 0,31 м, в мультиспектральном диапазоне – 1,24 м. Использование данного сэмпла в сочетании с сэмплом №1 позволяет наглядно сравнить снимки, полученные со спутников WorldView-2 и WorldView-3. Представляется возможность оценить преимущества повышенного пространственного разрешения снимков WorldView-3 относительно WorldView-2 (0,31 м/0,5 м и 1,24 м/2 м для панхроматического и мультиспектрального диапазонов соответственно) при выполнении анализа состояния дорожной сети.

Четвёртый сэмпл является фрагментом снимка со спутника WorldView-2 на территорию хутора Крымский, Усть-Донецкого района Ростовской области. Дата съёмки – 13 октября 2018 года. Площадь территории, изображённой на сэмпле, составляет 5,25 км². Пространственное разрешение снимка в панхроматическом диапазоне составляет 0,5 м; 2 м в мультиспектральном диапазоне.

Пятый сэмпл представляет собой фрагмент спутникового снимка WorldView-3 на территорию Северного жилого массива в Ворошиловском районе г. Ростова-на-Дону. Дата съёмки – 3 мая 2018 года. Площадь территории, изображённой на сэмпле, составляет 2,62 км². Пространственное разрешение снимка в панхроматическом диапазоне составляет 0,31 м, в мультиспектральном диапазоне – 1,24 м. На снимке изображена территория в

следующих границах: ул. Орбитальная – ул. Добровольского – б-р Комарова – ул. Баграмяна – пер. Сумский – ул. Армянская – ул. Беляева.

Мультиспектральный диапазон всех указанных снимков содержит следующие восемь каналов: фиолетовый (coastal), синий, зелёный, жёлтый, красный, крайний красный (red-edge), ближний инфракрасный-1, ближний инфракрасный-2.

Помимо материалов, предоставленных DigitalGlobe Foundation, в исследовании были задействованы материалы, предоставленные компанией Совзонд:

- Фрагмент спутникового снимка WorldView-2 на территорию г. Зубцов и части Зубцовского района Тверской области. Дата съёмки – 28 июля 2010 года. Площадь территории, изображённой на сэмпле, составляет 24,51 км². Пространственное разрешение снимка в панхроматическом диапазоне составляет 0,5 м; 2 м в мультиспектральном диапазоне.
- Фрагмент спутникового снимка Pleiades-1B на территорию села Алканово, Рязанского района Рязанской области. Площадь территории, изображённой на сэмпле, составляет 25,543 км². Пространственное разрешение снимка составляет 0,5 м в панхроматическом диапазоне и 2 м в мультиспектральном диапазоне. Компанией был предоставлен Pansharpened вариант снимка пространственным разрешением 0,5 м.

Для проведения исследования также были получены материалы БПЛА съёмки. В их число входили бесплатно распространяемые в телекоммуникационной сети Интернет ортофотопланы:

- Два ортофотоплана и ЦММ авиаклуба Диар-Флай на территорию автомобильной дороги Р-193 Воронеж – Тамбов и смежную территорию с. Бабяково, Новоусманского района Воронежской области. Пространственное разрешение составляет 4 см.
- Три ортофотоплана компании ООО «Эридан» на различные участки территории Республики Татарстан. Пространственное разрешение ортофотопланов составляет от 10 до 20 см.

Дополнительно были получены ортофотопланы на зарубежную территорию. Использование данных материалов позволило оценить возможности для анализа, предоставляемые ортофотопланами с максимально высоким пространственным разрешением – до 2 см. В число использованных сэмплов зарубежных компаний входят:

- Ортофотоплан компании *DroneMapper* на участок города Сидаредж (англ. Cedaredge), штат Колорадо, США. Пространственное разрешение составляет 2 см. Площадь территории, изображённой на ортофотоплане, составляет 0,042 км².

- Ортофотоплан компании *SenseFly* на территорию населённого пункта Мерлишахен (нем. Merlischachen), кантон Швиц, Швейцарии. Пространственное разрешение составляет 5 см. Площадь территории, изображённой на ортофотоплане, составляет 0,64 км².
- Ортофотоплан компании *Melown Technologies* на территорию города Бенатки-над-Йизероу (чеш. Benátky nad Jizerou), Среднечешский район, Чехия. Пространственное разрешение составляет 5 см. Площадь территории, изображённой на ортофотоплане, составляет 1,043 км².

3.2 Методика апробации

Первым этапом практической части исследования стало создание рабочих проектов для отдельных сэмплов и добавление в проекты исходных материалов ДЗЗ. Далее было выполнено панхроматическое слияние имеющихся пар сэмплов спутниковых снимков. Паншарпенинг наряду с большей частью прочих технологических этапов работы выполнялся в программной среде ArcGIS 10.3. Операция панхроматического слияния в ArcGIS может быть выполнена либо через меню *Анализ изображений (Image Analysis)*, либо путём настройки символики слоя. При выполнении паншарпенинга через *Анализ изображений*, для данной операции по умолчанию будет использован алгоритм Esri. При выполнении операции через настройку символики присутствует возможность выбора алгоритма. Для оценки эффективности каждого алгоритма был выбран второй вариант выполнения панхроматического слияния – через вкладку *Символы* в свойствах слоя. Для выполнения паншарпенинга требуется предварительно добавить в проект панхроматический и мультиспектральный снимок. Далее следует открыть свойства слоя мультиспектрального снимка и во вкладке *Символы* поставить галочку под пунктом *Слияние (Pan-sharpen)*. Необходимо выбрать из выпадающего списка панхроматический снимок для выполнения слияния и алгоритм операции. На выбор предлагается четыре либо пять алгоритмов, в зависимости от версии ArcGIS: IHS, Brovey, Esri, простое среднее, Gram-Schmidt. Дополнительно возможно настроить приоритет каждого из каналов в долях от единицы.

После выполнения паншарпенинга для всех пар снимков был произведен визуальный анализ результатов. У изображения с выполненным панхроматическим слиянием присутствуют неизбежные недостатки в виде малого процента некорректно

раскрашенных пикселей-артефактов, которые незначительно ухудшают визуальное восприятие снимка относительно панхроматического. Тем не менее, преимуществом подобного изображения является возможность при его использовании различить разметки 1.1, 1.2.1 и 1.4 по цвету в процессе дешифрирования – что не возможно по панхроматическому снимку. Присутствующие пиксели-артефакты в большинстве случаев не мешают дешифрированию горизонтальной дорожной разметки и геометрических элементов дорог. Среди четырёх представленных алгоритмов наилучшие результаты показал алгоритм IHS. Можно сделать вывод, что использование панхроматического слияния является рациональной опцией при выполнении исследования по материалам спутниковой съёмки.

Следующим этапом стало создание баз геоданных для формирования структуры геоинформационной модели. Каждая база геоданных содержала наборы классов и входящие в их состав классы объектов по отдельному сэмплу. Структура баз геоданных в целом соответствовала предложенной в главе 2, для некоторых сэмплов в структуре отсутствовала часть классов (ввиду отсутствия объектов этих классов в границах территории исследования). После структурирования классов и наборов классов объектов в базе геоданных была произведена настройка и группировка слоёв в рабочих проектах. Вместе были сгруппированы слои дорожной разметки; слои геометрических элементов дорог были сгруппированы со слоями вспомогательных элементов (ширины, ось дороги). Объекты обустройства, сервиса и инфраструктуры были собраны в третью группу слоёв. Название слоёв дорожной разметки содержали номер по ГОСТ и текстовое примечание в свойствах слоя. Четвёртая группа содержала исходные растровые слои (в случае, если в проекте задействовано несколько растров). Вспомогательное содержание в каждом рабочем проекте было выделено в отдельную группу. Содержание вспомогательных слоёв варьировалось в зависимости от проекта и территории исследования. В большинстве проектов вспомогательное содержание включало материалы картографического веб-сервиса *OpenStreetMap* - информацию о положении объектов сервиса (АЗС, парковки, автостоянки, остановках общественного транспорта и т.д.).

Для каждого слоя проекта была разработана и настроена символика. При разработке символики для классов дорожной разметки учитывался внешний вид (цвет, геометрия/форма) и линейные размеры по ГОСТ. Символика объектов обустройства и бортового камня разрабатывалась исходя из внешнего вида, назначения и свойств моделируемых объектов. Слоям геометрических элементов автодорог для удобства процесса дешифрирования в настройках слоя временно была установлена прозрачность в

40%. Для визуализации некоторых типов точечной разметки были использованы встроенные в ArcGIS наборы шрифтовых символов. Симвология для большинства типов дорожной разметки представляла классификацию с четырьмя классами по степени износа (сохранности по площади): нормальное состояние, повышенный износ, сильный износ, отсутствие (см. подробнее в главе 2). Разработанная цветовая шкала отражала степень износа разметки.

По сэмплам спутниковых снимков и по ортофотопланам было произведено дешифрирование, извлечение диагностических параметров и моделирование дорожной сети по предложенной в главе 2 технологии. Процесс моделирования был выполнен в частично автоматизированном режиме. После выполнения автоматической составляющей выполнялась ручная корректировка результатов. Для некоторых сэмплов обработка проводилась дважды: в полностью ручном режиме и с режимом частичной автоматизации. Результаты подобного эксперимента позволяют сравнить ручной и полуавтоматический способ моделирования и оценить прирост производительности при использовании предложенных ранее методов автоматизации. Одновременно с процессом дешифрирования были проведены эксперименты по использованию классификации с обучением для ускорения рабочего процесса и повышения производительности труда. Были задействованы как средства классификации с обучением, так и методы использования полуавтоматической векторизации двухцветных растров в программной среде Easy Trace.

В порядке эксперимента на всех сэмплах спутниковых снимков мультиспектрального диапазона, были опробованы методы классификации с обучением и без обучения. В качестве задач эксперимента было выбрано:

- Оценить возможности выявления дорожной сети на снимках путём использования классификации с обучением/без обучения.
- Оценить потенциал использования классификации с обучением/без обучения для выявления объектов горизонтальной дорожной разметки и частичной автоматизации процесса дешифрирования.
- Оценить потенциал применения классификации с обучением/без обучения для выявления геометрических элементов автодорог.
- Оценить потенциал применения классификации с обучением/без обучения для выявления типа покрытия дороги, а также для оценки межремонтного срока покрытия дороги.

Выполнение эксперимента проводилось в различном программном обеспечении, в том числе в ENVI и QGIS. Результаты показали, что использование мультиспектральных снимков для выявления дорожной сети возможно, но малоэффективно. Процент ошибочно классифицированных пикселей достаточно велик как при использовании классификации без обучения, так и с обучением. Пространственного разрешения мультиспектральных снимков, доступных в настоящий момент не достаточно для того, чтобы результаты классификации можно было использовать для частичной автоматизации моделирования дорожной сети. Трудозатраты на выполнение дешифрирования очертаний дорожной сети в ручном режиме меньше, чем затраты на корректировку результатов классификации. Дешифрирование дорожной разметки и геометрических объектов автодорог путём применения классификации с обучением/без обучения по мультиспектральным снимкам также представляется малоэффективным ввиду их сравнительно низкого пространственного разрешения. Классификация с обучением/без обучения позволяет выявить на мультиспектральных снимках дороги с грунтовым покрытием и дороги с твёрдым покрытием, однако доля ошибочно классифицированных пикселей значительна (порядка 20%), а очертания дорог из-за относительно низкого пространственного разрешения снимков искажены. Выполнение оценки технико-эксплуатационного состояния покрытия автодорог по мультиспектральным снимкам с современным пространственным разрешением представляется маловероятным.

Эксперименты с панхроматическими снимками показали потенциальную возможность их использования в сочетании с расширением *ArcScan* для частичной автоматизации дешифрирования дорожной разметки и геометрических элементов автодорог. Предварительно продублировав в проекте слой панхроматического снимка, следует настроить символику одного из растров на *Классификацию*. Оптимальное число классов для решения задачи – 2, с символикой в виде чёрной и белой заливок. Пример двухцветных растров для дальнейшей обработки представлен на рисунке 10. Значения рубежей подбираются опытным путём с учётом статистики распределения значений пикселей, среднеквадратического отклонения и среднего значения пикселя раstra. В результате настройки символики подобным образом появляется возможность задействовать инструментарий расширения *ArcScan*. На снимке достаточно отчётливо выделяются линейные и точечные элементы дорожной разметки и некоторые геометрические элементы дороги. Далее следует выполнить предварительную «чистку» раstra, удалив пиксели, не относящиеся к объектам моделирования.

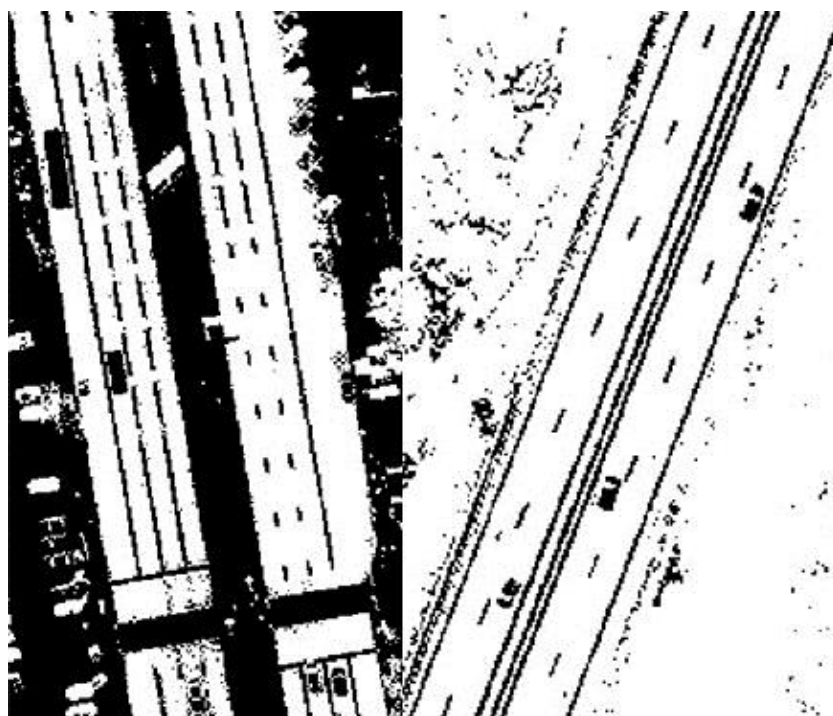


Рисунок 10 - Классифицированные растры-основы для дальнейшей обработки инструментами ArcScan/Easy Trace

Выполнив чистку, необходимо воспользоваться инструментами векторизации расширения, в результате чего будет получен векторный слой, содержащий объекты разметки и дорожные конструктивы. Далее следует процесс ручной коррекции результатов и разделение объектов по классам. В целом результаты использования *ArcScan* и *Easy Trace* оказались сопоставимы между собой по точности и производительности прироста относительно полностью ручного метода обработки. Использование расширения *ArcScan* в сочетании с панхроматическими снимками позволяет частично автоматизировать дешифрирование снимков. Тем не менее, процесс чистки раstra и последующей коррекции векторизованных данных достаточно трудоёмок.

Проведённый эксперимент с сэмплами трассы М-4 «Дон» показал, что прирост производительности труда оператора можно оценить примерно в 15% относительно полностью ручного режима дешифрирования. Далее был проведён аналогичный эксперимент с материалами БПЛА съёмки. Задачи второго этапа эксперимента остались идентичными задачам первого этапа. Результаты эксперимента с ортофотопланами оказались отличными от результатов первого этапа. Значительно более высокое пространственное разрешение ортофотопланов относительно спутниковых снимков позволяет более успешно использовать методы классификации.

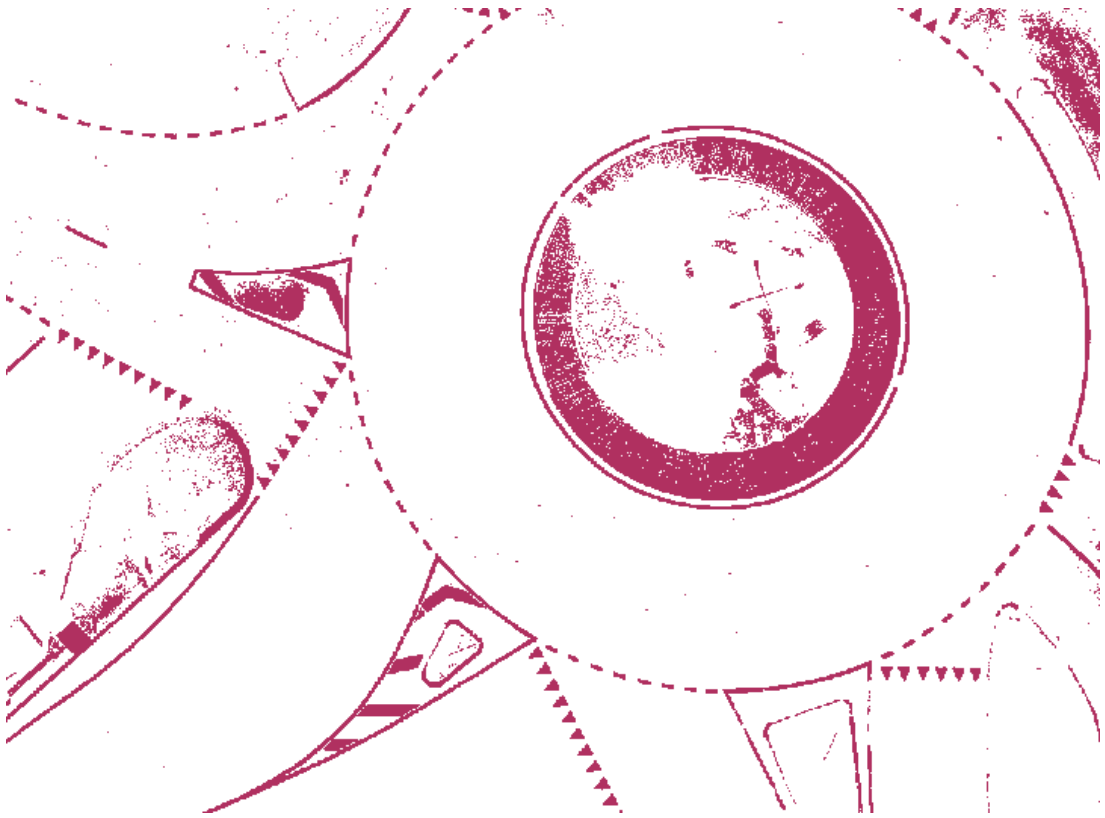


Рисунок 11 - Результаты классификации без обучения, используемые для дальнейшего выявления дорожной разметки

Выявление дорог с различными типами покрытия по ортофотопланам возможно выполнять методами классификации с обучением/без обучения и получать высокую точность результатов. Ошибочно классифицированные пиксели составляют незначительную долю от общего числа (менее 10%). Получаемые контуры дорожной сети достаточно точные для того, чтобы использовать методы классификации как для автоматизации дешифрирования. Как было отмечено ранее, в первую очередь методы классификации актуальны при моделировании дорожной сети в сельской местности Российской Федерации. Ввиду отсутствия на территории большей части сельских поселений дорожной разметки, дешифрирование границ проезжей части и примыканий значительно упрощается благодаря использованию методов классификации. В условиях города и автомобильных дорог вне населённых пунктов методы классификации позволяют частично автоматизировать и несколько ускорить процесс дешифрирования дорожной разметки.

Эксперимент по моделированию горизонтальной дорожной разметки и геометрических элементов дорог на сэмплах ортофотопланов показал существенный прирост производительности труда оператора при использовании методов классификации.

Прирост составляет около 15-20% в зависимости от конкретной дорожной ситуации в границах исследуемой территории. Существенную роль играет качество ортофотоплана и его пространственное разрешение. Наилучшие результаты в процессе проведения эксперимента были достигнуты с использованием ортофотопланов с пространственным разрешением менее 5 см. Ортофотопланы с пространственным разрешением порядка 10 см показали несколько худшие результаты, но тем не менее, прирост производительности при их использовании в сочетании с методами классификации относительно ручного метода дешифрирования присутствует. Пример результатов классификации ортофотоплана без обучения представлен на рисунке 11, с обучением - на рисунке 12.

Задача оценки технико-эксплуатационного состояния дорожного покрытия методами классификации является достаточно сложной даже с использованием ортофотопланов максимально высокого доступного пространственного разрешения.

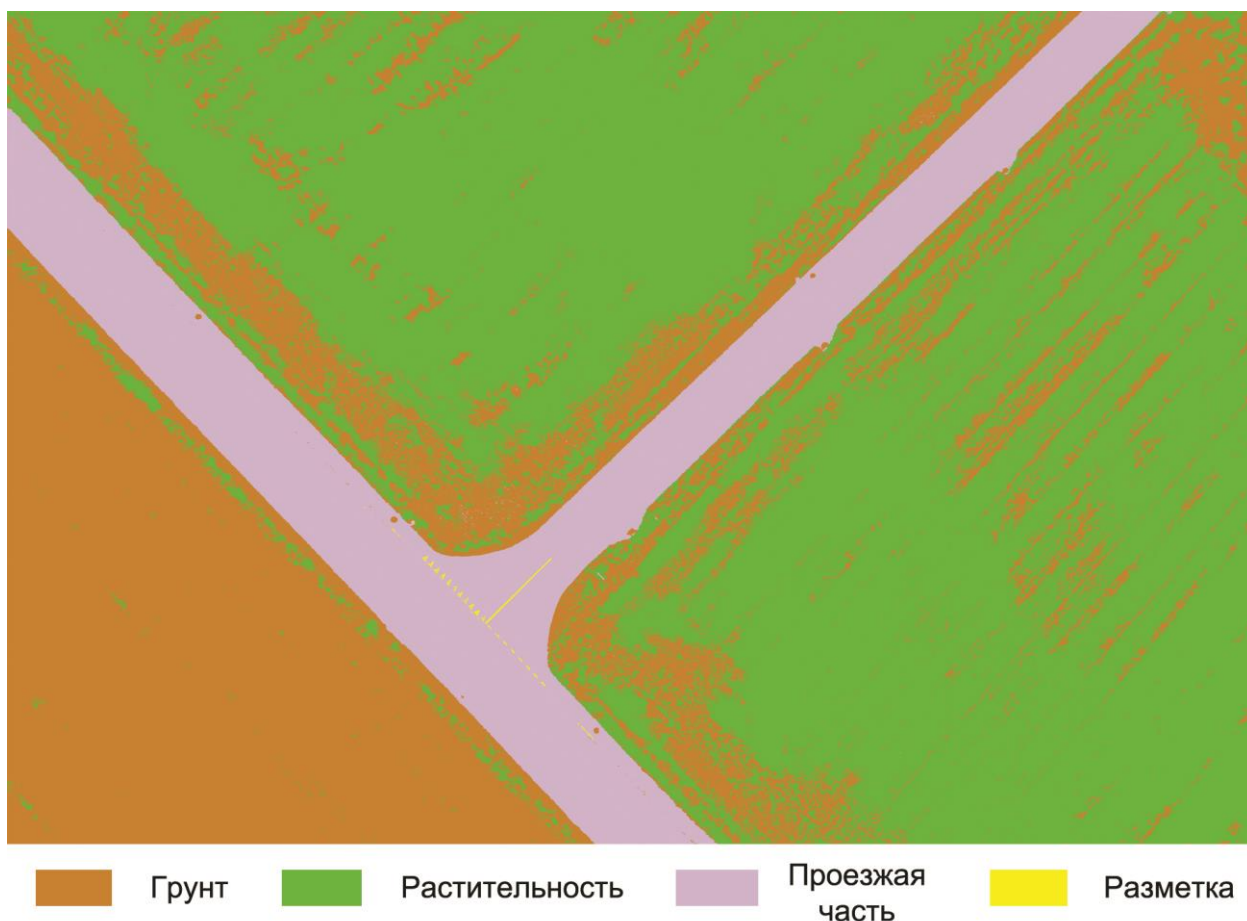


Рисунок 12 - Результаты классификации с обучением по материалам аэрофотосъёмки

Методы классификации также позволяют разделить изображённые на ортофотопланах автодороги по типам покрытия (на основании различия отражательной способности). Полученная таким образом информация позволяет выделить дороги с

твёрдым покрытием и дороги с грунтовым покрытием, а также оценить примерную дату последнего ремонта асфальтобетонных дорог. Эксперимент показал возможность успешного выявления трещин в дорожном покрытии и подсчёта занимаемой ими площади. Однако, методы классификации не позволяют выявить показатели колеиности, дешифровать наличие выбоин и других деформаций дорожного полотна. Связано это с тем, что по значениям яркости пиксела подобные деформации незначительно отличаются от окружающего их «фона» - покрытия проезжей части (либо не отличаются вовсе). Выявление подобных показателей требует визуального анализа оператором и вряд ли может быть достигнуто методами классификации. Возможным решением данной проблемы могут стать методы машинного обучения, с помощью которых потенциально возможно выявлять подобные деформации дорожного полотна. На текущем технологическом этапе оценки технико-эксплуатационного состояния дорожного полотна по ДДЗЗ носят приблизительный характер и не соответствуют требованиям точности, заявленным в нормативно-технической базе отрасли (ГОСТ 32825-2014; ГОСТ 32825-2014; ГОСТ 50597-2017). В связи с этим можно сделать заключение о том, что для выявления деформаций дорожного полотна, дистанционные методы не являются оптимальным решением и значительно уступают традиционным методам изысканий. Получаемые дистанционными методами результаты не могут заменить методы полевых исследований.

В процессе выполнения дешифрирования были выявлены существенные структурные отличия между дорожными ситуациями в пределах субъекта Федерации. В первую очередь различия выражаются в наличии/отсутствии определённых видов горизонтальной дорожной разметки, а также в наличии/отсутствии обочины. Фактические различия значительно влияют на технологический процесс моделирования дорожной сети в пределах населённых пунктов и вне их границ. Следует остановиться подробнее на некоторых различиях и их следствиях для процесса моделирования. Как было упомянуто ранее, в границах сельских населённых пунктов, как правило, полностью отсутствует горизонтальная дорожная разметка. Анализ используемых в исследовании спутниковых снимков, а также общедоступных снимков сервиса *Google Maps* позволяет сделать вывод, что такая ситуация характерна для большинства сельских населённых пунктов Российской Федерации. Как следствие, начальным этапом дешифрирования для сельских населённых пунктов является моделирование геометрических элементов дорог. Данная задача осложняется ввиду отсутствия дорожной разметки, но существенным подспорьем для её решения станет использование методов классификации. Аналогичная сельским населённым пунктам дорожная ситуация наблюдается также в частных секторах застройки

в городских населённых пунктах. Процесс моделирования дорожной сети сельских населённых пунктов в результате эксперимента показал себя почти идентичным моделированию дорожной сети районов частного сектора. Данный процесс представляет весьма трудоёмкую задачу. Структура дорожной сети на подобных участках достаточно запутанная, характерно наличие сложных пересечений нестандартной формы. Выявление границ проезжей части даже по материалам аэрофотосъёмки зачастую представляет для оператора сложную задачу. Значительно упрощает ситуацию возможность использовать материалы панорамной съёмки и/или общедоступные материалы *Google Street view*. При отсутствии возможности верифицировать/уточнить результат по панорамной съёмке, моделирование участков сложной дорожной ситуации исключительно по материалам дистанционного зондирования может быть затруднительно.

Другими элементами дорожной сети субъекта Федерации, дешифрирование которых исключительно по материалам дистанционного зондирования может быть проблематично, являются внутриквартальные дороги и проезды. Древесная растительность, многоэтажная застройка, припаркованные и движущиеся транспортные средства осложняют визуальное выявление границ проездов. Моделирование проездов по мультиспектральным и панхроматическим снимкам возможно, но затруднительно, результаты дешифрирования будут являться неполными. Панорамная съёмка, как в случае с частным сектором и сельской местностью, позволяет решить проблемы дешифрирования сложных участков.

К числу объектов повышенной сложности дешифрирования также относятся многоуровневые развязки. При моделировании подобных участков дорожной сети приходится решать проблемы, вытекающие из фактического перекрытия полигонов и линий в составе проезжих частей различных вертикальных уровней развязок. Сложные и нестандартные дорожные ситуации возникают в процессе моделирования дорожной сети в городских населённых пунктах. Отличительные особенности городской дорожной сети, выявленные в ходе апробации и значимые для процесса моделирования это:

1. Практически повсеместное отсутствие обочины.
2. Отсутствие разметки 1.2, 1.2.1, 1.2.2 на большей части автодорог.
3. Большая протяжённость сегментов с бортовым камнем.
4. Наличие большого числа визуальных помех для ручного и автоматического дешифрирования.

Отсутствие разметки, обозначающей край проезжей части в городских условиях несколько усложняет процесс моделирования геометрических элементов автодорог.

Оператору требуется выявлять и векторизовать границы дорожных конструктивов в ручном режиме, либо использовать методы классификации. Разметку края проезжей части как правило заменяет бортовой камень, распознавание которого представляется более сложной задачей, чем выявление разметки. Легче всего производить выявление окрашенного в чёрно-белые цвета бордюрного камня, однако, большая часть бордюров в городских условиях не имеет подобной окраски. Большая интенсивность транспортных потоков в крупных городах ведёт к повышенной доли транспортных средств на единицу площади автодороги. В результате, значительная часть проезжей части может быть занята транспортными средствами, особенно на снимках, снятых в часы пик и на участках с регулируемым движением. При моделировании городских участков оператору чаще приходится восстанавливать дорожную ситуацию по сравнению в автодорогами вне населённых пунктов. К числу других препятствий для выявления объектов дорожной сети относятся древесные насаждения и тени от многоэтажной застройки. Данные аспекты усложняют потенциал применения методов классификации в городских условиях. Городские участки также могут содержать сложные конфигурации геометрических элементов автодорог, разобраться в которых сможет лишь опытный оператор, обратившись к ПДД и материалам панорамной съёмки.

Как показала апробация, пространственного разрешения спутниковых снимков в мультиспектральном диапазоне недостаточно для дешифрирования горизонтальной дорожной разметки и геометрических элементов дорог. Снимки панхроматического диапазона имеют более высокое пространственное разрешение, достаточное для выполнения моделирования. Однако необходимо отметить исключения из этого правила. В первую очередь отметим сложность дешифрирования обочины. Выявление обочины представляется самым сложным из этапов дешифрирования дорожных конструктивов. Мультиспектральные снимки не позволяют распознать точные границы полос обочины, границу обочины и откоса. Панхроматические снимки позволяют распознать границы краевой и остановочной полос обочины. При этом для выявления краевой полосы недостаточно пространственного разрешения в 50 см, а необходимо разрешение около 30 см. Так, по снимкам WorldView-2 распознать краевую полосу не представляется возможным. Разрешения же снимков WorldView-3 достаточно для выявления узкой краевой полосы шириной в 2-3 пиксела. Однако, визуально диагностировать границу откоса дороги и остановочной полосы обочины даже по панхроматическим снимкам WorldView-3 зачастую проблематично.

Вторым существенным недостатком панхроматических снимков являются сильно ограниченные возможности выявления объектов дорожного обустройства, инфраструктуры, сервиса, инженерных сооружений, а также их диагностических параметров. С использованием мультиспектральных снимков подавляющее большинство объектов обустройства не распознаваемы. Панхроматические снимки позволяют дешифровать лишь часть объектов. В рамках проведения апробации на сэмплах спутниковых снимков были выявлены:

- дорожные ограждения:
 - фронтальные;
 - боковые односторонние;
 - боковые двухсторонние;
- тротуары, пешеходные дорожки;
- п-образные опоры (для размещения знаков и/или видеокамер);
- фонарные столбы;
- средства наружной рекламы;
- надземные пешеходные переходы;
- остановочные павильоны;
- водопропускные трубы;
- водоотводные лотки;
- защитные бетонные полусферы;
- дорожные столбики

К числу тех объектов, которые не были представлены на территории исследования, но которые потенциально возможно выявить посредством использования панхроматических снимков относятся: направляющие островки, искусственные неровности, велодорожки и зоны отдыха. Был сделан вывод об ограниченных возможностях определения диагностических параметров объектов обустройства по панхроматическим снимкам. Практически полностью отсутствует возможность выявления таких важных объектов как дорожные знаки и светофоры, дорожные тумбы и т.д. Данные недостатки ограничивают потенциальное применение панхроматических снимков для извлечения диагностических показателей дорожного обустройства.

Материалы аэрофотосъёмки в сравнении с панхроматическими снимками предоставляют больше возможностей для выявления как обочины, так и элементов дорожного обустройства. Дешифрование границ обеих полос обочины по

ортофотопланам возможно, хотя зачастую точное определение границы остановочной полосы и откоса дороги представляется трудным даже для опытного оператора. Материалы БПЛА съёмки позволяют распознать помимо указанных выше большинство объектов обустройства, перечисленных в таблице 3. Два основных выявленных недостатка применения ортофотопланов для выявления объектов обустройства это: 1. проблематичность распознавания отдельных дорожных знаков; 2. невозможность выявления некоторых атрибутов объектов обустройства. Оптимальным способом для выявления наличия и свойств объектов обустройства всё же остаются материалы панорамной съёмки и полевые методы исследования. Тем не менее, можно сделать вывод, что БПЛА съёмка позволяет выявить большую часть диагностических параметров элементов дорожного обустройства.

В ходе апробации технологии были оценены возможности выявления дефектов геометрических элементов дорог и объектов обустройства по панхроматическим снимкам и материалами аэрофотосъёмки. Панхроматические снимки позволяют выявить только некоторые из ранее перечисленных дефектов дорожных конструктивов и объектов обустройства. Материалы БПЛА съёмки предоставляют гораздо большие возможности. С их помощью путём дешифрирования в ручном режиме возможно моделирование как дефектов геометрических элементов дорог, так и дефектов объектов обустройства. При проведении анализа посредством ортофотопланов были выявлены следующие дефекты: повреждения бордюрного камня, деформация боковых односторонних ограждений, наличие полос загрязнения у кромок проезжей части. Как ортофотопланы, так и спутниковые снимки в панхроматическом диапазоне позволили выявить объекты дорожной разметки, находящиеся в состоянии повышенного износа. В ручном режиме представляется возможным также выявлять дефекты полотна на основании визуального анализа ортофотопланов. При наличии координаты Z в материалах БПЛА съёмки возможным является выделение колейности и гребёнки в ручном режиме дешифрирования.

С помощью использования дополнительных материалов, дополнивших результаты дешифрирования сэмплов аэрофотоснимков на территорию трассы М-4 «Дон» и Северного жилого массива г. Ростова-на-Дону, для объектов в составе соответствующих геоинформационных моделей была реализована адресация. В случае с сэмплом городской застройки, адресация была реализована путём указания в поле *Адрес* принадлежности моделируемого объекта к определённой улице. Адрес был присвоен объектам всех классов, в том числе дорожной разметке и элементам обустройства. Использование адресации позволило путём атрибутивных запросов получать статистику по каждому классу объектов

в границах всех улиц территории. Для заполнения поля *Адрес* были использованы материалы картографических вэб-сервисов, по которым выявлялось название улиц и проспектов для сегментов проезжей части. Далее, с помощью пространственных запросов происходила выборка объектов прочих классов, граничащих/содержащихся внутри объектов проезжей части. В результате было выполнено заполнение поля *Адрес* объектов, выбранных в результате запроса. На финальном этапе создания адресации выполнялась верификация результатов и добавление адресов для объектов, расположенных на пересечениях улиц. В результате операции, адресация была распространена на все моделируемые объекты. Предложенная технология адресация показала себя достаточно продуктивной. При дальнейшем её использовании рационально разработать специальные алгоритмы, которые будут использовать функции геокодирования для выполнения автоматического заполнения поля *Адрес* в населённых пунктах. Подобное усовершенствование значительно ускорит работу при моделировании значительных по площади урбанизированных территорий.

Для сэмпла трассы М-4 «Дон» адресация была реализована с помощью инструментария *Linear Referencing* для ArcGIS 10.3. Моделированию в рамках исследования подлежала не трасса на всей её протяжённости, а лишь небольшой сегмент. Следовательно, использованная технология адресации также несколько отлична от той, которую следует использовать для моделирования всей длины М-4. В рамках исследования было принято решение использовать для отсчёта адресации один километровый столб. Поиск километрового столба выполнялся посредством картографического вэб-сервиса *Google Maps* и *Google Street view*. В качестве исходного был принят 1044 километровый столб, расположенный в непосредственной близости от развязки, изображённой на сэмплах №1 и 3 и стыка трассы М-4 с Северным обходом г. Ростова-на-Дону. Были определены координаты данного километрового столба, далее в проекте был создан точечный слой, содержащий отметки условных километровых столбов. Де-факто, расстояние между километровыми столбами на автодорогах в Российской Федерации не всегда составляет ровно 1000 м, фактическое значение протяжённости оси дороги между столбами может отличаться как в большую, так и в меньшую сторону. В рамках исследования небольшого сегмента трассы, подобную погрешность в адресации можно минимизировать путём использования в качестве начала адресации один километровый столб - в таком случае погрешность адресации не будет превышать погрешности значения километража исходного столба. При моделировании всей протяжённости трассы ситуация несколько

иная и в таком случае ключевым параметром видится фактическая протяжённость оси дороги.

Посредством функционала *Linear Referencing* был создан слой маршрута (*route*), путём преобразования слоя оси дороги. Исходный километровый столб был спроецирован на полученный слой маршрута. От полученной точки на оси дороги до обоих концов линии оси были перерасчитаны значения координаты *M*. Далее были созданы условные километровые столбы на оси дороги через каждые 1000 м от исходного 1044 столба. Для Северного обхода Ростова-на-Дону была создана отдельная подсистема адресации путём продления его оси до ближайшего километрового столба и перерасчёта координаты *M* от значения данного столба. Адресация съездов развязки была представлена в виде номера съезда от пересечения с М-4 и длины оси от начала съезда. Далее было произведено проецирование всех прочих моделируемых объектов на слой маршрута. Для каждого объекта были получены номера предыдущего по ходу трассы условного километрового столба и значения координаты *M* в метрах от этого столба до центра моделируемого объекта (для точечных объектов и примыканий), либо до точек его начала и конца (для полигональных и линейных объектов). Полученные значения в виде полей атрибутивной таблицы представляли расположение объекта по ходу сегмента автотрассы и съездов. Использование подобной системы адресации при моделировании значительных по площади территорий потенциально возможно, хоть и сопряжено с рядом трудностей, частично упомянутых нами ранее. Более детально проблематика данного вопроса рассматривается в статье *О километровых столбах и протяженности автомобильных дорог* (Бойков, 2009). На основании результатов адресации и геоинформационного моделирования, в программной среде AutoCAD был подготовлен линейный план участка трассы М-4 «Дон» (приложение Ж).

Для подсчёта площадей дорожной разметки были получены значения коэффициента *n* для представленных в пределах исследуемых территорий типов разметки. Полученные значения были занесены в соответствующее поле атрибутивной таблицы. Далее с помощью *Калькулятора поля* были вычислены площади всех объектов дорожной разметки в составе модели. Значения коэффициента *n* представлены в таблице 5:

Таблица 5 - Рассчитанные коэффициенты n для определения площадей дорожной разметки

№ разметки по ГОСТ	1.1	1.2.1	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.12	1.13	1.17
n	0,125	0,15	0,3	0,125	0,05	0,09375	0,0625	0,05	0,4	0,15	0,1

С помощью полученной геоинформационной модели был выполнен пространственный анализ дорожной сети в пределах территории исследования. В качестве вспомогательной информации, дополнявшей модель, были использованы материалы *Google Street view*. По материалам *Google Street view* были определены типы покрытия некоторых примыканий, получена информация о покрытия улиц в частном секторе на сэмпле Северного жилого массива и т.д. В результате анализа были получены многообразные статистические данные. Для сэмплов, по которым выполнялось моделирование, были вычислены:

- Площади проезжих частей;
- Средние ширины полос движения, проезжих частей (для прямого хода, для обратного хода, суммарная);
- Численность примыканий, их площадь;
- Длины и площади горизонтальной дорожной разметки (отдельно для присутствующей, отсутствующей, имеющей повышенный износ);
- Численность различных элементов дорожной разметки (отдельно для присутствующей, отсутствующей, имеющей повышенный износ)

На основании указанных выше базовых параметров были получены дополнительные относительные показатели, такие как: соотношение длины/площади стёртой разметки и общей длины/площади разметки в пределах территории сэмпла/километрового участка трассы; суммарная площадь стёртой разметки на единицу площади проезжей части. Результаты дешифрирования исходных ДДЗЗ были картографированы средствами ArcGIS 10.3 и представлены в картографической форме (см. приложения В-Е), а также в форме геоинформационной модели (см. приложение И). В процессе исследования были разработаны методы геоинформационного картографирования выявленных диагностических показателей. Наиболее подходящим для создания картографических произведений был выбран масштабы 1: 2 500 и 1: 5 000. Была разработана система символики, основанная на свойствах и линейных размерах моделируемых структурных

элементов автомобильных дорог. Методы генерализации разрабатывались с учётом необходимости отображения на картах основных структурных элементов автомобильных дорог и характеризующих их диагностических показателей. Легенда карт соответствует терминологии нормативно-технической базы.

В результате исследования были выявлены участки с повышенным износом разметки, участки с полным отсутствием дорожной разметки, дефекты геометрических элементов дорог и объектов обустройства. Также был выявлен участок трассы М-4 «Дон», на котором сохранилась временная разметка. Примерами выявленных по сэмплам проблемных участков являются:

1. Фрагмент Северного обхода г. Ростова-на-Дону. Отсутствуют следующие типы разметки: 1.1; 1.2.1 (1.2); 1.8; 1.13. Суммарная длина отсутствующих объектов разметки – 892,18 м. Суммарная площадь отсутствующих объектов разметки – 116,94 м².
2. Улица Армянская, фрагмент к северу от ул. Атарбекова. Отсутствуют следующие типы разметки: 1.3; 1.5; 1.7. Суммарная длина отсутствующих объектов разметки – 1502,3 м. Суммарная площадь отсутствующих объектов разметки – 201,83 м².

К числу выявленных в рамках исследования дефектов дорожной разметки стало обнаружение отсутствия знака 1.17 на всей территории сэмпла Северного жилого массива г. Ростова-на-Дону. Данный тип разметки не используется ни на одной из 21 остановок общественного транспорта в границах территории исследования. Также анализ показал, что из 49 пешеходных переходов в пределах территории исследования, более половины (27) находятся в состоянии сильного износа либо полностью стёрты. Можно сделать вывод, что полученная геоинформационная модель позволяет достаточно эффективно выявлять подобные проблемные участки. Статистика по проблемным участкам может быть представлена в форме диаграмм, графиков, табличной, картографической и геоинформационной форме. Сравнение с архивными снимками и материалами потенциально позволяет оценивать многолетнюю динамику изменения состояния объектов дорожной сети в пределах территории исследования. В число полученных статистических показателей входит количество случаев выявленных дефектов разметки каждого типа, что позволяет выявить наиболее подверженные износу типы разметки. В частности, по результатам моделирования было установлено, что в условиях города наибольшему износу подвергаются такие типы разметки, как 1.5; 1.1; 1.6; 1.12; 1.14.1. На автодорогах вне городских населённых пунктов наибольшему износу подвергается разметка 1.2.1 и 1.5.

На основании результатов апробации подведём итоги по возможностям, которые предоставляют мультиспектральные снимки, панхроматические снимки и материалы БПЛА съёмки для решения задачи анализа состояния дорожной сети. В таблице 6 приводится сравнение панхроматических и мультиспектральных снимков по полноте предоставляемых ими диагностических показателей, доступных для извлечения.

Таблица 6 - Сравнение возможности использования панхроматических и мультиспектральных снимков для моделирования объектов исследования

Объект	Панхроматический диапазон	Мультиспектральный диапазон
WorldView-2: Пространственное разрешение 0,5 м и 2 м соответственно		
Дорожная разметка линейная	Различима	Не различима
Дорожная разметка линейная площадная	Почти не различима	Не различима
Дорожная разметка точечная	Почти не различима	Не различима
Геометрические элементы дороги (за вычетом обочины)	Различимы	Почти не различимы
Краевая полоса обочины	Не различима	Не различима
Остановочная полоса обочины	Не различима	Не различима
Элементы обустройства больших линейных размеров	Почти не различимы	Не различимы
Элементы обустройства малых линейных размеров	Не различимы	Не различимы
WorldView-3: Пространственное разрешение 0,31 м и 1,24 м соответственно		
Дорожная разметка линейная	Хорошо различима	Почти не различима
Дорожная разметка линейная площадная	Хорошо различима	Почти не различима
Дорожная разметка точечная	Хорошо различима	Почти не различима
Геометрические элементы дороги (за вычетом обочины)	Хорошо различима	Плохо различимы
Краевая полоса обочины	Различима	Не различима
Остановочная полоса обочины	Почти не различима	Не различима
Элементы обустройства больших линейных размеров	Различимы	Почти не различимы
Элементы обустройства малых линейных размеров	Почти не различимы (некоторые)	Не различимы

В таблице 7 приводится сравнение панхроматических снимков WorldView-3 и ортофотопланов по возможностям извлечения диагностических параметров с их помощью. В таблице 8 приведено сравнение использованных дистанционных методов по степени потенциальной автоматизации процесса дешифрования. В результате практической части исследования было проведено апробирование предложенной в главе 2 технологии

использования материалов дистанционного зондирования Земли для анализа состояния дорожной сети в пределах субъекта Российской Федерации.

Таблица 7 - Сравнение возможности использования панхроматических снимков и материалов аэрофотосъёмки для моделирования объектов исследования

Объект	Панхроматические снимки	Ортофотопланы
Дорожная разметка линейная	Хорошо различима	Хорошо различима
Дорожная разметка линейная площадная	Хорошо различима	Хорошо различима
Дорожная разметка точечная	Хорошо различима	Хорошо различима
Геометрические элементы дороги (за вычетом обочины)	Хорошо различима	Хорошо различима
Краевая полоса обочины	Различима	Хорошо различима
Остановочная полоса обочины	Почти не различима	Различима
Элементы обустройства больших линейных размеров	Различимы	Хорошо различимы
Элементы обустройства малых линейных размеров	Почти не различимы (некоторые)	Различимы

Можно сделать вывод, что материалы аэрофотосъёмки представляют достаточно широкие возможности для выполнения анализа. Тем не менее, недостатком технологии является то, что в ряде случаев получаемых ортофотопланов может быть недостаточно для выявления всех объектов дорожного обустройства и полного набора их диагностических показателей.

Таблица 8 - Сравнение возможности автоматизации дешифрирования материалов БПЛА съёмки и панхроматических снимков

Возможность автоматизации	Панхроматические снимки	Ортофотопланы
Автоматическое выделение дорожной разметки	Относительно эффективно	Эффективно
Автоматическое выделение очертаний дорожной сети	Относительно эффективно	Эффективно
Автоматическое выделения разделительной полосы	Возможно в ряде случаев	Эффективно

Лишь сочетание с наземными методами исследования, панорамной съёмкой и/или данными лазерного сканирования может дать абсолютно полные сведения о дорожной сети и весь набор диагностических параметров. Существуют частичные возможности

автоматизации процесса дешифрирования, но значительная доля операций может быть выполнена только оператором в ручном режиме. Панхроматические снимки сверхвысокого разрешения также предоставляют возможность извлечения диагностических параметров структурных элементов дорожной сети. Однако, в силу более низкого пространственного разрешения их возможности несколько уступают ортофотопланам, в том числе в вопросах автоматизации дешифрирования. Несомненным достоинством панхроматических снимков является их обширный пространственный охват. С учётом вышесказанного, панхроматические спутниковые снимки также могут быть использованы для анализа, несмотря на сравнительно низкое пространственное разрешение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы была достигнута основная цель – разработан геоинформационный метод оценки состояния дорожной сети на территории отдельного субъекта Российской Федерации на основании ДДЗЗ. В исследовании были задействованы методы спутниковой съёмки сверхвысокого разрешения и аэрофотосъёмки с платформы БПЛА. Была разработана технология извлечения диагностических параметров структурных элементов дорожной сети из исходных ДДЗЗ; предложены наборы диагностических параметров для основных структурных элементов дорожной сети. Также была предложена структура цифровой информационной/геоинформационной модели, содержащая результаты дешифрирования.

Задача разработки способов автоматизации процесса дешифрирования была достигнута - предложены методы частичной автоматизации двух из трёх технологических этапов дешифрирования. Предложенные способы позволяют сократить объём выполняемых оператором действий в ручном режиме обработки. Результаты апробации показали прирост производительности в 15-20% относительно полностью ручного режима дешифрирования. В процессе выполнения исследования определены основные лимитирующие факторы автоматизации дешифрирования: наличие участков сложной дорожной ситуации; пространственное разрешение ДДЗЗ; многообразие уникальных вариантов дорожной ситуации. Данные аспекты предопределяют значительное вовлечение оператора в процесс моделирования. Эксперименты показали, что дешифрирование объектов дорожного обустройства практически не подлежит автоматизации. При планировании дальнейших крупномасштабных исследований таких значительных по охвату территорий как субъект Российской Федерации, необходимо учитывать объективно ограниченные потенциальные возможности автоматизации.

Разработанная технология дешифрирования и извлечения диагностических показателей была апробирована на полученных образцах материалов ДЗЗ. В качестве исходных данных были использованы сэмплы спутниковых снимков WorldView-2, WorldView-3 и Pleiades-1В сверхвысокого разрешения, а также ортофотопланы. Для апробации были задействованы передовые по пространственному разрешению исходные материалы. Апробация проведена на экспериментальных участках, отражающих основные возможные варианты дорожной ситуации в пределах субъекта РФ. В результате процесса моделирования успешно извлечены диагностические параметры структурных элементов дорожной сети экспериментальных участков. Результаты представлены в геоинформационной форме, а также в картографической форме. Были разработаны методы

геоинформационного картографирования извлечённых диагностических параметров. Предложенная технология показала свою продуктивность на всех типах дорожной ситуации в пределах экспериментальных участков. Полученная модель использовалась для выполнения последующего пространственного анализа и сбора статистики. Технология показала себя работоспособной, но требующей дальнейшего усовершенствования и доработки. Относительно применимости отдельных дистанционных методов для выполнения анализа состояния дорожной сети были сделаны следующие выводы.

Мультиспектральные снимки показали себя малоприменимыми в решении задач анализа состояния дорожной сети. Несмотря на высокое разрешение (до 1,2 м), данный показатель всё же недостаточно велик для дешифрирования составных элементов дорожной сети. Подобные снимки не позволяют с необходимой точностью выделять геометрические элементы автомобильных дорог, дорожную разметку и элементы обустройства. Извлечение большинства диагностических показателей из мультиспектральных снимков либо не возможно, либо возможно с низкой точностью. Для выявления элементов дорожной сети методами классификации с обучением/без обучения использование данных снимков также нерационально. В связи с этим применение мультиспектральных снимков для оценки состояния дорожной сети на текущем технологическом этапе не представляется возможным.

Снимки в панхроматическом диапазоне предоставляют существенно большие возможности для анализа состояния дорожной сети. Пространственное разрешение в 31 см позволяет извлечь из исходных снимков большую часть необходимых диагностических параметров и произвести моделирование составных элементов дорожной сети. По панхроматическим снимкам потенциально возможно выявление дефектов геометрических элементов дорог. Тем не менее, панхроматические снимки имеют ряд недостатков, в том числе: сложность выделения остановочной полосы обочины; ограничения по возможности дешифрирования объектов дорожного обустройства и определения их диагностических показателей.

Подобные недостатки несколько ограничивают применение снимков в панхроматическом диапазоне для анализа состояния дорожной сети. Был сделан вывод о том, что решение таких задач как паспортизация дорог и создание и обновление ПОДД по панхроматическим снимкам не может быть выполнено без привлечения дополнительных материалов. Однако, ввиду важного преимущества данного дистанционного метода – большого пространственного охвата - спутниковая съёмка представляется рациональной технологией для анализа состояния дорожной сети в пределах субъекта Федерации. Создание и использование снимков с панхроматическим слиянием также показало себя

целесообразным. Наиболее подходящим алгоритмом выполнения паншарпенинга в процессе апробации оказался алгоритм IHS.

Технология аэрофотосъёмки с платформы БПЛА представляет наилучшие возможности для анализа состояния дорожной сети. Высокое пространственное разрешение позволяет выполнять моделирование всех структурных элементов дорожной сети и получать большую часть необходимых диагностических параметров объектов обустройства. Обработанные данные аэрофотосъёмки показали себя наилучшими материалами для моделирования дорожной сети в сельских населённых пунктах. К выявленным недостаткам БПЛА съёмки следует отнести сравнительно малый (по сравнению со спутниковой съёмкой) пространственный охват и достаточно высокую стоимость полевых работ. Тем не менее, достоинства данной технологии существенно превосходят недостатки. Материалы БПЛА съёмки также делают возможным выявление по ним в ручном режиме дефектов геометрических элементов дорог, объектов благоустройства и дорожного покрытия, что важно для задач исследования.

Методы классификации с обучением и без обучения были протестированы в рамках апробации технологии. Оба варианта классификации могут быть применены для частичной автоматизации процесса дешифрирования и выделения дорог с различным типом покрытия по ортофотопланам. Использование методов классификации для извлечения диагностических показателей дорожного покрытия и выявления отдельных деформаций дорожного полотна в настоящий момент представляется маловероятным. Методы классификации позволяют выявить трещины в дорожном покрытии, вычислить их площади и охарактеризовать пространственное распространение трещин.

Извлечение диагностических показателей колеености, выявление выбоин и других типов дефектов дорожного полотна, преобладающих в Российской Федерации, по ортофотопланам на основании проведённых экспериментов апробации показало себя возможным только в ручном режиме и только в ряде случаев при должном качестве исходных материалов. Решение подобной задачи требует большого объёма ручного труда оператора, т.к. распознать подобные дефекты методами классификации затруднительно. Полученные результаты не будут соответствовать необходимым по нормативно-технической базе требованиям точности контроля и могут носить исключительно оценочный, приблизительный характер. Потенциально также возможно использование методов машинного обучения для автоматического выявления подобных деформаций. Наилучшим методом оценки состояния дорожного полотна несомненно остаются традиционные полевые инженерные методы исследований.

Получаемая в результате дешифрирования геоинформационная модель в ходе апробации показала свою эффективность. Она предоставляет достаточно широкие возможности для визуализации, анализа и сбора статистики по всем структурным элементам дорожной сети. Модель позволяет выявить проблемные участки дорожной сети и принимать управленческие решения на основе данной информации. С помощью модели возможно оценить примерные объёмы ремонтных, демаркационных работ, а на основе данной информации разрабатывать тендеры на их проведение. При увеличении области исследования до территории субъекта Федерации, подобная модель может быть использована для проектирования развития дорожной сети и транспортных систем различного уровня; проектов регионального развития; создания и обновления ПОДД; контроля соответствия реальной дорожной ситуации заявленной в проекте информации; контроля качества ремонтных и строительных работ и определения динамики износа элементов дорожной сети.

Структура предложенной геоинформационной модели позволяет расширить её за счёт включения вспомогательного содержания. Апробация показала необходимость привлечения дополнительного содержания для достижения желаемой информативности модели. К числу материалов, которыми представляется рациональным дополнить данные ДЗЗ относятся: материалы, получаемые мобильными автолабораториями; материалы панорамной съёмки; сведения о километровых столбах и система адресации; сведения об инженерных объектах, мостовых сооружениях, постах ДПС, АСУДД, объектах дорожного и придорожного сервиса; ЦМР; ЦММ; ВМ-модели и пространственная информация в сетевой модели данных.

Выбранные для проведения исследования дистанционные методы имеют достаточно высокий потенциал в сфере анализа состояния дорожной сети. Однако полного спектра диагностических показателей состояния дорожной сети дистанционные методы на текущем технологическом этапе предоставить не могут. Требуется совмещение дистанционных методов с данными полевых, «условно дистанционных» методов. Перспективными направлениями для дальнейших научных исследований представляются:

1. Совершенствование технической базы дистанционных методов, в первую очередь – съёмочных платформ. Повышение пространственного разрешения панхроматических и мультиспектральных снимков.
2. Разработка и совершенствование алгоритмов, инструментов, скриптов, методов и средств автоматизации дешифрирования материалов ДЗЗ и их последующей геоинформационной обработки. Разработка методов обработки больших массивов данных подобными инструментами в пакетном режиме.

3. Использование методов машинного обучения для выявления по материалам аэрофотосъёмки деформаций дорожного полотна в автоматизированном режиме.
4. Создание актуальных и ориентированных на дорожную сеть РФ спектральных библиотек, которые будут включать спектральные кривые для основных видов дорожных покрытий, с учётом динамики их технико-эксплуатационного состояния в межремонтный период.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Постановление Правительства РФ от 20 декабря 2017 г. № 1596 Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы» – В ред. от 2019-03-29. – 294 С.
2. Паспорт национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги», президиум совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24-12-18 №15. – 64 С.
3. Паспорт федерального проекта «Дорожная сеть», проектный комитет по национальному проекту «Безопасные и качественные автомобильные дороги», протокол от 20-12-18 №4. – 9 С.
4. Паспорт федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства», проектный комитет по национальному проекту «Безопасные и качественные автомобильные дороги», протокол от 20-12-18 №4. – 39 С.
5. 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.
6. 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.
7. ГОСТ 33180-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню летнего содержания. – Введ. 2015-12-05. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 15 С.
8. ГОСТ 33475-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Технические требования. – Введ. 2015-08-27. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 15 С.
9. 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.
10. ГОСТ 51256-2018. Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Классификация. Технические требования. – Введ. 2018-06-1. – М.: Изд-во стандартов, 2018. – 38 С.
11. ГОСТ 52766-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования. – Введ. 2007-10-23. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 31 С.

12. 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.
13. Методические рекомендации по устройству дорожной разметки. Федеральное Дорожное Агентство (Росавтодор). – 2016. – 109 С.
14. Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог. Федеральное Дорожное Агентство (Росавтодор). – 2018. – 73 С.
15. Транспорт в России. 2018: Стат.сб./Росстат. М., 2018. – Т. 65. – 101 С.
16. Бойков В. Н. О километровых столбах и протяженности автомобильных дорог // Дорожная держава. – 2009. – № 22. – С. 25-27.
17. Бургонутдинов А. М., Гарифзянов Р. Д., Окунева А. Г., Стецюк К. С. Анализ дистанционных и визуальных методов оценки состояния дорожного покрытия // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2015. – № 2. – С. 74-84.
18. Галабурда В. Г. Единая транспортная система: учеб. пособие / Персианов В. А., Тимошин А. А. - 2 изд. с изм. и доп. – М.: Транспорт, 2001. – 303 С.
19. Кочанов А. Н., Петров А.Н. Применение георадаров для диагностики состояния лесовозных автомобильных дорог // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. – 2010. – №8. – С. 74-76.
20. Кулижников А. М. Прогрессивные методы и современное георадарное оборудование для обследования автомобильных дорог // Дорожная держава. – 2011. – №32. – С. 26-30.
21. Кулижников А. М., Еремин Р. А. Оценка толщины асфальтобетонных слоев георадиолокационными методами. Дороги и мосты. – 2017. – №35. – С. 125-137.
22. Кучейко А. А., Рогова Н. В. Спутниковый мониторинг федеральных автотрасс // Земля из космоса. – 2009. – №2. – С. 5-8.
23. Федосеев А. А. Методы и средства построения модели транспортной инфраструктуры на основе данных дистанционного зондирования Земли: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Федосеев Александр Андреевич ; Самарский нац. иссл. ун-т. им. академика С. П. Королёва. – Самара, 2017. – 191 С.
24. Филиппов Д. В., Великжанина К. Ю., Грядунов Д. А. Состояние автомобильных дорог изучает БПЛА // Дороги. Инновации в строительстве. – 2012. – №20. – С. 74-78.
25. Шошина К. В. Система мониторинга и исследования лесных дорог // Arctic Environmental Research. – 2013. – №4. – С. 50-54.
26. Brooks C. [и др.] Characterization of Unpaved Road Condition Through the Use of Remote Sensing Project – Phase II Deliverable 8-D: Final Report [Электронный ресурс] // Michigan

- Technological University. – 2016 - . – Режим доступа : https://mtri.org/unpaved/media/doc/deliverable_Final_Report_Del8D_Unpaved_Roads_Phase_II_RevisedB.pdf. – Загл. с экрана.
27. Carlson P. [и др.] Advancing Innovative High-Speed Remote-Sensing Highway Infrastructure Assessment Using Emerging Technologies // Report 0-6869-1, Texas A&M Transportation Institute, College Station. – 2017. – 384 p.
28. Cardim G. [и др.] Statistical Evaluation and Analysis of Road Extraction Methodologies Using a Unique Dataset from Remote Sensing // Remote Sens. – 2018. – №10, 620. – 17 p.
29. Dobson R. [и др.] Collecting Decision Support System Data Through Remote Sensing of Unpaved Roads // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 2014. – Volume 2433. – P. 108-115.
30. Emery W., Singh C., Large-Area Road-Surface Quality and Land-Cover Classification Using Very-High Spatial Resolution Aerial and Satellite Data // 2013, Quarterly Progress Report #5, Aerospace Engineering Science Department, University of Colorado, Boulder. – 24 p.
31. Faghri A., Li M., Ozden A. Satellite Assessment and Monitoring for Pavement Management [Электронный ресурс] // University of Delaware. – 2015 - . – Режим доступа : https://cait.rutgers.edu/wp-content/uploads/2018/05/cait-utc-nc4-final_0.pdf.
32. Fischer P. [и др.] Towards HD Maps from Aerial Imagery: Robust Lane Marking Segmentation Using Country-Scale Imagery // ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2018. – №7, 458. – P. 1-14.
33. Gong J. [и др.] Mobile Terrestrial Laser Scanning for Highway Inventory Data Collection // Computing in Civil Engineering. – 2012. – №6. – P. 545-552.
34. Guan H. [и др.] Use of mobile LiDAR in road information inventory: a review // International Journal of Image and Data Fusion. – 2016. – №7 (3). – P. 219-242.
35. 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. – Загл. с экрана.
36. Hoang N., Nguyen Q. Automatic Recognition of Asphalt Pavement Cracks Based on Image Processing and Machine Learning Approaches: A Comparative Study on Classifier Performance // Mathematical Problems in Engineering. – Vol. 2018. – 14 p.
37. Koch M. W., Moya M. M., Chow J. G. Road Segmentation using Multipass Single-PolSynthetic Aperture Radar Imagery // 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. – 2015. – P. 151-160.

38. Kumar P. [и др.] Snake energy analysis and results validation for a mobile laser scanning data based automated road edge extraction algorithm // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. – 2016. – №10 (2). – P. 763-773.
39. Lehtomäki M. [и др.] Object Classification and Recognition from Mobile Laser Scanning Point Clouds in a Road Environment // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2016. – №10. – 14 p.
40. Lemmens M. Status and prospects of automatic 3D mapping of road objects // *Geomatics World*. – 2018. – №1, P. 16-19.
41. Mathibela B., Newman P., Posner I. Reading the Road: Road Marking Classification and Interpretation // *IEEE Transactions on Intelligent transportation systems*. – 2015. – Vol. 16, № 4. – 10 p.
42. Mei A. [и др.] Bitumen Removal Determination on Asphalt Pavement Using Digital Imaging Processing and Spectral Analysis // *Open Journal of Applied Sciences*. – 2014. – №4, 366-374. – 9 p.
43. Mohammadi M. Road classification and condition determination using hyperspectral imagery // *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2012. – №39-B7. – P. 141-146.
44. Mokhtari S. Analytical study of computer vision-based pavement crack quantification using machine learning techniques. // *University of Central Florida, Electronic Theses and Dissertations*. 1156. – 2015. – 232 p.
45. Nicolaou A. Study of asphalt pavement deterioration through remote sensing, Postgraduate Thesis, Cyprus University of Technology. – 2016. – 54 p.
46. Ozden A. [и др.] Evaluation of Synthetic Aperture Radar Satellite Remote Sensing for Pavement and Infrastructure Monitoring // *Procedia Engineering*. – 2016. – №145. – P. 752 – 759.
47. Pan Y. [и др.] Object-based and supervised detection of potholes and cracks from the pavement images acquired by UAV // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2017. – Vol. XLII-4/W4. – P. 209-217.
48. Pan Y. [и др.] Road pavement condition mapping and assessment using remote sensing data based on MESMA // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2016. – №34. – 7 p.
49. 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.

50. Ragnoli A., Rosaria De Blasiis M., Di Benedetto A. Pavement distress detection methods: a review. – 2018. – 19 p.
51. Resende M., Bernucci L., Quintanilha J. Monitoring the condition of roads pavement surfaces: proposal of methodology using hyperspectral images // Journal of Transport Literature. – 2014, №4. – P. 201-220.
52. Schnebele E. [и др.] Review of remote sensing methodologies for pavement management and assessment // European Transport Research Review. – 2015. – №7. – P. 6-19.
53. Sghaier M., Lepage R. Road Extraction From Very High Resolution Remote Sensing Optical Images Based on Texture Analysis and Beamlet Transform // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2016. – Vol. 9, №5. – P. 1946-1957.
54. Singh C. Commercial Remote Sensing & Spatial Information Technologies Program [Электронный ресурс] — Режим доступа : <https://cms.dot.gov/sites/dot.gov/files/docs/mission/administrations/assistant-secretary-research-and-technology/284871/crssi-program-highlights-report.pdf> .
55. Tang L. Automatic Extraction of Number of Lanes from Aerial Images for Transportation Applications // 2015, Miami, FIU Electronic Theses and Dissertations. 2200. – 140 p.
56. Workman R., Otto A., Irving A. The use of appropriate high tech solutions for road network and condition analysis, with a focus on satellite imagery [Электронный ресурс] // London, AFCAP Project Reference. GEN2070A, Technical Report 2016 - . – Режим доступа : <https://www.gov.uk/dfid-research-outputs/the-use-of-appropriate-high-tech-solutions-for-road-network-and-condition-analysis-with-a-focus-on-satellite-imagery-final-trials-report>
57. 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.
58. 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.
59. Zakeri H., Nejad F., Fahimifar A. Image Based Techniques for Crack Detection, Classification and Quantification in Asphalt Pavement: A Review // Arch Computat Methods Eng. – 2016. – 43 p.
60. Zhang Z. [и др.] Road Centerline Extraction from Very-High-Resolution Aerial Image and LiDAR Data Based on Road Connectivity // Remote Sens. 2018. – №10, 1284. – P. 1-20.
61. Авиаклуб Диар-Флай, образцы ортофотопланов [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://yadi.sk/d/osIqniUjkUQw5>
62. Ресурс поиска данных ДЗЗ компании DigitalGlobe [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://discover.digitalglobe.com/>

63. Сайт компании ООО «Эридан» [Электронный ресурс] – Режим доступа :
<http://eridangeo.blogspot.com>
64. Сайт компании DroneMapper [Электронный ресурс] – Режим доступа :
<https://dronemapper.com/>
65. Сайт компании DigitalGlobe [Электронный ресурс] – Режим доступа :
<http://www.digitalglobe.com/>
66. Сайт компании Melown Technologies – 3D Geospatial Solutions Provider [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.melown.com/products/vadstena/#exampleDatasets>.
67. Сайт компании SenseFly [Электронный ресурс] – Режим доступа :
<https://www.sensefly.com/education/datasets/>
68. Сайт компании Совзонд [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://sovzond.ru/>
69. Boardman, Ohio [Электронный ресурс] – Режим доступа :
<http://www.boardmantwp.com/2018/03/01/know-roads-responsible-maintenance/>. – Загл. с экрана.
70. Municipal District of Wainwright No. 61 [Электронный ресурс] – Режим доступа :
<http://www.mdwainwright.ca/index.php/transportation1/key-local-roads-network/>. – Загл. с экрана.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А - Моделируемые объекты дорожной разметки (ГОСТ Р 51256-2018)

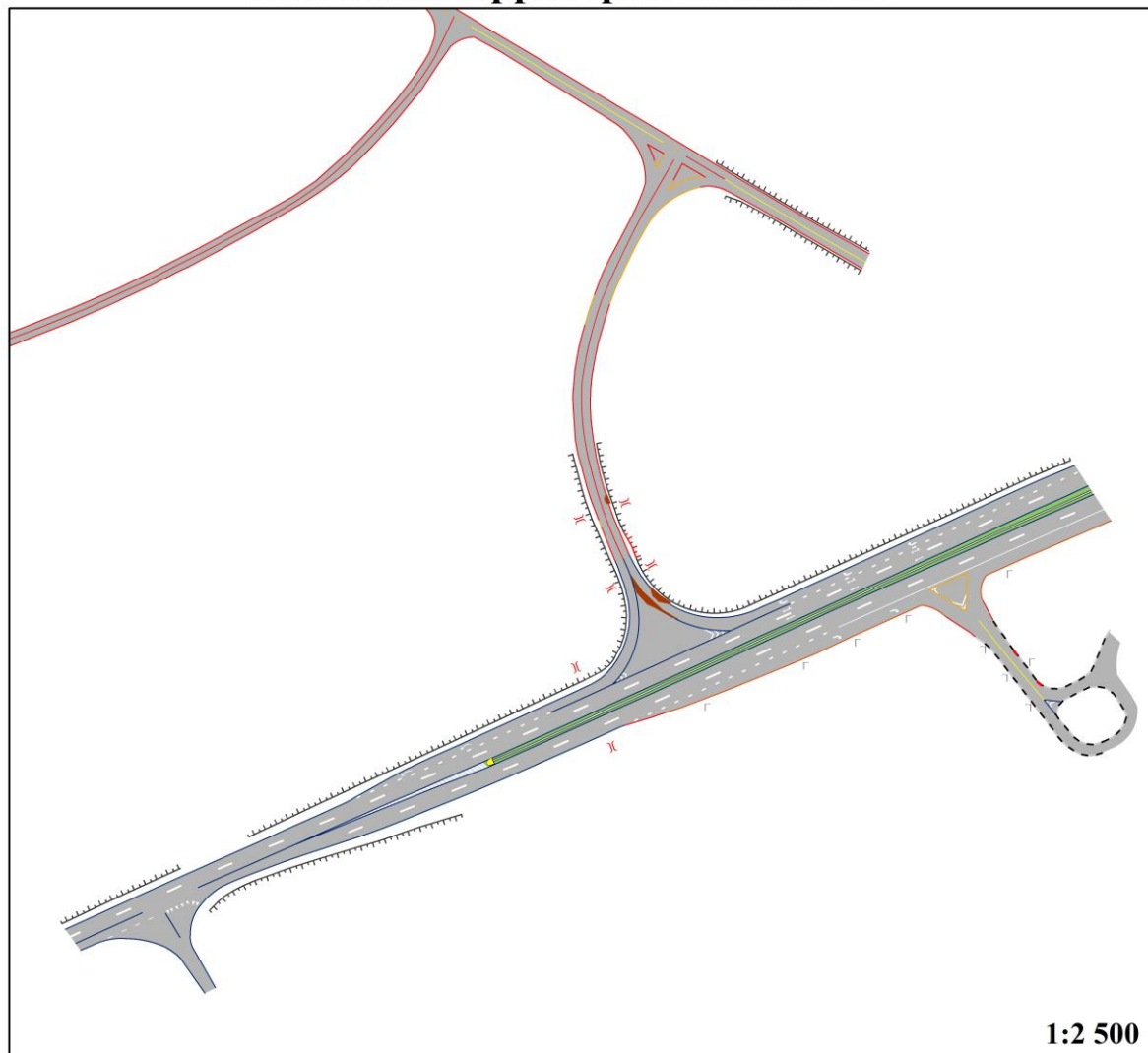
Линейный тип геометрии	Полигональный тип геометрии	Точечный тип геометрии
Сплошная линия (1.1)	Островок безопасности (1.16.1)	На проезжую часть справа (1.18)
Край проезжей части (1.2)	Съезд с дороги (1.16.2)	На проезжую часть слева (1.18)
Край проезжей части (1.2.1)	Заезд на дорогу (1.16.3)	Налево (1.18)
Край проезжей части (1.2.2)	Участок перекрёстка, на который запрещено выезжать в случае образования затора (1.26)	Направо (1.18)
Двойная сплошная (1.3)	-	Прямо (1.18)
Край проезжей части (1.4)	-	Прямо и на проезжую часть справа (1.18)
Прерывистая линия (1.5)	-	Прямо и на проезжую часть слева (1.18)
Разделительная между 1.1 и 1.11 (1.6)	-	Прямо и налево (1.18)
Движение в пределах перекрёстка (1.7)	-	Прямо и направо (1.18)
Широкая прерывистая (1.8)	-	Налево (1.19)
Двойная прерывистая (1.9)	-	Направо (1.19)
Жёлтая прерывистая (1.10)	-	Приближение к 1.13 (1.20)
Пересечение с одной из полос (1.11)	-	Приближение к 1.12 (1.21)
Стоп линия (1.12)	-	Номер дороги (1.22)
Уступи дорогу (1.13)	-	Полоса для маршрутных транспортных средств (1.23.1)
Пешеходный переход (1.14.1)	-	Пешеходная дорожка (1.23.2)
Большой пешеходный переход (1.14.2)	-	Дублирование предупреждающих дорожных знаков (1.24.1)
Разметка для велодорожек (1.15)	-	Дублирование запрещающих дорожных знаков (1.24.2)
Остановка общественного транспорта (1.17)	-	Дублирование дорожного знака 8.17 (1.24.3)
Искусственные неровности (1.25)	-	Дублирование знака 8.23 (1.24.4)
-	-	Дублирование таблички 8.4.3.1 (1.24.5)
-	-	Дублирование дорожного знака 5.33.1 (1.24.6)
-	-	Дублирование дорожного знака 8.9.2 (1.24.7)

Приложение Б - Предлагаемые поля атрибутивных таблиц классов объектов
геометрических элементов дорог

№	Поле	Псевдоним	Доменный словарь
Проезжая часть			
1	Type	Тип	Постоянной ширины, переменной ширины, остановочный карман, кольцевая развязка
2	Area	Площадь	-
3	Razd_ex	Наличие разделительной полосы	Да, нет
4	Trans_ex	Наличие выделенной транспортной полосы	Да, нет
5	Velo_ex	Наличие велодорожки	Да, нет
6	Width	Ширина проезжей части	-
7	Width_p	Ширина полосы движения	-
8	Width_f	Ширина прямого хода	
9	Width_b	Ширина обратного хода	
10	Width_r	Ширина разделительной полосы	-
11	Lines	Число полос движения	-
12	Lines_p	Число полос движения прямого хода	-
13	Lines_o	Число полос движения обратного хода	-
14	Surface	Материал покрытия	Асфальтобетон, цементобетон, грунтовое, гравийное, щебёночное, бетонные плиты, мощёное (брусчатка)
15	Class	Класс дороги	Автомагистраль, скоростная автомобильная дорога, обычная автомобильная дорога (не скоростная дорога)
16	Category	Категория дороги	IA, IB, IV, II, III, V
17	Zagruzka	Максимальный уровень загрузки дороги движением	0.6; 0.65; 0.7
18	Intensity	Расчётная интенсивность движения, ед./сут.	До 200, 200 – 2 000, 2 000 – 6 000, свыше 6 000, свыше 14 000
19	Address	Адресация	Различная реализация для дорог в населённых пунктах и вне их, см. 2.3. Не диагностируется непосредственно из ДДЗЗ
Разделительная полоса			
1	Width	Ширина	-
2	Surface	Покрытие	Асфальтобетон, цементобетон, засев трав
3	Area	Площадь	-
4	Address	Адресация	Различная реализация для дорог в населённых пунктах и вне их, см. 2.3. Не диагностируется непосредственно из ДДЗЗ

Примыкания			
1	Width	Ширина	-
2	Length	Длина	-
3	Surface	Покрытие	Асфальтобетон, цементобетон, грунтовое, гравийное, щебёночное, бетонные плиты, мощёное (брусчатка)
4	Area	Площадь	-
5	Address	Адресация	Различная реализация для дорог в населённых пунктах и вне их, см. 2.3. Не диагностируется непосредственно из ДДЗЗ
6	Direction	Направление	-
7	Hod	Положение по ходу	Прямой ход, обратный ход (только для дорог вне населённых пунктов)
Бортовой камень			
1	Length	Длина	-
2	Condition	Наличие деформаций и/или смещений	Да, нет
3	Address	Адресация	Различная реализация для дорог в населённых пунктах и вне их, см. 2.3. Не диагностируется непосредственно из ДДЗЗ
4	Hod	Положение по ходу	Прямой ход, обратный ход (только для дорог вне населённых пунктов)
Краевая полоса и остановочная полоса обочины (одинаковый набор полей)			
1	Width	Ширина	-
2	Area	Площадь	-
3	Address	Адресация	Различная реализация для дорог в населённых пунктах и вне их, см. 2.3. Не диагностируется непосредственно из ДДЗЗ
4	Hod	Положение по ходу	Прямой ход, обратный ход (только для дорог вне населённых пунктов)

Результаты дешифрирования по ортофотопланам участка трассы Р-193 Воронеж - Тамбов и смежной территории с. Бабяково

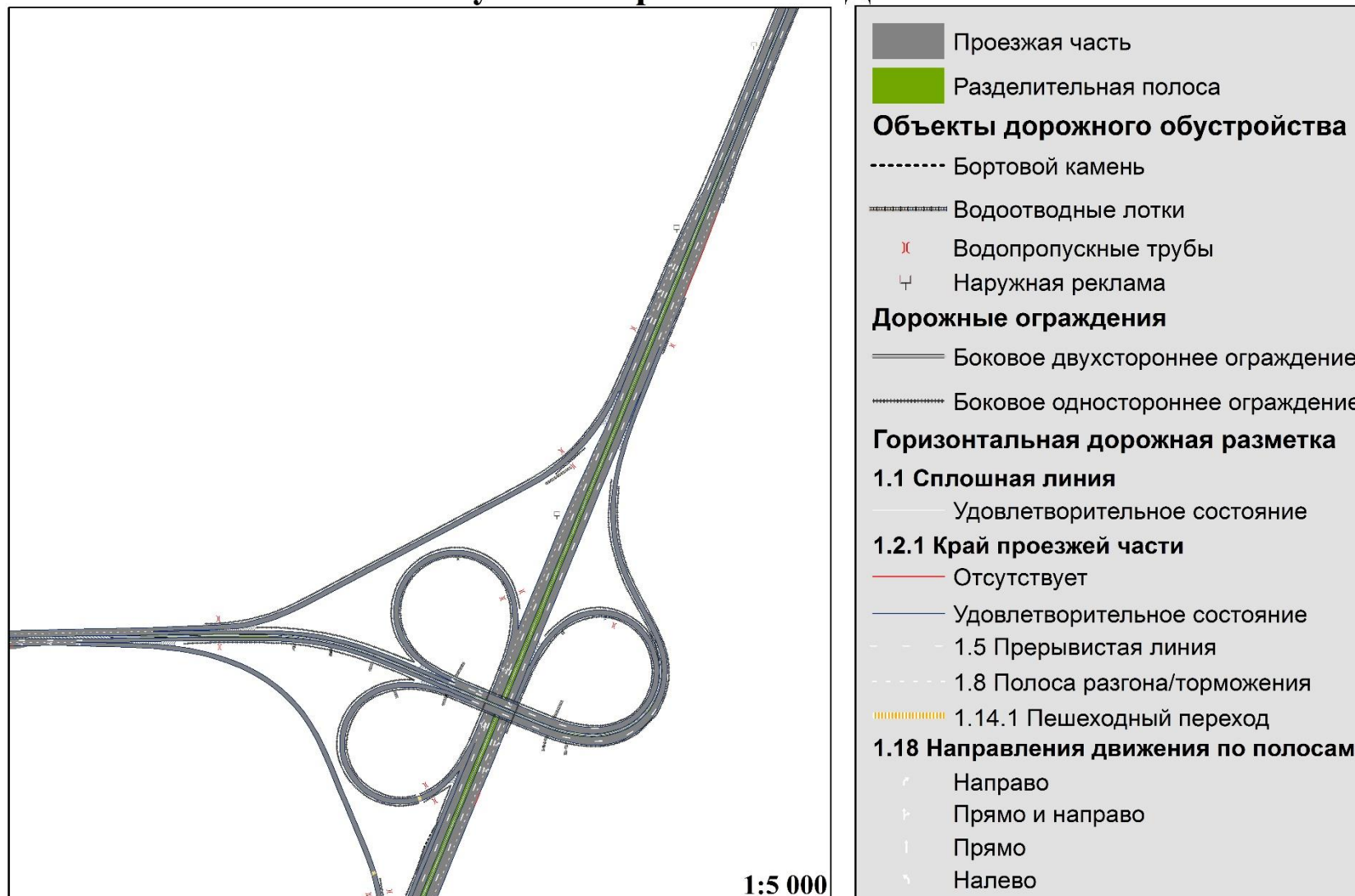


	Проезжая часть и примыкания
	Разделительная полоса
Объекты дорожного обустройства	
	Водопрпускные трубы
	Дорожное освещение
	Бортовой камень
Дорожные ограждения	
	Боковое двухстороннее ограждение
	Боковое одностороннее ограждение
	Фронтальное ограждение
Выявленные дефекты	
	Деформированное боковое одностороннее ограждение
	Полосы загрязнения покрытия
	Повреждения бордюрного камня
Горизонтальная дорожная разметка	
1.1 Сплошная линия	
	Отсутствует
	Повышенный износ
	Удовлетворительное состояние
1.2.1 Край проезжей части	
	Отсутствует
	Высокая степень износа
	Повышенный износ
	Удовлетворительное состояние
1.5 Прерывистая линия	
	Повышенный износ
	Удовлетворительное состояние
1.7 Движение в пределах перекрёстка	
	Повышенный износ
	Удовлетворительное состояние
	1.8 Широкая прерывистая
	1.13 Уступы дороги
1.18 Направления движения по полосам	
	Направо
	Прямо
	Прямо и направо
	1.19 Сужение проезжей части

Результаты дешифрирования по снимку WorldView-3 участка территории Северного жилого массива, г. Ростов-на-Дону, Ростовская область



Результаты дешифрирования по снимку WorldView-3 участка трассы М-4 "Дон"



Приложение Е - Результаты дешифрирования снимка WorldView-2 с панхроматическим слиянием на территорию хутора Крымский, Усть-Донецкий район, Ростовская область

**Результаты дешифрирования снимка WorldView-2
с панхроматическим слиянием на территорию хутора Крымский,
Усть-Донецкий район, Ростовская область**



— Грунтовые дороги — Дороги с твёрдым покрытием

1:2 000

Линейный план участка трассы М-4 "Дон", полученный в результате дешифрирования снимка WorldView-2

