



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(бакалаврская работа)

Оптимизация размещения метеодатчиков

На тему кольцевой автодороге

Исполнитель Навотная Галина Владимировна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук  
(ученая степень, ученое звание)

Симакина Татьяна Евгеньевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, профессор  
(ученая степень, ученое звание)

Кузнецов Анатолий Дмитриевич  
(фамилия, имя, отчество)

«\_\_\_\_\_» 2020 г.

Санкт-Петербург  
2020

## Содержание

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                 | 3  |
| 1. Кольцевая автодорога Санкт-Петербурга.....                                 | 6  |
| 1.1 Описание КАД.....                                                         | 6  |
| 1.2 Метеорологические факторы и их влияние на условия движения .....          | 8  |
| 2. Автоматические дорожные станции .....                                      | 12 |
| 2.1 Метеорологическое обеспечение КАД.....                                    | 12 |
| 2.2 Система АИИС «МетеоТрасса».....                                           | 14 |
| 2.3 Функции и структура АДМС.....                                             | 16 |
| 2.4 Датчики измерения температуры на АДМС .....                               | 19 |
| 2.5 Расположение АДМС на КАД.....                                             | 21 |
| 3. Анализ данных станций о температуре .....                                  | 22 |
| 3.1 Контроль качества входных данных измерений.....                           | 24 |
| 3.1.1. Оценка надежности работы датчиков.....                                 | 26 |
| 3.2 Суточная динамика температуры на станциях.....                            | 33 |
| 3.3 Сравнительный анализ температуры грунта, воздуха и дорожного полотна..... | 37 |
| 4. Исследование структуры размещения метеодатчиков на участках КАД.....       | 43 |

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 Анализ равномерности размещения датчиков .....                                           | 43 |
| 4.2 Поиск потенциально-опасных участков для наступления гололеда ..                          | 44 |
| 4.3 Анализ информации с соседних станций.....                                                | 47 |
| 4.3.1 Интерполяция измерений на станциях. Ошибки интерполяции....                            | 47 |
| 4.3.2 Локализация мест, потенциально пригодных для установки<br>дополнительных датчиков..... | 50 |
| Заключение.....                                                                              | 54 |
| Список использованных источников.....                                                        | 58 |

## Введение

В современный период происходит стремительное развитие транспортной инфраструктуры и растет значимость транспорта во всех сферах жизни человека. Транспорт- это не только важный фактор развития экономики, но и источник повышенной опасности. Следовательно, возникают новые задачи формирования комплексной системы транспортной безопасности.

Гидрометеорологическое обеспечение с каждым годом поднимается на новый уровень, увеличивается число метеостанций и точность получаемых данных, обновляется оборудование. Этим всем занимается Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрометеорологический научно - исследовательский центр Российской Федерации» (ФГ БУ «Гидрометцентр России»).

Основные задачи Гидрометцентра России:

- Получение новых знаний о процессах, происходящих в системе «океан-суша-атмосфера»;
- Быстрое и организованное обеспечение населения, различных частных организаций и государственных структур гидрометеорологической информацией, включая сообщения о неблагоприятных или опасных явлениях погоды.

В настоящее время в Гидрометслужбе происходит комплексная автоматизация, то есть создание и применение автоматических систем для сбора и обработки первичной метеорологической информации.

Основной источник метео данных на дорогах – это автоматические дорожные метеорологические станции (АДМС).

На сегодняшний день рост и объем транспортных перевозок приобретает все большие масштабы, поэтому особенно остро встает вопрос безопасности на дорогах, что по большей части связано с метеорологической обстановкой.

Распределение ДТП по территории России

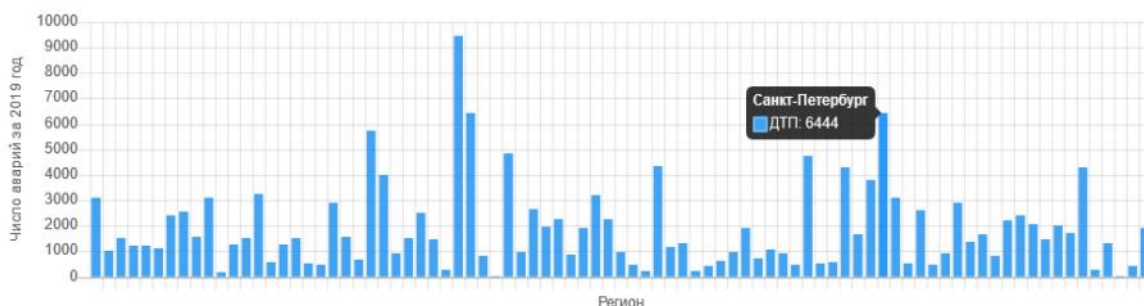


Рис.1 Число аварий по регионам РФ за 2019г.

На Рис.1 представлена статистика дорожно -транспортных происшествий в 2019 году для отдельных регионов России. Санкт-Петербург занимает не последнее место в этой статистике. Причинами для ДТП могут служить различные факторы, в том числе неблагоприятные метеорологические условия на дорогах. Если обеспечить безопасное движение транспорта во время опасных и неблагоприятных условий, то удастся снизить количество ДТП. Для этого необходим автоматический мониторинг метеопараметров с высоким пространственно -временным масштабом. И тут возникает задача размещения метеодатчиков на КАД. Этим как раз и объясняется актуальность данной темы.

Цель работы:

- провести оптимизацию размещения метеодатчиков на кольцевой автодороге (КАД)

Для достижения поставленной цели были выполнены несколько последовательных задач:

- анализ метеорологических условий, влияющих на безопасность дорожного движения;
- исследование территории расположения АДМС на КАД;
- проведение контроля качества временных рядов;
- определение надежности станций;
- выполнение анализа данных с автоматических метеорологических станций статистическими методами;
- локализация участков КАД с наибольшей изменчивость;
- локализация потенциально опасных участков КАД при наступлении гололеда.



## 1 Кольцевая автомобильная дорога Санкт - Петербурга (КАД СПб)

### 1.1 Описание КАД города Санкт-Петербург

Кольцевая автомобильная дорога (КАД) – автомобильная трасса вокруг мегаполисов и других крупных населенных пунктов, главной целью создания которой является снижение нагрузки транзитного транспортного потока на центр города.

А-118 или КАД - Кольцевая автодорога Санкт-Петербурга – это автомобильная дорога для общего пользования федерального значения, которая проходит по территории Северной столицы и Ленинградской области. На КАД отсутствуют светофоры и допускается скорость передвижения до 120км/ч, что позволяет быстрее добраться от одного конца города до другого, несмотря на увеличение пути.

Пробок на КАД практически не бывает, и они возникают только в случае крупных аварий или при сложных и опасных погодных условиях.



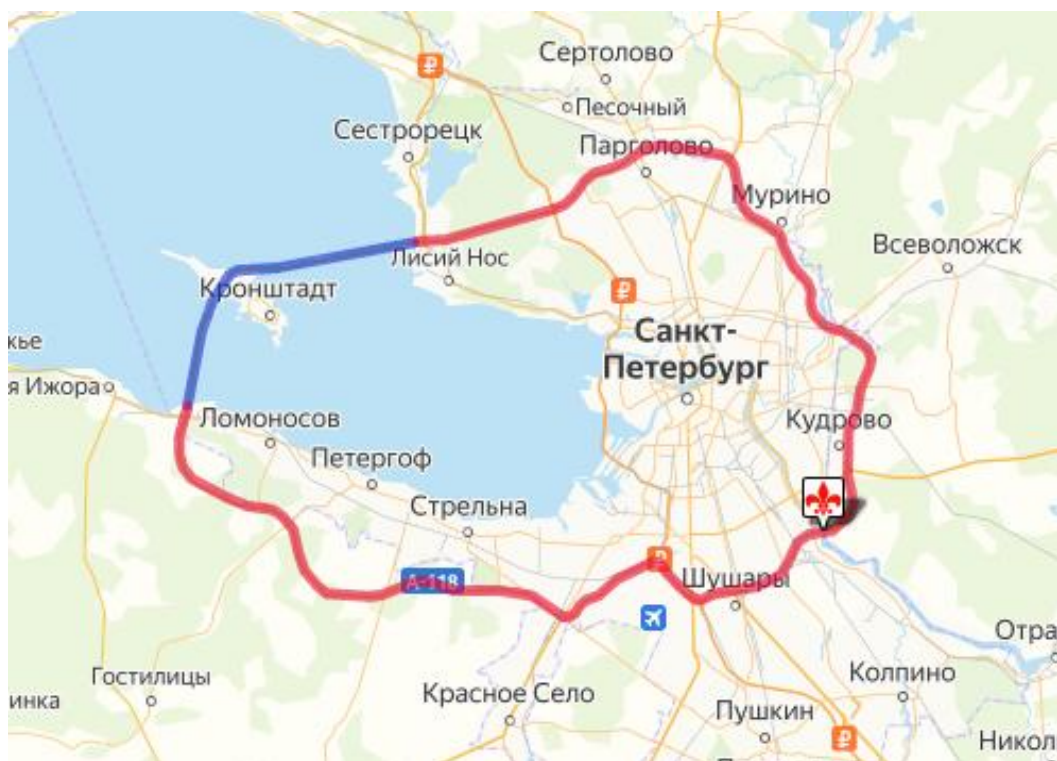


Рис.1.2.1. Кольцевая автомобильная дорога города Санкт -Петербург

На Рис. 1.2.1 представлена кольцевая автодорога города Санкт -Петербург. Красным цветом выделен наземный участок дороги, на котором установлены автоматические дорожные станции, далее в работе был изучен именно это участок КАД. Синим цветом обозначен участок дороги, проходящий по дамбе.

КАД СПб можно структурно разделить на две части:

- наземная (проходит по территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области);
- дамба (участок, проходящий по Комплексу защитных сооружений (КЗС) города от наводнений).

Суммарная протяжённость дороги составляет 142,15 км, наземная часть занимает 116,75 км и участок, проходящий по КЗС – 25,4 км, подземная часть (тоннель) занимает 2 километра.

Движение по КАД предоставляет автомобилистам некие преимущества:

- а) допустимая скорость передвижения по КАДу - 110 км/ч;
- б) движение с высокой скоростью и без остановок, так как отсутствуют светофоры, перекрестки и наземные переходы;
- в) благодаря большой ширине проезжей части (от 15 до 32 метров) автомагистраль имеет большую пропускную способность – порядка 200 тысяч авто в сутки;
- г) из-за больших радиусов поворотов, создается впечатление, что КАД – прямая дорога.



Рис.1.2.2. Развязка КАД и Выборгского шоссе.

На Рис. 1.2.2. представлен пример развязки на кольцевой автодороге. Развязка имеет множество съездов и крутых поворотов, что является местами повышенной опасности особенно при неблагоприятных погодных условиях.

Перечисленные выше преимущества позволяют автомобилистам быстрее добраться до определенных районов города в обход огромных пробок, образующихся в центре СПб, где дороги не рассчитаны на такое большое количество автотранспорта.

Однако, несмотря на многие плюсы кольцевая автодорога остается объектом повышенной опасности. Основное количество аварий и аварийных ситуаций происходит по причине превышения скоростного ограничения на КАД и из-за неблагоприятной метеорологической обстановки, например, дождь, снег, гололед и т.д.

## 1.2 Метеорологические факторы и их влияние на условия движения

Метеорологические факторы напрямую влияют на состояние дорожного покрытия, сцепление автомобиля с дорогой и на восприятие водителем обстановки, из чего как раз и формируются условия движения. Покрытие дороги при разных метеоусловиях описывается качественными и характеристиками.

В летний период времени условия движения благоприятные, так как в основном покрытие дорог сухое и чистое. В переходное время года – дорога влажная или мокрая. При выпадении дождя на поверхности образуется слой воды из-за чего значительно снижаются сцепные свойства при толщине пленки воды более 0,2 мм, что снижает составляющую силы трения. Коэффициент сцепления резко уменьшается в начальный период дождя, когда образуется густая смазка на поверхности. В тот момент, когда загрязнения с покрытия смываются дождем, коэффициент сцепления может немного увеличиться.

В зимний период времени состояние дорожного покрытия может быть, как чистым и сухим, так и заснеженным или покрытым коркой снега или гололеда, что влияет на скорость движения. Максимальная безопасная скорость передвижения по автомагистрали при гололедице 60 -70 км/ч, а при гололеде 30-40 км/ч.

Гололедом называют тонкий слой льда, который образуется на поверхностях во время выпадения осадков (дождь) и его замерзания. Появлению гололеда сопутствуют высокие значения влажности и температура воздуха, близкая к нулю, ветер. Образовавшаяся при этом толщина льда может достигать нескольких сантиметров. Лед может покрывать как вертикальные, так и горизонтальные поверхности. Обмерзанию особо подвержены участки, обдуваемые ветром – мосты и их опоры, эстакады.

Гололедица – лед или слой снега, укатанный до твердого состояния и образующий достаточно скользкую поверхность. Гололедица возникает там, где перед заморозками была вода, или там, где выпавший снег уплотняется вследствие движения транспорта или пешеходов. Появлению гололедицы способствуют выпавшие накануне осадки (дождь или снег) и отрицательная температура.

Черный лед – это влага, замерзшая на чистом черном дорожном покрытии при переходе температуры через ноль. Покрытие при этом выглядит влажным, чистым и неестественно черным. Водителю очень сложно определить дорога влажная или обледеневшая.



Рис.1.3.1. Пример черного льда на дороге.

Снежный накат – это слой снега, уплотненный колёсами постоянного потока транспорта при определенных метеоусловиях. Он может иметь толщину до нескольких сантиметров.

Классификация видов зимней скользкости. Таблица 1.3

| Вид зимней скользкости | Условия образования |                           |                                                     |                    |                                                               |
|------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------|
|                        | Температура воздуха | Температура покрытия      | Осадки, их вид                                      | Состояние покрытия | Дополнительные условия                                        |
| Гололедица             | Ниже 0°C            | Ниже 0°C                  | Любые, выпадающие при температуре воздуха выше -3°C | Мокрое             | Выпадение осадков предшествует образованию скользкости        |
|                        | Выше 0°C            | Ниже 0°C                  | Жидкие                                              | -                  | -                                                             |
|                        | От 0°C до -5°C      | Ниже 0°C                  | Мокрый снег                                         | -                  | Количество осадков, зафиксированное метеостанцией ( $Q=0$ мм) |
| "Черный лед"           | То же               | Ниже 0°C, ниже точки росы | Нет                                                 | Сухое              | -                                                             |
| Гололед                | Ниже 0°C            | Ниже 0°C                  | Переохлажденные жидкие (дождь, морось)              | Любое              | -                                                             |
| Снежный накат          | От 2°C до 0°C       | -                         | Твердые (снег, мокрый снег)                         | -                  | -                                                             |
|                        | От 0°C до -6°C      | -                         | То же                                               | -                  | Интенсивность снегопада не менее 0,6 мм/ч                     |
|                        | От -6°C до -10°C    | -                         | То же                                               | -                  | Относительная влажность воздуха не менее 90%                  |

В таблице 1.3 представлена классификация видов зимней скользкости и подробные условия её образования на дороге. Такое сочетание метеорологических факторов более вероятно на участках, расположенных вблизи водоемов или в горной местности, а также на мостах, путепроводах и эстакадах, которые имеют более низкую температуру покрытия при радиационном выхолаживании в ночное время, чем дорожное покрытие.

Движение по дорогам в период неблагоприятных метеоусловий значительно усложняется, что определяется некоторыми факторами:

- снижение качества сцепления автомобиля с покрытием;

- ухудшение ровности покрытия из-за тумана, высокой влажности воздуха, осадков, гололеда и так далее;

- снижение видимости во время туманов, осадков, метели, пурги, влияющих на способность управления транспортом;

- изменение внешнего вида проезжей части и обочин из-за образования полос наката и снежных отложений, что влияет на восприятие водителем дороги;

- ухудшение эксплуатационно-технических качеств автомобиля, обеспечивающих в первую очередь безопасность передвижения, например: тормоза, рулевое управление, устройства, обеспечивающие хороший обзор и видимость, а так же сигнальная система.

Данные о фактическом состоянии покрытия важны для определения безопасной скорости движения.

## 2. Автоматические дорожные станции (АДМС)

### 2.1 Метеорологическое обеспечение КАД

Метеорологическое обеспечение КАД – это комплекс организационных и технических мероприятий, которые направлены на поддержание дорожного полотна в должном и безопасном состоянии и обслуживание средств измерения метеопараметров для обеспечения безопасности автомобильной дороги и возможности проведения на ней ремонтных и других работ.

Для борьбы с неблагоприятными погодными явлениями, такими как: гололед, гололедица, черный лед, снегопад и метель, применяется автоматизированная система метеорологического обеспечения (АИИС «МетеоТрасса»), которая включает в себя 31 дорожную метеорологическую

станцию и 212 датчиков, передающих данные о состоянии дорожного покрытия. Это позволяет круглосуточно следить за ситуацией на дорогах и быстро принимать меры для обеспечения безопасного движения: ликвидация неблагоприятных явлений на дороге (противогололёдные мероприятия), предупреждения для водителей о состоянии дорожного покрытия и введение ограничения скорости.

Использование автоматических систем позволяет увеличить качество и частоту измерений, даже в труднодоступных районах. Поэтому использование таких систем становится все более актуальным.

Автоматические метеорологические станции предназначены для сбора данных и передачи их в центры сбора данных.

Метеорологическая информация, получаемая от АДМС обычно состоит из временных рядов метеовеличин. Для анализа временных рядов используется математический аппарат, который сочетает математические и статистические методы. Проводится обработка данных и дальнейшее прогнозирование.

Сейчас мы имеем достаточно большой объем метеоинформации, поступившей с АДМС, что позволяет проводить в полной мере их статистический анализ, для чего необходимы специальные статистические программы.

Основные задачи дорожного метеобеспечения:

- учет климатических условий региона и района пролегания трассы;
- сбор данных о метеорологических параметрах и о состоянии дорожного полотна;
- передача данных в службы организации дорожного движения;
- незамедлительное оповещение дорожных служб и водителей об опасных метеорологических явлениях. Информирование происходит



посредством предупреждений на информационных табло, ограничения скорости и передачи температуры воздуха и дорожного полотна.



Рис.2.1.1. Камеры видео наблюдения на КАД (датчики трафика)

Так же автоматическая станция может быть оборудована камерой видео наблюдения, что представлено на Рис. 2.1. Это позволяет дорожным службам в реальном времени следить за состоянием дорожного полотна и помогает при разборе причин ДТП.

## 2.2 Система АИИС «МетеоТрасса»

АИИС «МетеоТрасса» предназначена для измерения и сбора метеоинформации о состоянии атмосферы и дорожного покрытия, обработки полученной информации, передачи и распространения её по каналам связи в



службы содержания автодорог и автовладельцам для обеспечения безопасного движения по автотрассам и применения эффективных мер защиты дорожных покрытий в зимнее время года.

Получаемая информация от АДМС:

- метеопараметры
- данные о состоянии покрытия
- предупреждения об ОЯ (опасные явления)
- видеоинформация

Задачи АИИС «МетеоТрасса»:

- автоматический контроль за состоянием дорог
- предупреждения об опасных явлениях
- локальный прогноз скользкости
- информирование автовладельцев о состоянии дорог

Функции АИИС «МетеоТрасса»:

- измерение параметров и передача данных
- обработка, хранение и отображение данных, полученных с сети АДМС
- представление текущего состояния полотна на карте
- предупреждения об опасных явлениях
- прогноз состояния дорожного покрытия на 4 часа вперед с применением численных моделей
- SMSоповещение об ОЯ
- статистическая обработка информации

- рекомендации по содержанию автодорог в зимнее время на основе фактических и прогнозируемых данных
- отображение информации на веб-сайте



Рис.2.2.1. Схема АИИС «МетеоТрасса»

На Рис. 2.2.1. изображена схема АИИС «МетеоТрасса», где показана связь автоматических дорожных станций (АДМС) с системой (центральным устройством).

### 2.3 Функции и структура АДМС

АДМС – техническое устройство (Рис. 2.2.1.), которое передает необходимые сведения о метеорологических условиях и данные о состоянии дорожного полотна. Датчики, установленные на АДМС, дистанционно собирают данные и далее автоматическая станция преобразует их в цифровой код для передачи по кабельной линии связи в персональный компьютер для обработки, построения и отображения на дисплее оператора, а затем информация передается в центральную систему для дальнейшей работы.



Рис. 2.3.1. Внешний вид АДМС

Автоматические дорожные станции устанавливаются на температурно неоднородных участках, а также на таких сооружениях как: путепроводы, эстакады, мосты. Физические и температурные свойства этих участков значительно отличаются от остальной дороги. АДМС позволяют повысить безопасность на дорогах и снизить экономические последствия от опасных явлений погоды.

АДМС получает питание из разных источников. Станция в обязательном порядке комплектуется аккумулятором для того, чтобы в случае отключения электричества она продолжала работу без сбоев. Также АДМС может работать от солнечных батарей.

Связь и передача данных с АДМС осуществляется различными способами: через GSMсети сотовых операторов, интерфейсы RS-232, RS-485, модем, выделенные линии и GPRS. Если происходит потеря связи, то внутренняя база данных сохраняет всю полученную информацию.

Часто эти станции дополняют видеокамерой. Это дает возможность в реальном времени следить за состоянием дорожного полотна.

Метеопараметры, измеряемые на АДМС:

- температура воздуха;
- температура точки росы;
- относительная влажность воздуха;
- атмосферное давление;
- интенсивность и количество осадков;
- состояние дорожного полотна (сухое, влажное и т.д);
- температура дорожного полотна;
- температура грунта;
- толщина отложений;

Состав автоматической дорожной станции:

1. Метеорологическая мачта –трубчатая конструкция с основанием. Предназначена для крепления метеодатчиков и функционального шкафа. Устанавливается на опорах уже имеющихся на КАД или на отдельных мачтах, прикрепленных к земле.
2. Аппаратурный шкаф – защитный корпус, которых крепится на метеомачте. Предназначен для защиты расположенных внутри программируемых контроллеров для получения информации с датчиков, преобразователей питания, приборов связи и передач и данных.



Рисунок 2.3.2. Аппаратурный шкаф АДМС

3. Система подачи электроэнергии
4. Метеорологические датчики
5. Датчики измерения параметров дорожного полотна
6. Центральная система – персональный компьютер со специальным программным обеспечением. Предназначена для сбора, обработки и визуализации информации.
7. Модуль преобразования (измерительные преобразователи DM31/53).

Датчики для стандартных измерений на АДМС:

1. Механические датчики скорости и направления ветра WA15
2. Барометр РТВ110
3. Датчик влажности и температуры воздуха HMP155
4. Детектор дождя DRD11A
5. Датчики состояния дорожного полотна

АДМС могут быть дополнительно укомплектованы датчиками видимости и текущей погоды. Для получения данных экологического контроля состояния окружающей среды могут быть установлены датчики измерения экологических параметров, уровня загазованности и т.д.

## 2.4 Датчики измерения температуры на АДМС

2.4.1. Датчик НМР 155 (Рис. 2.4.1.) позволяет длительное время проводить измерения температуры и влажности. Прибор имеет сенсоры влажности и температуры и оснащен надежной тефлоновой защитой. Корпус прибора защищает датчики от пыли и влаги. У прибора есть система внутреннего подогрева, которая предотвращает появление конденсата при низкой температуре и высокой влажности, что обеспечивает надежную работу. Прибор оборудован платиновым сенсором температуры – Pt100 и сенсором точки росы - RS-485.



Рисунок 2.4.1. Измерители влажности и температуры НМР155

Технические характеристики HMP155 Таблица 2.4.

|                                                                                                                                                             |                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Диапазон измерения температуры воздуха, °C                                                                                                                  | от -69 до +60 ( $\pm 0,2$ )                                                                                             |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры воздуха, °C:<br>– при температурах от -69°C до 20°C;<br>– при температурах от 20°C до 60°C | для резистивного Pt100:<br>$\pm(0,1+0,00167 t)$<br>для RS485 выхода:<br>$\pm(0,176-0,0028 t)$<br>$\pm(0,07+0,0025 t)$ , |
| Диапазон измерения относительной влажности воздуха, %                                                                                                       | от 0,8 до 100                                                                                                           |
| Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений относительной влажности воздуха, %:<br>от 0,8% до 90%<br>от 90% до 100%                       | $\pm 1$<br>от $\pm 1,7$                                                                                                 |

В таблице 2.4. представлены пределы допускаемой абсолютной погрешности (температуры/влажности) при разных диапазонах температур воздуха и влажности. Можно сказать, что датчики имеют высокую точность измерений.

2.4.2. Датчики состояния поверхности и грунта дороги. Система датчиков DRS511.

DRS511 – система встраиваемых датчиков для контроля состояния поверхности дорожного покрытия. Монтируется в дорожное покрытие. Датчики объединены в сенсорный блок из эпоксидного состава.

Система датчиков DRS511(Рис. 2.4.2.) состоит из четырех чувствительных элементов, два из которых - Pt 100 для измерения температуры покрытия. В конструкции датчика применяются угольные волоконные электроды и оптоволокно, из которых сконструированы компоненты для детектирования льда, для определения проводимости и ионной поляризации.

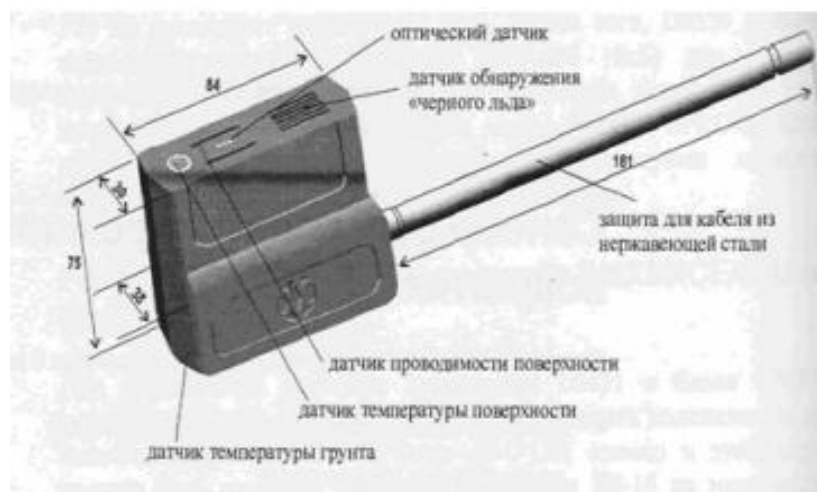


Рис. 2.4.2. Система датчиков DRS511.

При определении образования льда/снега на поверхности дороги температура играет важную роль. Также основываясь на данных температуры определяется будет ли налипать лед/снег на поверхность. Более того, проводится анализ температуры покрытия и точки росы и определяются условия формирования изморози. Датчик определяет состояние дорожного полотна градациями: сухо, влажно, лед, снег.

Уникальность этой системы состоит в том, что она способна определить количество реагента. Это позволяет проанализировать рациональность применяемых мер защиты от опасных явлений (гололед, гололедица, черный лед и изморозь).

## 2.5 Расположение АДМС на КАД

Из распоряжения Минтранса РФ от 09.10.2002 N ОС -859-р "Об утверждении "Методических рекомендаций по разработке проекта содержания автомобильных дорог" следует, что установка АДМС должна



производиться в "холодных" точках на дороге (участки, где раньше всего следует ожидать образования скользкости, снижения коэффициента сцепления) в периоды возможного возникновения гололёда (вблизи водоемов, мостов, эстакад, лесных массивов и т.п.). Автоматические дорожные метеостанции необходимо устанавливать в первую очередь на участках автодороги, определяющих её пропускную способность: мосты, тоннели, путепроводы, участки дороги с максимальной транспортной нагрузкой и с максимальным количеством ДТП. АДМС необходимо устанавливать в непосредственной близости к дороге с целью проведения наиболее точных измерений. Исходя из длины термически однородных участков определяется необходимая плотность установки АДМС. При отсутствии данных термокартирования и сложном рельефе автомобильной дороги плотность сети АДМС должна быть рассчитана как одна АДМС на участок протяженностью около 20 км. Автоматические дорожные метеорологические станции (АДМС) размещены на кольцевой автодороге Санкт-Петербурга с шагом в несколько километров, что связано в первую очередь с большим количеством искусственных сооружений.

### 3. Анализ данных станций о температуре

Для анализа температуры воздуха (T1) и температуры дорожного покрытия (TS) за осень (сентябрь, октябрь, ноябрь) 2015 года была проведена обработка архива метеорологических данных с тридцати одной АДМС.

Архив состоит из текстовых файлов с данными о метеопараметрах и о состоянии дорожного полотна. Фрагменты архива представлены на Рис. 3.1 и Рис. 3.2.

1a - Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

E0294856\_N595014

01-11-2015

|       | T1  | RH1 | TD1 | WS1 | WD1 | PR  | RI  | VI   | P      | SH  | RS | MST | NWS | FDS | BT   |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------|-----|----|-----|-----|-----|------|
| 00:00 | 5,6 | 90  | 4,1 | 2,6 | 240 | 0,0 | 0,1 | 2000 | 1020,5 | 0,0 | 1  | 0   | 2   | 0   | 27,1 |
| 00:05 | 5,6 | 90  | 4,2 | 2,6 | 240 | 0,0 | 0,1 | 2000 | 1020,6 | 0,0 | 1  | 0   | 2   | 0   | 28,3 |
| 00:10 | 5,6 | 91  | 4,2 | 2,6 | 237 | 0,0 | 0,1 | 2000 | 1020,4 | 0,0 | 1  | 0   | 2   | 0   | 28,3 |
| 00:15 | 5,7 | 91  | 4,3 | 2,4 | 239 | 0,0 | 0,1 | 2000 | 1020,3 | 0,0 | 1  | 0   | 2   | 0   | 27,9 |
| 00:20 | 5,7 | 91  | 4,4 | 2,4 | 237 | 0,0 | 0,2 | 2000 | 1020,3 | 0,0 | 1  | 0   | 2   | 0   | 28,0 |
| 00:25 | 5,8 | 92  | 4,5 | 2,6 | 241 | 0,0 | 0,2 | 2000 | 1020,2 | 0,0 | 1  | 0   | 2   | 0   | 27,6 |
| 00:30 | 5,8 | 92  | 4,6 | 2,6 | 244 | 0,1 | 0,3 | 2000 | 1020,1 | 0,0 | 1  | 0   | 2   | 0   | 28,0 |
| 00:35 | 5,8 | 92  | 4,6 | 2,6 | 244 | 0,1 | 0,2 | 2000 | 1020,1 | 0,0 | 1  | 0   | 2   | 0   | 27,6 |
| 00:40 | 5,8 | 92  | 4,7 | 2,7 | 243 | 0,1 | 0,2 | 2000 | 1020,0 | 0,0 | 1  | 0   | 2   | 0   | 27,8 |
| 00:45 | 5,8 | 93  | 4,7 | 2,6 | 240 | 0,1 | 0,3 | 2000 | 1020,0 | 0,0 | 1  | 0   | 2   | 0   | 28,5 |
| 00:50 | 5,8 | 93  | 4,7 | 2,5 | 250 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,9 | 0,0 | 1  | 0   | 3   | 0   | 28,6 |
| 00:55 | 5,9 | 93  | 4,8 | 2,5 | 250 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1020,0 | 0,0 | 1  | 0   | 3   | 0   | 28,4 |
| 01:00 | 5,9 | 93  | 4,9 | 2,7 | 243 | 0,1 | 0,3 | 2000 | 1019,9 | 0,0 | 1  | 0   | 2   | 0   | 28,6 |
| 01:05 | 6,0 | 93  | 4,9 | 2,9 | 244 | 0,1 | 0,2 | 2000 | 1019,7 | 0,0 | 1  | 0   | 2   | 0   | 28,6 |
| 01:10 | 6,0 | 93  | 5,0 | 3,3 | 246 | 0,1 | 0,2 | 2000 | 1019,7 | 0,0 | 1  | 0   | 2   | 0   | 27,7 |
| 01:15 | 6,0 | 93  | 5,0 | 3,6 | 247 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,5 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 28,0 |
| 01:20 | 6,1 | 93  | 5,0 | 3,4 | 241 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,5 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 28,3 |
| 01:25 | 6,1 | 93  | 5,0 | 3,5 | 241 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,4 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 27,9 |
| 01:30 | 6,1 | 93  | 5,1 | 3,6 | 244 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,2 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 28,0 |
| 01:35 | 6,2 | 93  | 5,2 | 3,3 | 243 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,1 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 28,0 |
| 01:40 | 6,3 | 93  | 5,2 | 3,2 | 243 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,1 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 28,0 |
| 01:45 | 6,3 | 93  | 5,2 | 3,0 | 240 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,1 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 28,0 |
| 01:50 | 6,4 | 93  | 5,3 | 3,0 | 240 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,1 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 27,9 |
| 01:55 | 6,4 | 93  | 5,3 | 3,5 | 244 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,1 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 28,3 |
| 02:00 | 6,5 | 93  | 5,4 | 3,6 | 244 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,0 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 28,3 |
| 02:05 | 6,5 | 93  | 5,4 | 3,2 | 244 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,0 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 28,5 |
| 02:15 | 6,6 | 92  | 5,5 | 3,3 | 253 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,0 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 28,7 |
| 02:20 | 6,6 | 92  | 5,4 | 3,6 | 251 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,0 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 28,6 |
| 02:25 | 6,6 | 92  | 5,4 | 3,4 | 250 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,0 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 28,5 |
| 02:30 | 6,6 | 92  | 5,4 | 3,4 | 247 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,0 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 28,6 |
| 02:35 | 6,6 | 92  | 5,5 | 3,5 | 244 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1019,0 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 27,8 |
| 02:40 | 6,6 | 92  | 5,4 | 3,5 | 243 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1018,9 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 27,9 |
| 02:45 | 6,6 | 92  | 5,4 | 3,4 | 246 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1018,8 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 28,2 |
| 02:50 | 6,6 | 92  | 5,4 | 3,1 | 246 | 0,1 | 0,0 | 2000 | 1018,9 | 0,0 | 0  | 0   | 0   | 0   | 28,7 |
| 02:55 | 6,5 | 93  | 5,4 | 3,0 | 243 | 0,2 | 0,2 | 2000 | 1018,8 | 0,0 | 1  | 0   | 2   | 0   | 28,6 |

Стр 49, столб 221 70% Windows (CRLF) UTF-8

Рис. 3.1. Текстовый файл с данными о метеоусловиях  
(станция 17Б 01.11.2015г).

1s - Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

E0294856\_N595014

01-11-2015

|       | TS  | TG  | TR    | TF   | GE | WT  | ST | IDS | CS  | SS  | BI    | TB  | CN  |
|-------|-----|-----|-------|------|----|-----|----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|
| 00:00 | 4,2 | 3,7 | -5,5  | -4,9 | 1  | 0,0 | 18 | 1   | 5,8 | 4,5 | 108,0 | 2,7 | 309 |
| 00:05 | 4,2 | 3,7 | -5,2  | -4,5 | 1  | 0,1 | 18 | 1   | 5,8 | 4,5 | 108,0 | 2,7 | 212 |
| 00:10 | 4,2 | 3,7 | -4,9  | -3,9 | 1  | 0,1 | 18 | 1   | 5,7 | 4,5 | 108,0 | 2,7 | 129 |
| 00:15 | 4,2 | 3,7 | -4,5  | -3,2 | 1  | 0,1 | 18 | 1   | 5,8 | 4,4 | 108,0 | 2,7 | 78  |
| 00:20 | 4,2 | 3,8 | -4,2  | -2,7 | 1  | 0,1 | 14 | 1   | 5,9 | 4,4 | 108,0 | 2,7 | 53  |
| 00:25 | 4,2 | 3,8 | -3,9  | -2,2 | 1  | 0,1 | 14 | 1   | 5,8 | 4,4 | 108,0 | 2,7 | 37  |
| 00:30 | 4,2 | 3,8 | -3,6  | -1,6 | 1  | 0,1 | 14 | 1   | 5,7 | 4,4 | 108,0 | 2,7 | 28  |
| 00:35 | 4,3 | 3,8 | -3,1  | -1,1 | 1  | 0,1 | 14 | 1   | 5,7 | 4,4 | 108,0 | 2,7 | 20  |
| 00:40 | 4,3 | 3,8 | -2,8  | -0,9 | 1  | 0,1 | 14 | 1   | 5,7 | 4,4 | 108,0 | 2,8 | 15  |
| 00:45 | 4,4 | 3,8 | -2,4  | -0,7 | 1  | 0,1 | 14 | 1   | 5,4 | 4,6 | 105,0 | 2,7 | 11  |
| 00:50 | 4,4 | 3,8 | -2,3  | -0,6 | 1  | 0,1 | 24 | 1   | 5,5 | 4,6 | 108,0 | 2,8 | 10  |
| 00:55 | 4,4 | 3,8 | -3,0  | -0,7 | 1  | 0,1 | 24 | 1   | 5,8 | 4,4 | 105,0 | 2,8 | 12  |
| 01:00 | 4,4 | 3,9 | -4,2  | -1,1 | 1  | 0,1 | 18 | 1   | 5,7 | 4,4 | 108,0 | 2,8 | 19  |
| 01:05 | 4,5 | 3,9 | -3,8  | -1,4 | 1  | 0,1 | 14 | 1   | 5,8 | 4,3 | 108,0 | 2,8 | 24  |
| 01:10 | 4,5 | 3,9 | -3,6  | -1,4 | 1  | 0,1 | 14 | 1   | 5,7 | 4,4 | 108,0 | 2,8 | 24  |
| 01:15 | 4,5 | 3,9 | -3,4  | -1,2 | 1  | 0,1 | 24 | 1   | 5,6 | 4,3 | 108,0 | 2,8 | 21  |
| 01:20 | 4,5 | 3,9 | -3,1  | -1,1 | 1  | 0,1 | 24 | 1   | 5,5 | 4,4 | 108,0 | 2,8 | 20  |
| 01:25 | 4,5 | 3,9 | -3,5  | -1,2 | 1  | 0,1 | 24 | 1   | 5,7 | 4,3 | 108,0 | 2,8 | 22  |
| 01:30 | 4,5 | 3,9 | -3,9  | -1,4 | 1  | 0,1 | 24 | 1   | 5,9 | 4,1 | 108,0 | 2,8 | 25  |
| 01:35 | 4,6 | 4,0 | -5,1  | -1,8 | 1  | 0,1 | 24 | 1   | 6,2 | 4,0 | 108,0 | 2,8 | 32  |
| 01:40 | 4,6 | 4,0 | -6,5  | -2,3 | 2  | 0,1 | 24 | 1   | 6,4 | 3,8 | 108,0 | 2,8 | 41  |
| 01:50 | 4,7 | 4,1 | -8,1  | -2,9 | 2  | 0,1 | 24 | 1   | 6,7 | 3,5 | 108,0 | 2,8 | 51  |
| 01:55 | 4,7 | 4,1 | -13,2 | -5,3 | 3  | 0,1 | 24 | 1   | 7,1 | 3,3 | 108,0 | 2,9 | 88  |
| 02:00 | 4,8 | 4,1 | -15,0 | -5,0 | 4  | 0,1 | 24 | 1   | 7,3 | 3,1 | 108,0 | 2,8 | 83  |
| 02:05 | 4,7 | 4,1 | -17,3 | -4,9 | 5  | 0,1 | 24 | 1   | 7,5 | 2,9 | 108,0 | 2,9 | 82  |
| 02:15 | 4,8 | 4,2 | -21,1 | -4,6 | 6  | 0,1 | 24 | 1   | 7,7 | 2,5 | 108,0 | 2,9 | 77  |
| 02:20 | 4,8 | 4,2 | -21,1 | -4,5 | 5  | 0,1 | 24 | 1   | 7,3 | 2,6 | 108,0 | 2,9 | 75  |
| 02:25 | 4,9 | 4,2 | -20,5 | -5,4 | 4  | 0,1 | 24 | 1   | 7,1 | 2,6 | 108,0 | 2,9 | 90  |
| 02:30 | 4,9 | 4,2 | -17,0 | -6,9 | 3  | 0,1 | 28 | 1   | 6,9 | 2,6 | 108,0 | 3,0 | 111 |
| 02:35 | 4,9 | 4,2 | -14,7 | -7,5 | 3  | 0,1 | 28 | 1   | 6,9 | 2,6 | 108,0 | 2,9 | 124 |
| 02:40 | 4,9 | 4,2 | -13,4 | -7,4 | 3  | 0,1 | 28 | 1   | 6,9 | 2,6 | 108,0 | 2,9 | 128 |
| 02:45 | 4,9 | 4,3 | -13,2 | -7,5 | 3  | 0,1 | 28 | 1   | 7,0 | 2,5 | 108,0 | 3,0 | 131 |

Стр 1, столб 1 80% Windows (CRLF) UTF-8

Рис. 3.2. Текстовый файл с данными о состоянии дорожного полотна  
(станция 17Б 01.11.2015г).

В первом левом столбце текстовых файлов (Рис. 3.1 и 3.2) записано время измерения, далее столбцы с метеорологическими параметрами. Также указана дата проведения измерений и координаты АДМС на КАД. Дискретность данных составляет 5 минут.

### 3.1 Контроль качества входных данных измерений

Для проведения контроля качества временных рядов была проделана следующая работа: исследование ряда и обнаружение временных разрывов, «выбросов» и отсутствия данных. На Рис. 3.1.1 показан пример пропуска данных на станции 19Б.

Подобные временные разрывы (пропуски) были обнаружены на всех станциях. Время отсутствия измерений в среднем колеблется от 5 минут до часа. Такие небольшие пропуски можно списать на кратковременные сбои и неполадки на станции.

|       |     |    |      |   |       |     |     |      |      |   |
|-------|-----|----|------|---|-------|-----|-----|------|------|---|
| 13:15 | 6,2 | 60 | -1,0 | 1 | 13:15 | 7,3 | 6,1 | -1,0 | -1,0 | 1 |
| 13:20 | 6,1 | 59 | -1,3 | 1 | 13:20 | 7,3 | 6,1 | -1,0 | -1,0 | 1 |
| 13:25 | 6,2 | 55 | -2,2 | 1 | 13:25 | 7,4 | 6,2 | -1,0 | -1,0 | 1 |
| 13:30 | 6,5 | 57 | -1,3 | € | 13:30 | 7,4 | 6,2 | -1,0 | -1,0 | 1 |
| 13:35 | 6,4 | 57 | -1,5 | € | 13:35 | 7,5 | 6,3 | -1,0 | -1,0 | 1 |
| 13:40 | 6,2 | 58 | -1,5 | 1 | 13:40 | 7,5 | 6,3 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 13:45 | 6,2 | 57 | -1,7 | 1 | 13:45 | 7,6 | 6,4 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 13:50 | 6,4 | 57 | -1,5 | € | 13:50 | 7,7 | 6,4 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 13:55 | 6,5 | 53 | -2,3 | € | 13:55 | 7,8 | 6,4 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 14:00 | 6,5 | 55 | -1,9 | € | 14:00 | 7,8 | 6,5 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 14:05 | 6,4 | 53 | -2,4 | € | 14:05 | 7,9 | 6,5 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 14:10 | 6,4 | 55 | -2,0 | € | 14:10 | 7,9 | 6,6 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 14:15 | 6,3 | 54 | -2,3 | € | 14:15 | 7,8 | 6,6 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 14:20 | 6,6 | 53 | -2,3 | € | 14:20 | 7,7 | 6,6 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 14:25 | 6,3 | 54 | -2,3 | € | 14:25 | 7,6 | 6,6 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 14:30 | 6,3 | 54 | -2,3 | € | 14:30 | 7,6 | 6,7 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 14:40 | 6,4 | 54 | -2,3 | € | 14:40 | 7,5 | 6,7 | -0,9 | -0,9 | 1 |
|       |     |    |      |   | 14:45 | 7,4 | 6,7 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 15:00 | 6,5 | 56 | -1,7 | € | 15:00 | 7,2 | 6,7 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 15:05 | 6,6 | 54 | -2,0 | € | 15:05 | 7,0 | 6,7 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 15:15 | 6,5 | 53 | -2,4 | € | 15:15 | 6,8 | 6,6 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 15:20 | 6,5 | 53 | -2,4 | € | 15:20 | 6,7 | 6,6 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 15:25 | 6,6 | 52 | -2,6 | € | 15:25 | 6,6 | 6,6 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 15:30 | 6,4 | 53 | -2,5 | € | 15:30 | 6,4 | 6,6 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 15:35 | 6,1 | 53 | -2,7 | € | 15:35 | 6,2 | 6,5 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 15:40 | 5,9 | 54 | -2,6 | € | 15:40 | 6,1 | 6,5 | -0,9 | -0,9 | 1 |
| 15:45 | 6,1 | 54 | -2,5 | € | 15:45 | 6,0 | 6,4 | -0,9 | -0,9 | 1 |

Рис. 3.1.1. Временной разрыв на станции 19Б за 05.11.2015г.

На Рис. 3.1.2. представлен фрагмент рядов данных, поступающих от датчика состояния дорожного полотна. Датчик передает информацию только о температуре покрытия дороги (TS), а об остальных параметрах данные отсутствуют. За тот же период на данной метеорологические датчики исправно работают. Это можно объяснить сбоем и неполадками в работе датчика состояния дорожного полотна.

|                  |      |         |         |         |
|------------------|------|---------|---------|---------|
| E0295939_N600220 |      |         |         |         |
| 01-09-2015       | TS   | TG      | TR      | TF      |
| 00:00            | 15.6 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:05            | 15.3 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:10            | 15.3 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:15            | 15.3 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:20            | 14.8 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:25            | 14.7 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:30            | 14.5 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:35            | 12.8 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:40            | 11.5 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:45            | 11.3 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:50            | 11.3 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:55            | 14.1 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 01:00            | 14.9 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 01:05            | 15.2 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 01:10            | 15.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 01:15            | 15.1 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 01:20            | 14.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 01:25            | 13.8 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 01:30            | 15.3 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| -- --            | --   | --      | --      | --      |

Рис. 3.1.2. Фрагмент временного ряда со станции 20Б за 01.09.2015 г.

На Рис. 3.1.3. представлен фрагмент рядов данных, поступающих от датчика состояния дорожного полотна со станции 22 А. В данном текстовом файле отсутствуют какие-либо данные.

|                  |         |         |         |         |
|------------------|---------|---------|---------|---------|
| E0300722_N600321 |         |         |         |         |
| 11-09-2015       | TS      | TG      | TR      | TF      |
| 00:00            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:05            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:10            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:15            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:20            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:25            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:30            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:35            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:40            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:45            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:50            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 00:55            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 01:00            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 01:05            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 01:10            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 01:15            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 01:20            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 01:25            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |
| 01:30            | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 | 99999.0 |

Рис. 3.1.3. Фрагмент временного ряда со станции 22 А за 11.09.2015 г.

На Рис. 3.1.4. представлен фрагмент рядов данных, поступающих от датчика состояния дорожного полотна со станции 22 А. В данном текстовом файле информацию о температуре покрытия (TS) можно считать ошибочной, т.к. температура покрытия физически не может иметь такой разброс значений за короткий промежуток времени от 58°C до -46°C за 10 минут.

|                  |       |         |     |     |
|------------------|-------|---------|-----|-----|
| E0300722_N600321 |       |         |     |     |
| 17-09-2015       | TS    | TG      | TR  | TF  |
| 00:00            | 21.4  | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 00:05            | 48.1  | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 00:10            | 14.7  | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 00:15            | -19.6 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 00:20            | 19.2  | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 00:25            | -43.8 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 00:30            | 23.5  | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 00:35            | -26.1 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 00:40            | -15.9 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 00:45            | 58.1  | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 00:50            | 2.5   | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 00:55            | -24.0 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 01:00            | -46.3 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 01:05            | -22.7 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 01:10            | -48.2 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 01:15            | -51.5 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 01:20            | -34.9 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 01:25            | -51.0 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 01:30            | -73.8 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 01:35            | -85.9 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 01:40            | -72.2 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 01:45            | -66.2 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 01:50            | -12.1 | 99999.0 | 0.0 | 0.0 |
| 01:55            | -31.9 | 56.7    | 0.0 | 0.0 |
| 02:00            | 0.0   | 57.8    | 0.0 | 0.0 |

Рис. 3.1.4. Фрагмент временного ряда со станции 22 А за 17.09.2015 г.

В течение сентября с автоматической станции 22 А регулярно и исправно поступала информация только о метеопараметрах. Встроенный датчик дорожного покрытия давал явные отказы в виде отсутствия данных (Рис. 3.1.3.) и неявные – большой контраст температур за короткий промежуток времени (Рис. 3.1.4.).

### 3.1.1 Оценка надежности работы датчиков

В данном разделе работы мной была проведена оценка надежности работы датчиков. Проведена работа с архивом данных всех станций КАДа, проанализированы временные ряды температуры дорожного покрытия и рассчитано среднее квадратическое отклонение (СКО). Среднее квадратическое отклонение (S) – это статистическая характеристика распределения случайной величины относительно математического ожидания (среднее значение случайной величины ( $\bar{x}$ ), в нашем случае TS), измеряется в единицах самой случайной величины. Большое значение среднеквадратического отклонения показывает сильный разброс наблюдаемых значений от среднего. На практике эта характеристика применяется в различных сферах и позволяет оценить разброс значений от среднего. Расчет стандартного отклонения проводится с применением формул (1), (2), где  $\bar{x}$  – среднее арифметическое выборки,  $n$  – объем выборки,  $x_i$  –  $i$ -й элемент выборки.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + \dots + x_n), \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (2)$$

Рассчитанные значения СКО за период сентябрь-ноябрь 2015 г. занесены в таблицу (таблица 3.1.1.1.). В общем среднеквадратическое

отклонение находятся в пределах 6-8°C. На станции 22А (9-й километр внутреннего кольца КАД) среднее квадратическое отклонение максимальное  $S=16,2^{\circ}\text{C}$ . В предыдущем разделе было выявлено, что данная станция за весь сентябрь не передавала данные с датчиков дорожного полотна, а до середины октября значения измеренных параметров были недостоверными, датчик постоянно давал сбои. Также возможно влияние неблагоприятных условий окружающей среды, где находится станция (Рис. 3.1.1.1. а)). АДМС 22А расположена на участке дороги вблизи крупной развязки КАД и ЗСД (западный скоростной диаметр), автомобильного завода HyundaiMotor, дорога с обеих сторон окружена участками леса. На станции 27А отклонение минимальное и составляет  $5,1^{\circ}\text{C}$ . Из этого следует, что множество значений параметра TS сгруппированы вокруг среднего. Я думаю, это связано с расположением станции (Рис.3.1.1.1. б)): ровный участок КАД (30-й километр внутреннего кольца КАД) вдали от крупных развязок, эстакад, водоемов и крупных участков леса.

Таблица СКО на всех станциях КАД. Таблица 3.1.1.1.

| № станции | TS, °C | № станции | TS, °C | № станции | TS, °C |
|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| 1         | 6,5    | 12        | 6,8    | 23        | 6,5    |
| 2         | 6,6    | 13        | 6,8    | 24        | 6,1    |
| 3         | 6,3    | 14        | 6,7    | 25        | 6,4    |
| 4         | 6,7    | 15        | 6,5    | 26        | 6,7    |
| 5         | 6,9    | 16        | 6,8    | 27        | 5,1    |
| 6         | 6,6    | 17        | 6,9    | 28        | 6,5    |
| 7         | 6,9    | 18        | 6,5    | 29        | 6,2    |
| 8         | 6,8    | 19        | 6,9    | 30        | 6,5    |
| 9         | 6,6    | 20        | 5,9    | 31        | 6,5    |
| 10        | 7,1    | 21        | 6      |           |        |
| 11        | 6,8    | 22        | 16,2   |           |        |

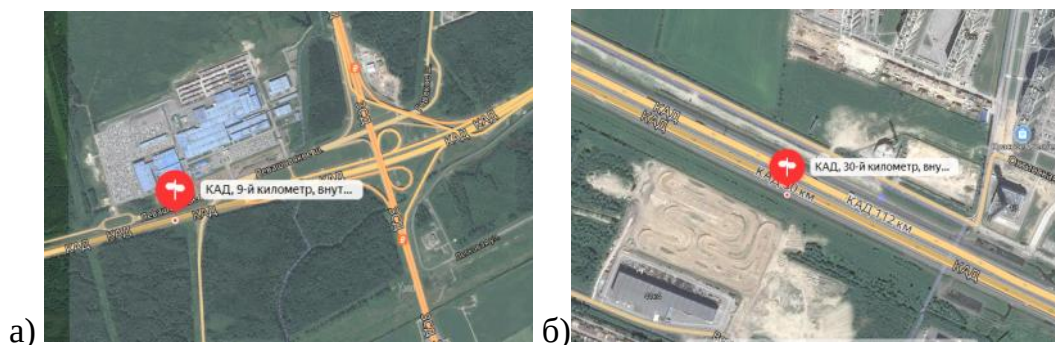


Рис. 3.1.1.1. Снимок со спутника. а) Расположение станции 22А.б) Расположение станции 27А

Следовательно, на основе проведенного анализа можно расценивать АДМС 22А как ненадёжную.

Также для проведения оценки работы датчиков также был проведен анализ данных с применением диаграммы распределения, полученных с 31 станции КАД за 2 осенних месяца (октябрь и ноябрь).

На Рис. 3.1.1.2. представлена диаграмма количества измерений на всех станциях КАД. Исходя из описания работы станций известно, что дискретность измерений составляет 5 минут и проводятся они круглосуточно. Следовательно, можно заключить, что при идеальной и бесперебойной работе станций количество измерений за 2 месяца должно составлять 17568. На диаграмме видно, что ни одна станция не работает идеально.



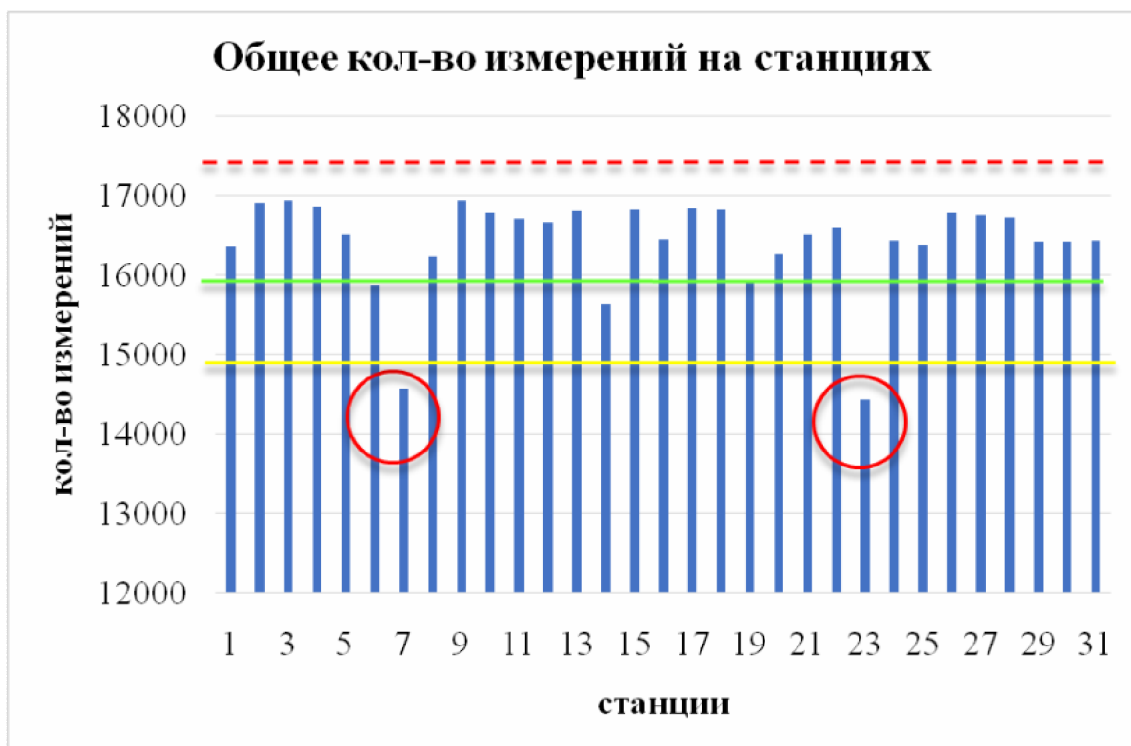


Рис.3.1.1.2. Статистическая диаграмма количества измерений на станциях КАД.

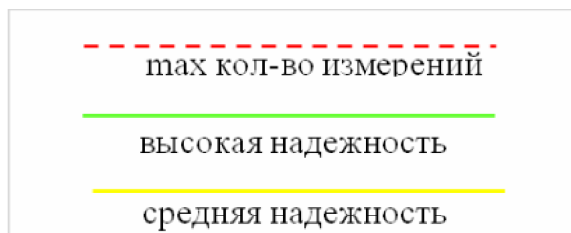


Рис.3.1.1.3. Легенда к статистической диаграмме (рис. 3.1.1.1.).

По количеству измерений станции были разделены на три условные градации:

- Надежные—большое кол-во измерений
- Средние – среднее кол-во измерений
- Ненадежные- малое кол-во измерений

Для визуализации обработанной информации, на карте кольцевая автодорога была разделена на участки (Рис. 3.1.1.4.), которые закрашены

определенным цветом, характеризующим градацию. Две станции, одна из которых расположена на севере КАД (7А), а другая - на юге (23Б), отмечены на карте красным цветом, попали в градацию ненадежных станций, то есть количество измерений ниже среднего. Это говорит о том, что на данных станциях сбои и отказы происходят чаще всего. Четыре станции: 6А, 14А, 19А, 20Б, выделенные желтым цветом, попали в градацию средней надежности, следовательно, перебои в работе данных АДМС происходят немного чаще, чем на остальных (надежных) станциях.

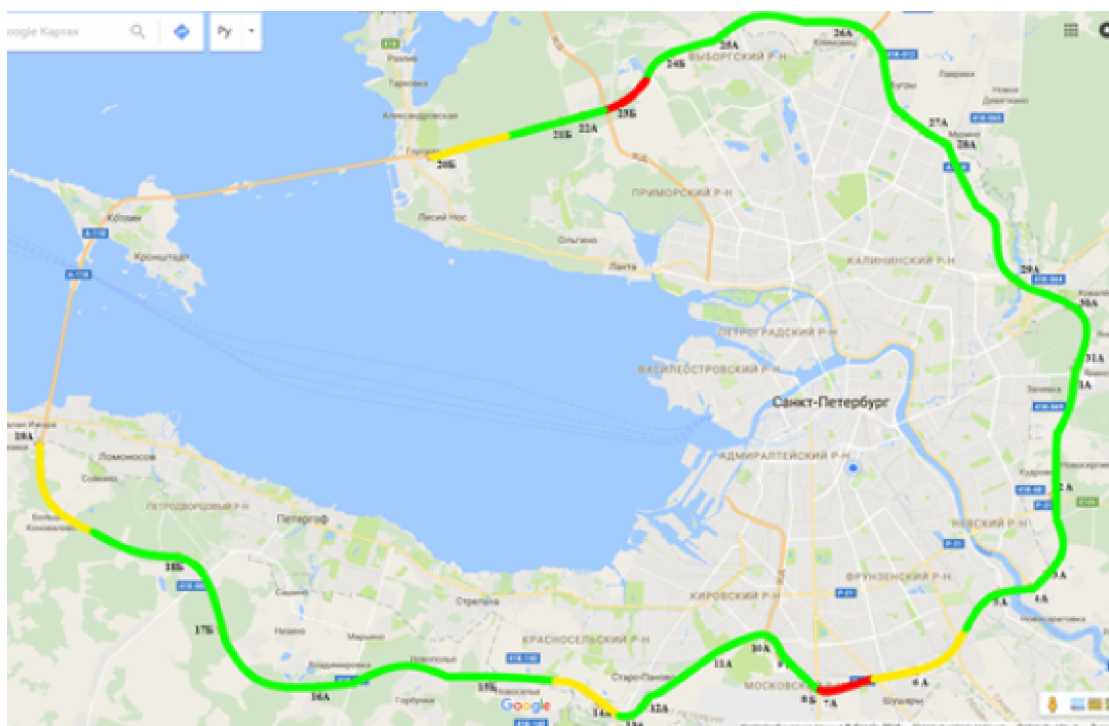


Рис. 3.1.1.4. Визуализация надежности станций на КАД СПб.

Выполнен анализ самых ненадежных станций и местности, где они расположены. АДМС 23Б установлена на 131-ом километре внешнего кольца КАД рядом с развязкой КАД, ЗСД (западный скоростной диаметр), Левашовского и Горского шоссе. Вблизи станции находится водоём и участки леса с обеих сторон от дороги (Рис. 3.1.1.5.).

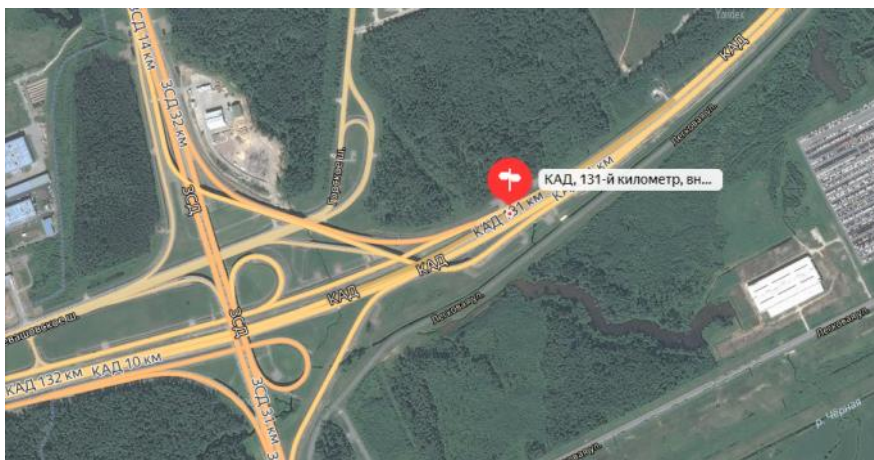


Рис. 3.1.1.5 Снимок со спутника. Расположение станции 23Б на КАД.



Рис. 3.1.1.6. Внешний вид АДМС 23Б на КАД СПб.

АДМС 7А расположена на 68-ом километре внутреннего кольца КАД рядом с развязкой КАД, Пулковского шоссе и трассы М -11. Вблизи станции находятся отдельные участки леса и две реки: Пулковка и Волковка ( Рис. 3.1.1.7.).

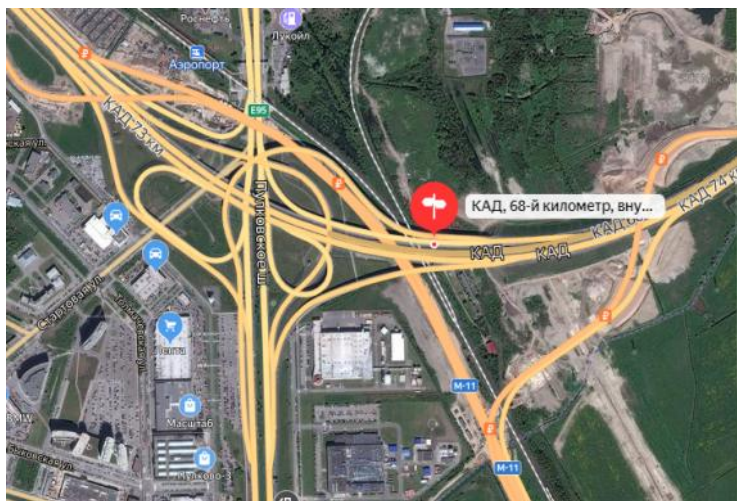


Рис. 3.1.1.7. Снимок со спутника. Расположение станции 7А на КАД.



Рис. 3.1.1.8. Внешний вид АДМС 7А на КАД СПб.

На основе обработанной информации можно сделать вывод, что большая часть станций (26 из 31) предоставляет достаточное количество данных, то есть работает практически без сбоев. Наиболее небезопасными и сбойными являются станции 7А и 23Б, так как измерений на них значительно меньше, чем на других станциях, это объясняется неблагоприятным расположением станций.

### 3.2 Суточная динамика температуры на станциях

Для проведения анализа суточного хода температур воздуха, дорожного покрытия и грунта, определения моментов перехода температуры через ноль (благоприятное условие для образования опасных явлений на дороге) были выбраны временные ряды данных со станций 18Б и 19Б, 27А и 28Б.

В качестве примера выбраны пары станций, наиболее удаленных друг от друга (18Б и 19Б) и наиболее близко расположенных друг к другу (27А и 28Б). Расстояние между станциями 18-19Б составляет 9,7 километров (Рис. 3.2.1.), а между 27-28А – 1,2 километра (Рис. 3.2.2.).

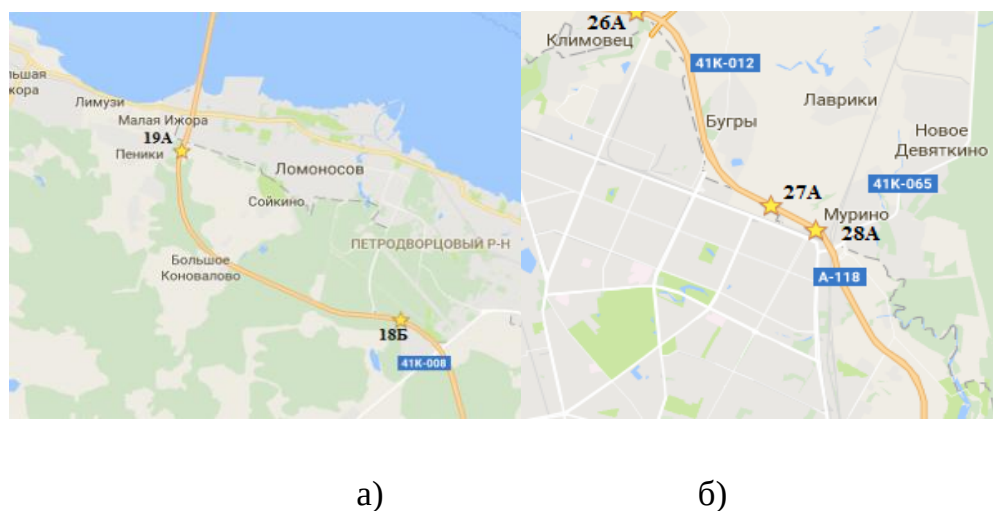


Рис. 3.2.1. а) Расположение станций 18Б и 19Б на участке КАД; б) Расположение станций 27А и 28А на участке КАД.

Визуализация временных рядов на станциях 18-19Б позволяет провести оценку изменчивости температурных параметров (Рис. 3.2.2. а) б)). Суточный ход всех анализируемых параметров ярко выражен и наблюдается на обеих станциях. Можно заметить, что в общем амплитуда температур на станции 18Б больше. В течение всего месяца наблюдаются неоднократные понижения температур до отрицательных значений. Также на обеих станциях видно небольшое превышение амплитуды суточного хода температуры покрытия TS над амплитудой температуры грунта TG. В дневное время суток



поверхность дороги прогревается быстрее, что обусловлено инсоляцией и большим потоком транспорта. А ночью происходит радиационное выхолаживание и поверхность остывает быстрее грунта.

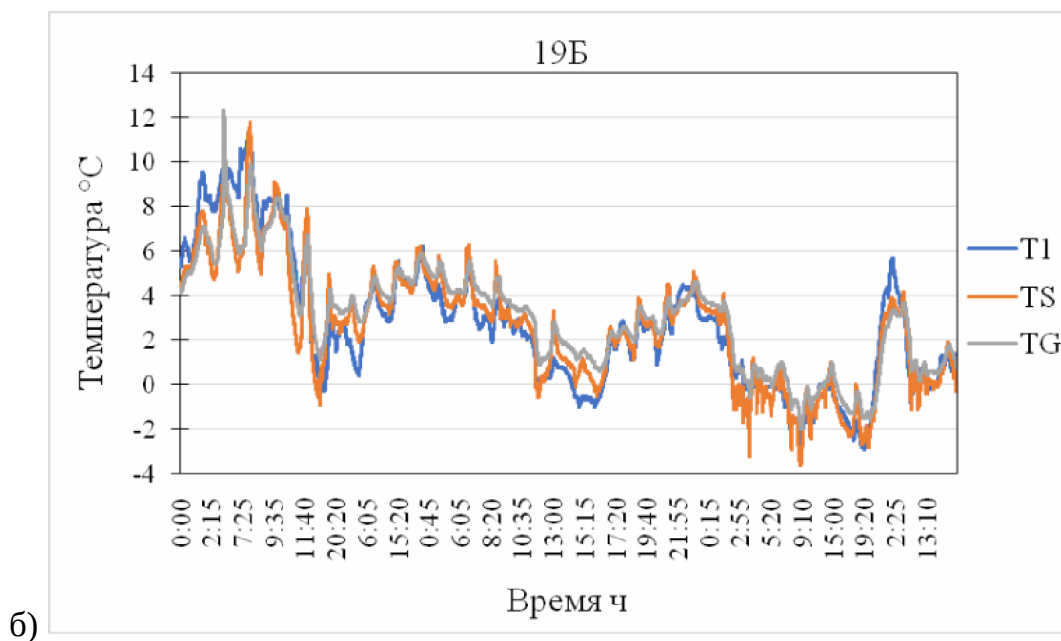
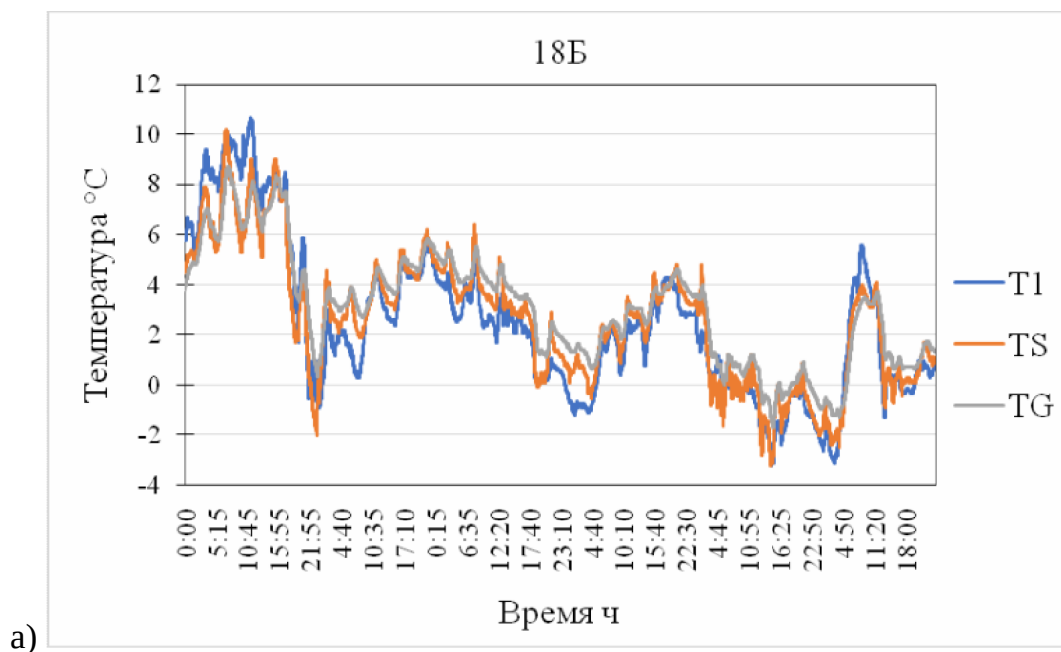
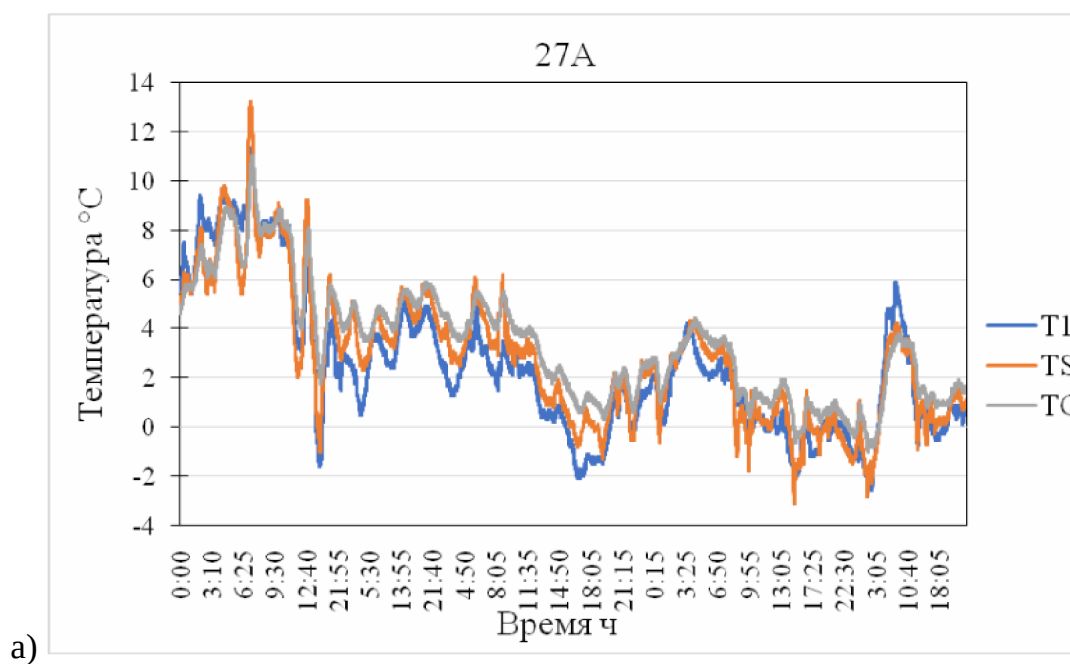


Рис. 3.2.2. Ход температурных параметров в ноябре на станциях, а) 18Б  
б) 19Б

Суточный ход анализируемых температурных параметров ярко выражен и наблюдается на обеих станциях 27-28А (Рис. 3.2.3. а) б)). Амплитуда температур на станции 27А также больше, чем на 28А. В течение всего месяца, особенно с середины, наблюдаются неоднократные понижения температур до отрицательных значений. Также на обеих станциях видно небольшое превышение амплитуды суточного хода температуры покрытия TS над амплитудой температуры грунта TG.



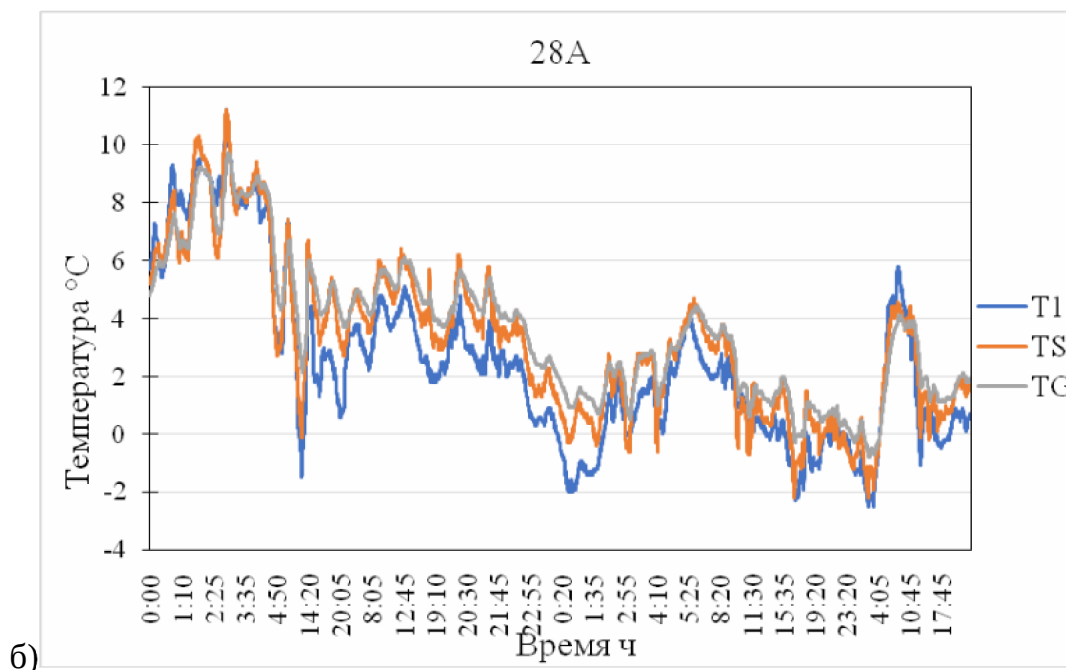


Рис. 3.2.3. Ход температурных параметров в ноябре на станциях, а) 27А  
б) 28А

Визуальная оценка временных рядов на рассмотренных четырех станциях показывает, что ход температурных параметров имеет очень схожий вид. Различия температур в одни и те же сроки не превышает нескольких градусов.

### 3.3 Сравнительный анализ температуры грунта, воздуха и дорожного полотна

В данном исследовании были обработаны и синхронизированы временные ряды температурных параметров T1, TS и TG для всех станций за ноябрь и более подробно изучены параметры T1 и TS за пятое ноября для пар станций (18-19Б и 27-28А), рассмотрены моменты перехода температур через ноль. Между этими рядами данных наблюдается вероятностная (корреляционная) связь – изменение одной величины приводит к изменению



другой. Коэффициент корреляции (1) характеризует силу связи между параметрами и принимает значения от -1 до 1.

Пусть  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  - выборка из  $n$  наблюдений пары переменных  $(X, Y)$ , тогда формула коэффициента корреляции (г):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})(Y_j - Y_{cp})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})^2 \sum_{j=1}^n (Y_j - Y_{cp})^2}} \quad (1)$$

где  $X_{cp}, Y_{cp}$  - выборочные средние (2) и (3), определяющиеся следующим образом:

$$X_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2)$$

$$Y_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_j \quad (3)$$

Коэффициент корреляции рассчитан по формулам (1), (2), (3) для температурных параметров T1, TS и TG на всех АДМС и представлен на Рис. 3.3.1. Все значения коэффициента  $r$  близки к единице ( $r > 0,91$ ), значит корреляционная связь между параметрами очень сильная.

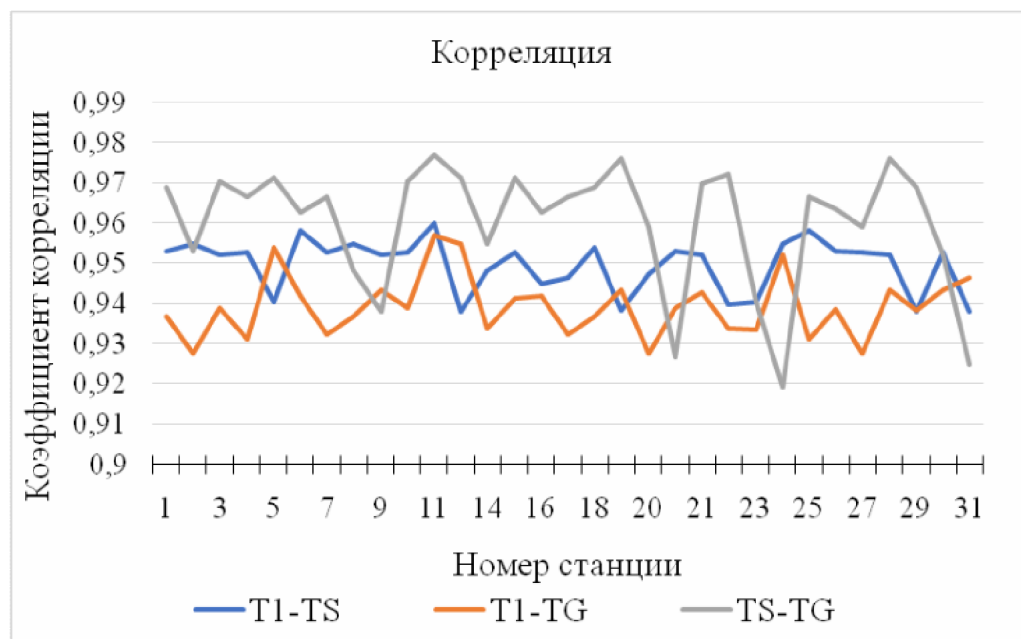


Рис. 3.3.1. График корреляции между температурными параметрами на 31 станции КАД.

Между температурами воздуха, дороги и грунта прослеживается положительная очень сильная, близкая к единице связь. Исходя из графика (Рис. 3.3.1.) наибольшая сила связи между TS и TG, это можно объяснить тем, что на температуру грунта напрямую влияет только температура поверхности и наоборот, т.к. эти слои дороги находятся в непосредственном контакте. Сила связи между T1 и TS немного меньше, так как на температуру покрытия влияет не только температура воздуха, но и состояние дорожного полотна (сухое, влажное и т.д.) и потока транспорта. Можно сделать вывод, что сильная положительная связь говорит о взаимном изменении всех параметров.

Далее был проведен анализ температурных параметров T1 и TS на станциях 18-19Б и 27-28А за пятое ноября 2015 г. Также были определены моменты перехода температуры через ноль, что является благоприятным условием для появления на поверхности дорожного полотна таких явлений как гололед, чёрный лед и т.д.

Ход температур на станциях 18-19Б имеет схожий вид. На графиках (Рис. 3.3.2. а) б)) видно, что температура дорожного полотна TS снижается быстрее температуры воздуха T1. Первый переход температуры воздуха через ноль на станции 18Б произошел примерно на час позже температуры покрытия, а на станции 19Б позже на четыре с половиной часа. Это обусловлено ночным радиационным выхолаживанием поверхности дороги и инерционными свойствами температуры воздуха.

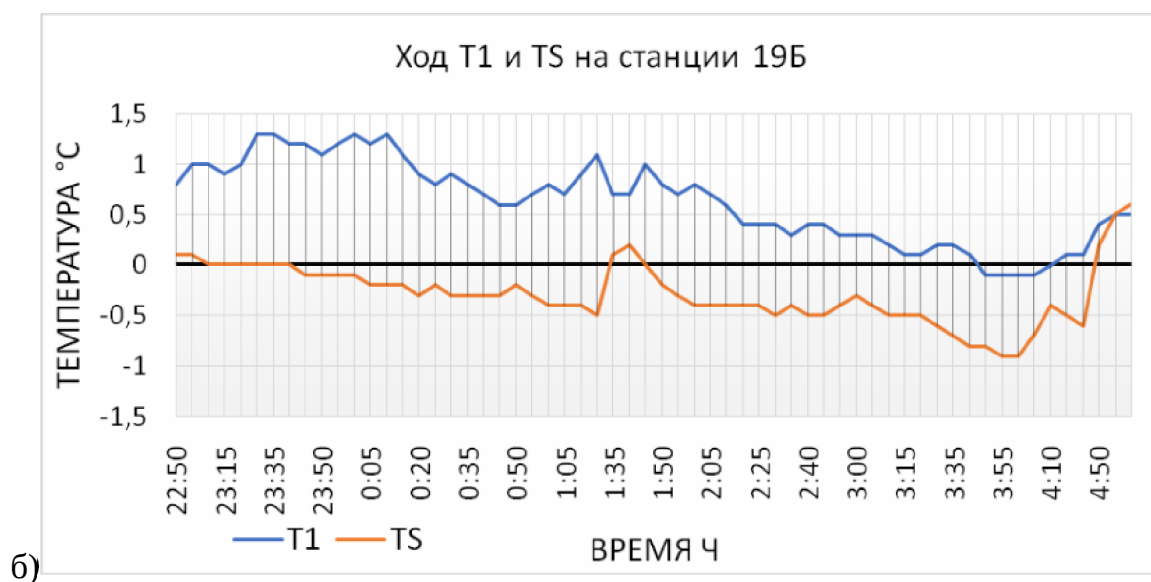
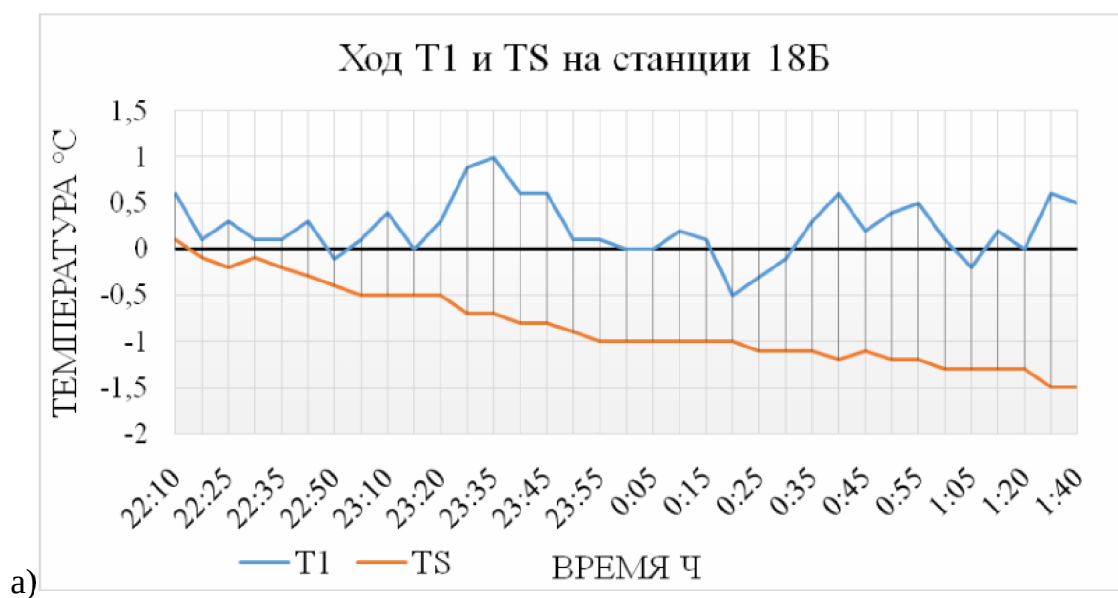
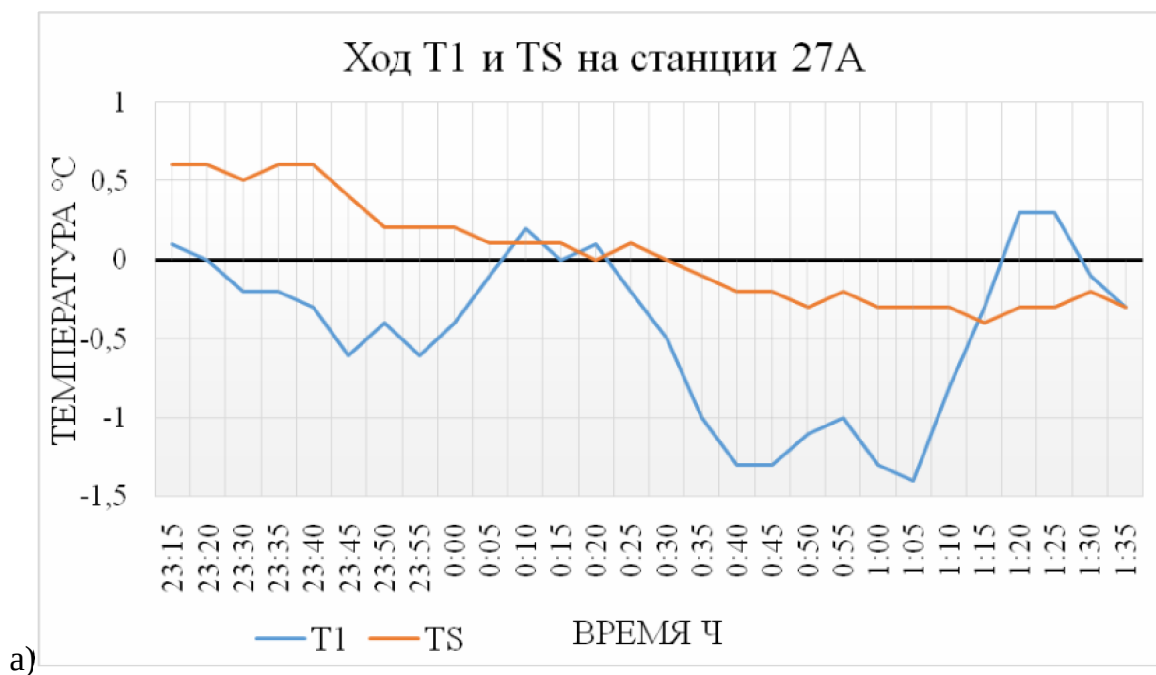


Рис. 3.3.2. Ход температур на станциях, а) 18Б б)19Б с 5 -го на 6-ое ноября.

Ход температур на станциях 27-28А имеет схожий вид. На графиках (Рис. 3.3.3. а) б)) видно, что температура дорожного полотна в среднем была выше температуры воздуха. Первый переход температуры дорожного полотна на станции 27А произошел с задержкой примерно в час, а на станции 28А – два часа. На такое распределение параметров могут влиять различные условия. Температура покрытия могла повыситься из -за большого потока автотранспорта и влияния антропогенных факторов, так как этот участок КАД расположен вблизи новых строящихся крупных микрорайонов.



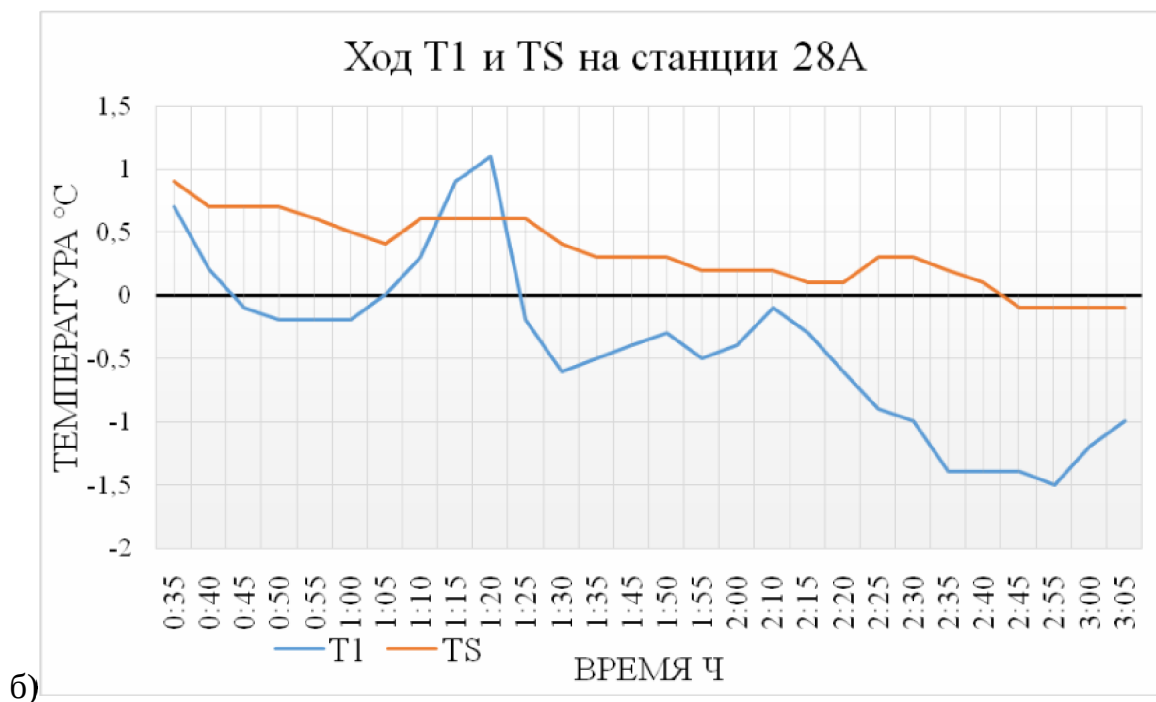


Рис. 3.3.3. Ход температур на станциях, а) 27А б) 28А с 5-го на 6-ое ноября.

На основе обработанных временных рядов данных в своей работе я визуализировала ход температуры покрытия на участках станций 18-19Б и 27-28А (Рис. 3.3.4. а) б)).

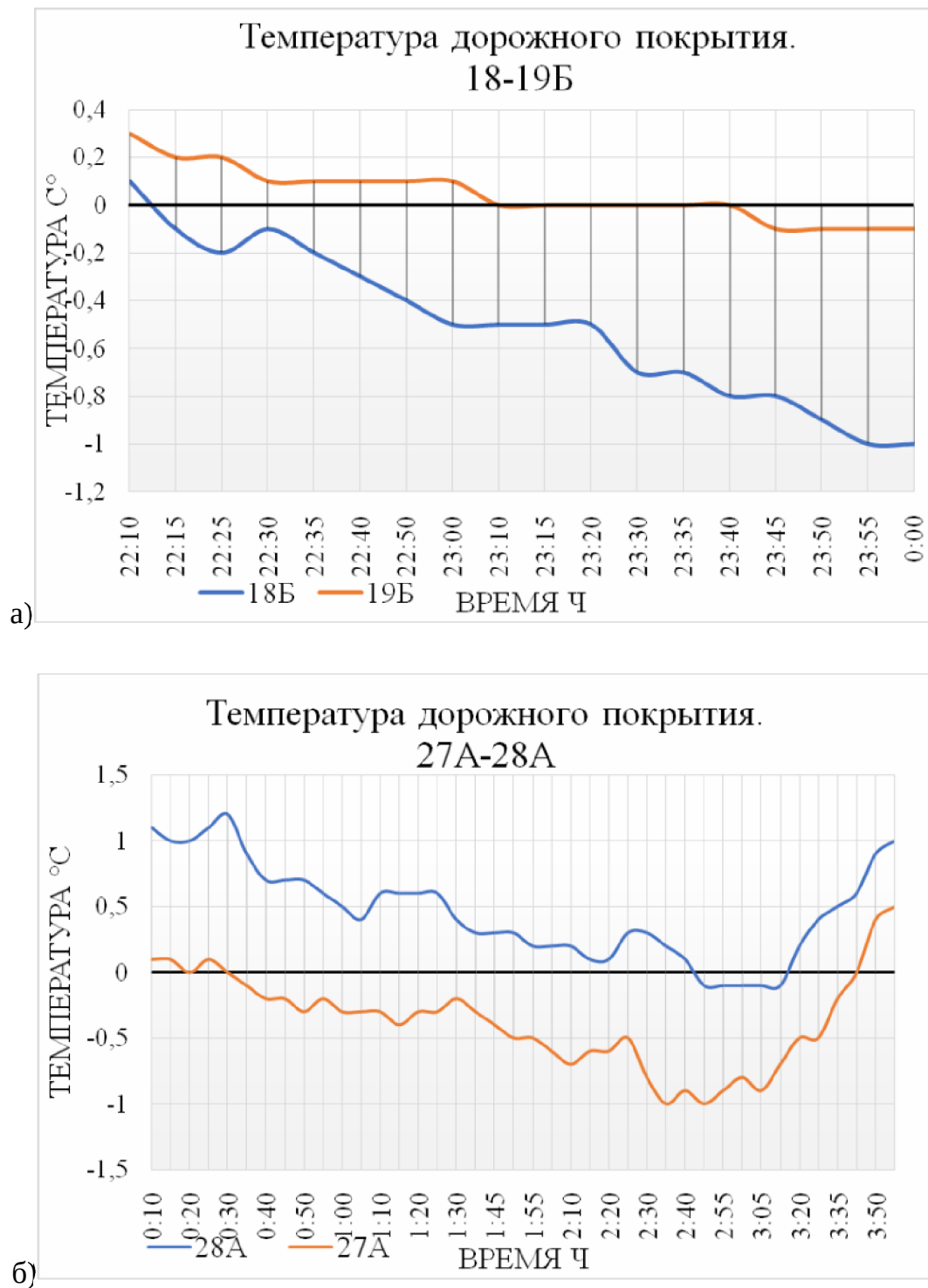


Рис. 3.3.4. Ход температуры дорожного покрытия на станциях, а) 18 - 19Б б) 27-28А с 5-го на 6-ое ноября.

Температурные тенденции TS на парах станций имеют схожий вид, однако моменты наступления отрицательных значений наступают в разное

время с запаздыванием на час (участок 18-19Б) и два с половиной часа (участок 27-18А). Исходя из этого, можно полагать, что на участках дороги между станциями, когда на одной из них температура уже ниже нуля, а на другой – выше, будет происходить переход температуры покрытия через нулевое значение. Тогда прогноз гололеда на этом участке будет осуществляться на основе проинтерполированных значений температур между станциями, что может привести к некоторым ошибкам.

#### 4. Исследование структуры размещения метеодатчиков на участках КАД

##### 4.1 Анализ равномерности размещения датчиков

В этом разделе моего исследования был проведен анализ равномерности размещения датчиков на КАД СПб. Для осуществления анализа была применена гистограмма распределения – это инструмент, позволяющий визуально оценить величину и характер разброса данных. На Рис. 4.1.1. видно, что станции распределены по кольцевой автодороге неравномерно. Основная часть станций находится на расстоянии друг от друга не более десяти километров. Наибольшее расстояние между станциями (19-20Б) составляет 20,56 км, т.к. этот участок КАД проходит по КЗС (дамба ) и данными с этого участка мы не располагаем .

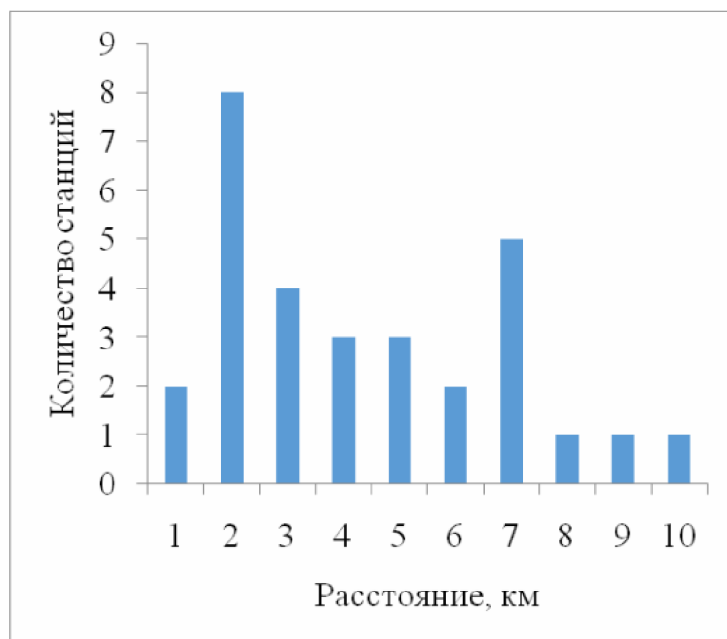


Рис. 4.1.1. Гистограмма распределения 31 станции на КАД.

Можно сделать вывод, что только на наземной части КАД плотность сети АДМС соответствует требованиям распоряжения Минтранса РФ от 09.10.2002 N ОС-859-р "Об утверждении "Методических рекомендаций по разработке проекта содержания автомобильных дорог" – минимум одна станция на участок 20 км.

#### 4.2 Поиск потенциально-опасных участков для наступления гололеда

При анализе временных рядов температуры дорожного покрытия TS с тридцати одной станции КАДа были определены потенциально-опасные участки дороги, которые наиболее располагают появлению гололеда. Были обнаружены и посчитаны моменты, когда температура покрытия была ниже нуля, что является благоприятным условием для образования опасных явлений на дороге (гололед, гололедица, черный лед). Также был проведен



расчет процентного соотношения сроков наблюдений и сроков с отрицательной температурой (Рис. 4.2.1.).

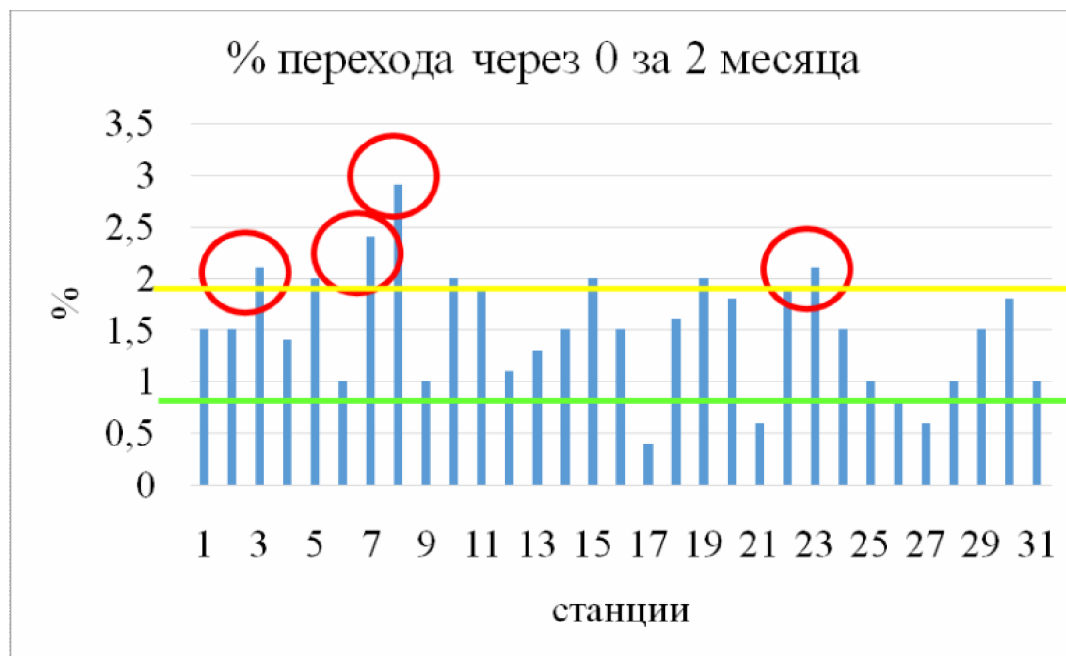


Рис. 4.2.1. Диаграмма процента перехода TS через 0°C на 31 станции за период октябрь-ноябрь 2015г.

Основываясь на полученных данных, участки были поделены на градации:

- Безопасные (до 1%)
- Средне-опасные (1-2%)
- Опасные (более 2%)

На диаграмме (Рис. 4.2.1.) отчетливо видно, что большая часть станций попадает под градацию средней опасности для наступления гололеда. Участки, наиболее потенциально-опасные на диаграмме выделены красным цветом. Это станции: 3А (юго-восток, 55-й километр КАД внутренне кольцо), 7А (юг, 68-й километр КАД внутреннее кольцо), 8Б (юг, 73-й километр КАД внешнее кольцо), 23Б (север, 131-й километр КАД внешнее

кольцо). Все эти станции расположены непосредственно вблизи крупных развязок (Рис. 4.2.2.). Как известно, сочетание метеорологических факторов, способствующих появлению скользкости, более вероятно на мостах, эстакадах и развязках, так как они охлаждаются сильнее при ночном радиационном выхолаживании. Также близость водоемов, рек, участков леса приводит к температурной неоднородности.



Рис. 4.2.2. Снимки со спутника. Расположение станций на КАД

а) 3А б) 7А в) 8Б г) 23Б

Визуально КАД поделен на участки, потенциально -опасные для появления скользкости, которые закрашены цветом, соответствующим градации: безопасные – зеленый, средне-опасные – жёлтый, опасные – красный (Рис. 4.2.3.). Характер расположения средне-опасных участков можно объяснить тем, что на востоке КАД проходит вблизи реки Охты и мелких водоемов, на юго-востоке вблизи реки Невы, и вдоль лесных участков. На юге (по направлению к КЗС) дорога пролегает через лес вдоль Финского залива. На севере КАД самый длинный «безопасный» участок проходит по окраине Санкт-Петербурга недалеко от жилых районов и по

территории свободной от леса. Это опять же подтверждает, что близость лесов, водоемов и сооружений (мост, эстакада, развязка) влияет на температурные параметры дороги.

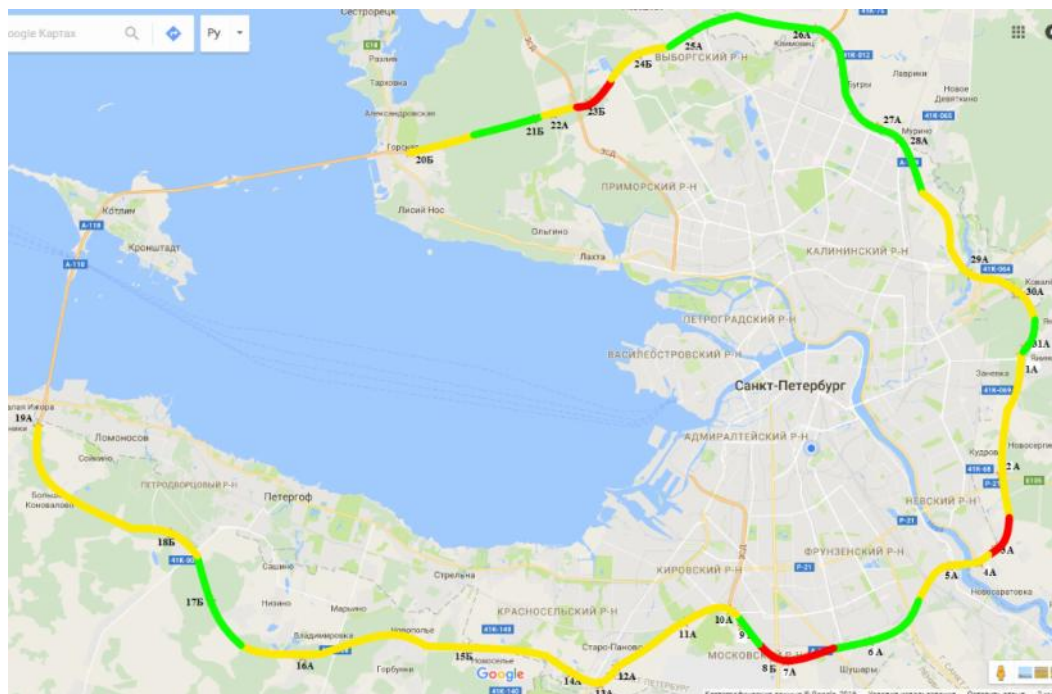


Рис. 4.2.3. Визуализация потенциально гололедо-опасных участков на КАД.

### 4.3 Анализ информации с соседних станций

#### 4.3.1 Интерполяция измерений на станциях. Ошибки интерполяции .

В данном разделе работы мной был проведен анализ температурных данных TS с соседних станций по всей кольцевой автодороге Санкт - Петербурга. Анализ заключался в интерполяции измерений температур ы покрытия. Составлена таблица для проведения интерполяции (таблица 4.3.1.1.).

Подготовка данных:

1. Выбраны три станции, расположенных подряд.
2. Найден срок измерений, когда разница температур на крайних станциях была максимальной, и в этот же срок температур а на средней станции. Температуры занесены в таблицу.
3. Далее, смещаясь на одну станцию, повторение 1 и 2 пунктов.

Фрагмент таблицы для проведения интерполяции Таблица 4.3.1.1.

| №станции | КМ   | TS, °C | TS, °C | TS, °C | TS, °C | TS, °C |
|----------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1        | 0    | 6,4    |        |        |        |        |
| 2        | 6,15 | 6,7    | 7,2    |        |        |        |
| 3        | 3,97 | 6,9    | 7,8    | 7,8    |        |        |
| 4        | 1,13 |        | 9,4    | 9,4    | 9,4    |        |
| 5        | 1,49 |        |        | 7,3    | 7,3    | 6,1    |
| 6        | 5,82 |        |        |        | 7,4    | 5,8    |
| 7        | 4,38 |        |        |        |        | 5,5    |

Далее была проведена интерполяция измерений TS с «крайних» станций, с учетом расстояния между ними. Сравнение проинтерполированного значения TS с реальным значением на средней станции представлено на графике (Рис. 4.3.1.1.). Допустимая ошибка (погрешность) интерполяции была выбрана равной 0,1 °C. На графике видно, что разница реальных и рассчитанных значений температуры TS в среднем значительно больше, чем установленная допустимая погрешность. Также есть несколько станций, удовлетворяющих нашим требованиям: 2А, 6А, 7А, 26А, 30А.



Рис. 4.3.1.1. График разницы реального и проинтерполированного значения TS на 31 АДМС КАД.

Эти станции отмечены на карте КАД (Рис. 4.3.1.2.), для визуальной оценки их расположения.

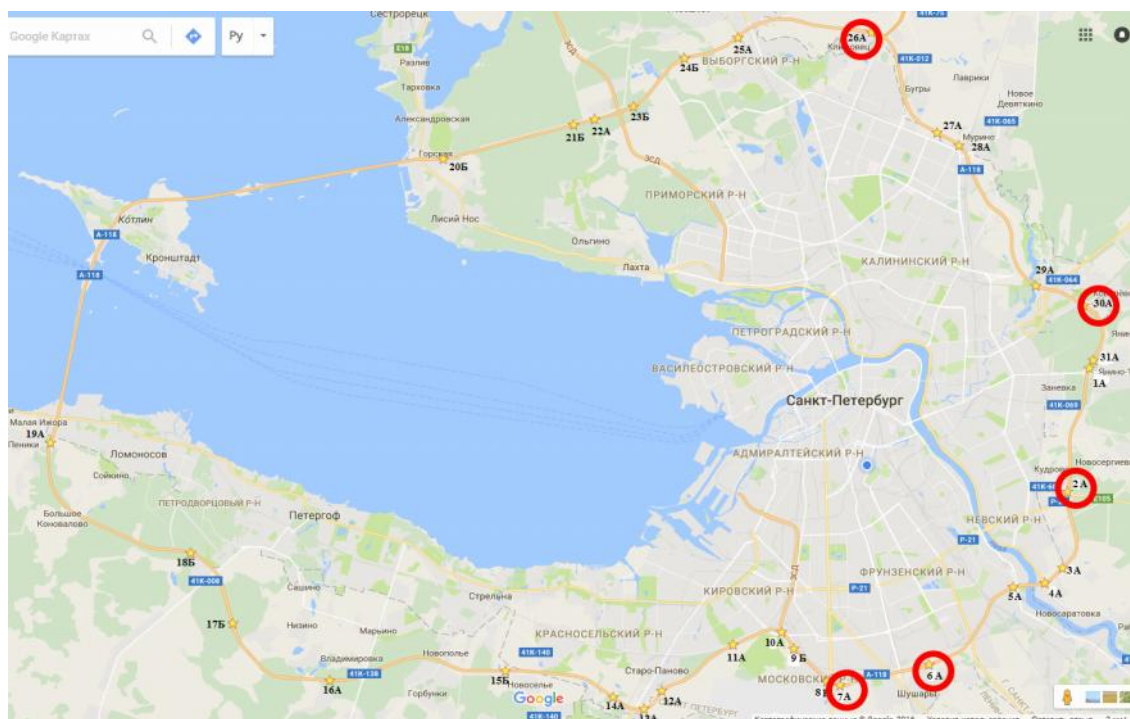


Рис. 4.3.1.2. АДМС с допустимой погрешностью интерполяции на КАД.

Условно можно назвать выделенные АДМС «лишними», так как информации с соседних станций достаточно, чтобы довольно точно обеспечить данными температуры покрытия TS участок КАДа между ними.

#### 4.3.2 Локализация мест, потенциально пригодных для установки дополнительных датчиков.

В этом разделе моего исследования осуществлена локализация участков, потенциально пригодных для установки дополнительных датчиков дорожного полотна.

Рассмотрим уже ранее рассчитанное стандартное отклонение на каждой станции за период сентябрь-ноябрь 2015 г. Для визуализации построен график (Рис. 4.3.2.1.) на основе данных из таблицы 3.1.1.1. В общем среднеквадратическое отклонение находятся в пределах 6-8°C. На станции 22А (9-й километр внутреннего кольца КАД) среднее квадратическое отклонение максимальное  $S=16,2^{\circ}\text{C}$ . В предыдущей главе было выявлено, что датчик температурных параметров работает с перебоями, следовательно, данная станция ненадёжная. Поэтому эта станция была исключена из данного анализа.



Рис. 4.3.2.1. СКО на 31-й станции КАД за период сентябрь-ноябрь 2015г.

Из таблицы 3.1.1.1. были выделены максимальные значения СКО на станциях:

- 5А (58-й километр, внутреннее кольцо)  $S=6,9^{\circ}\text{C}$ ,
- 7А (68-километр, внутреннее кольцо)  $S=6,9^{\circ}\text{C}$ ,
- 10А (72-й километр, внутреннее кольцо)  $S=7,1^{\circ}\text{C}$ ,
- 17Б (40-й километр, внешнее кольцо)  $S=6,9^{\circ}\text{C}$ ,
- 19А (116-й километр, внутреннее кольцо)  $S=6,9^{\circ}\text{C}$ .

На снимках со спутника (Рис. 4.3.2.2.) видно, что станции расположены вблизи моста, крупных развязок, реки Нева и участков леса. Как известно, такие особенности местности влияют на температурный режим участка автодороги, это подтверждают рассчитанные значения СКО.



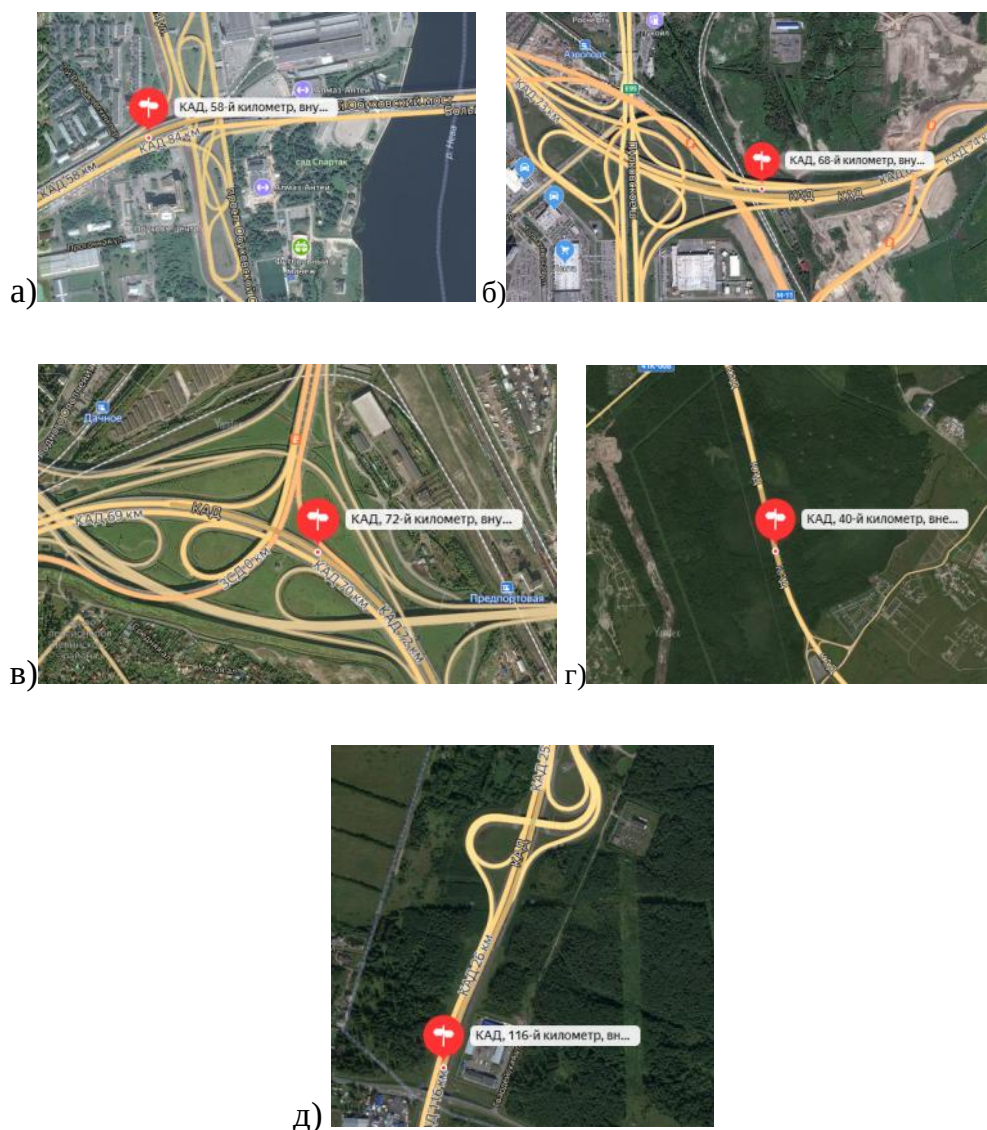


Рис. 4.3.2.2. Снимки со спутника. Расположение станций на КАД: а) 5А  
б) 7А в) 10А г) 19А

Изменчивость температуры покрытия обусловлена не только синоптической ситуацией, так как в пределах КАД она примерно одинакова, но и влиянием местных (локальных) условий. Большая изменчивость  $T_S$  на отдельных станциях говорит о том, что возможно локальные условия там играют большую роль, приводя к температурной неоднородности. К этим участкам дороги нужно обращать больше внимания, посредством установки дополнительных станций.



Визуализация участков потенциально пригодных для установки дополнительного датчиков на КАД Санкт-Петербурга (Рис. 4.3.2.3.).

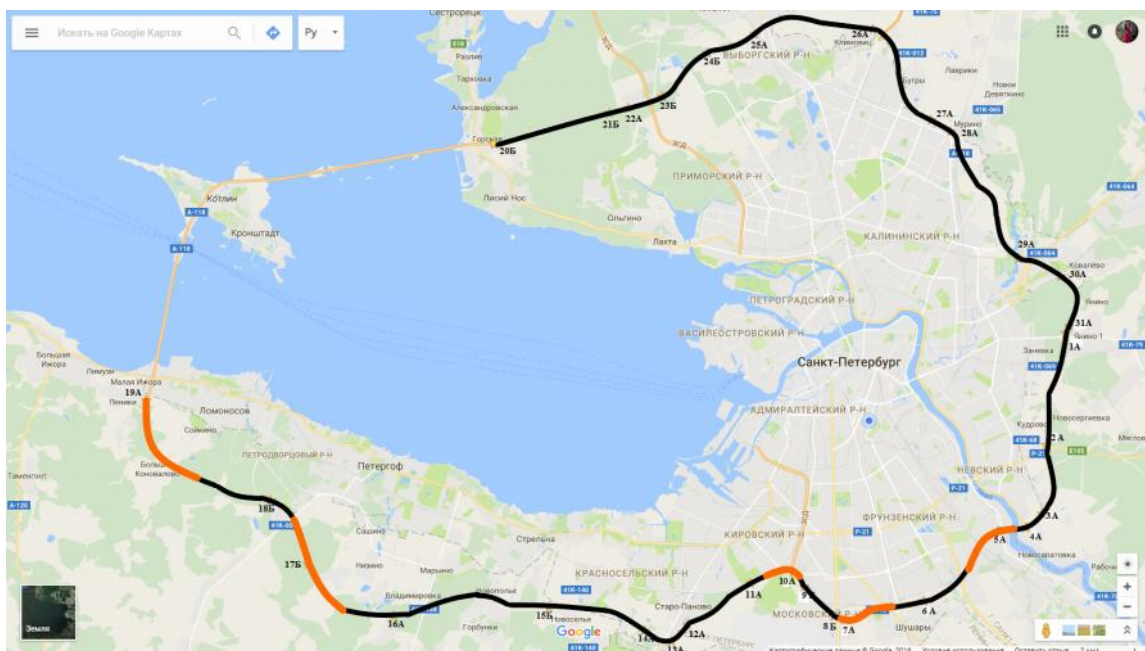


Рис. 4.3.2.3. Потенциально пригодные участки для установки дополнительных датчиков.

При выполнении выпускной квалификационной работы, мною были рассмотрены сформированные архивные временные ряды, полученные с тридцати одной дорожной метеорологической станции, расположенных на КАД Санкт-Петербурга.

Для выполнения расчетной части исследования и поставленных задач:

1. Подготовлен архив температурных параметров за осень 2015 года по данным, полученным с 31 автоматической дорожной метеорологической станции, установленных на КАД СПб.
2. Осуществлен контроль качества данных, полученных с АДМС.
3. Проведена оценка надежности работы встроенных датчиков измерения параметров дорожного полотна с применением статистических методов.
4. Исследована суточная динамика температур воздуха, покрытия и грунта за ноябрь 2015 года на примере пар станций, наиболее удаленных друг от друга и ближайших.
5. Проведен сравнительный анализ температурных параметров и их корреляция между собой за пятое ноября 2015 года на тридцать одной станции КАД на примере пар станций, наиболее удаленных друг от друга и ближайших, построены необходимые графики.
6. Исследована структура размещения метеодатчиков на участках КАД, проведен анализ равномерности размещения датчиков.
7. Осуществлен анализ и интерполяция измерений на тридцати одной АДМС.

В результате проделанной работы хочется отметить следующее:

- При анализе временных рядов были обнаружены многочисленные сбои в работе всех станций в виде отсутствия

данных, временных разрывов и недостоверных значений на станции 22Б, которые могли автоматически поступать в центральную систему в алгоритм прогноза и приводить к неправильным результатам.

- Оценка надежности 31 датчика позволила выявить АДМС с наибольшим разбросом значений измерений – станция 22А, а также АДМС с самыми часто случающимися перебоями в работе датчиков и передаче информации – станции 7А и 23Б. Следовательно можно судить о ненадежности данных станций.
- Суточный анализ температурных параметров на станциях 18-19Б и 27-28А показал превышение амплитуды суточного хода температуры покрытия над амплитудой температуры грунта TG. Это объясняется тем, что в дневное время суток поверхность дороги прогревается быстрее, что обусловлено инсоляцией и большим потоком транспорта. Ночью происходит радиационное выхолаживание и поверхность остывает быстрее грунта.
- На всех АДМС КАД была выявлена сильная положительная корреляционная связь между температурными параметрами, которая говорит о взаимной изменчивости температур.
- Ход температур покрытия на станциях 18-19Б и 27-28А имеют схожий вид, однако моменты наступления отрицательных значений наступают с запаздыванием. Исходя из этого, можно полагать, что на участках КАД между станциями, когда на одной из них температура уже ниже нуля, а на другой – выше, будет происходить переход температуры покрытия через нулевое значение. Следовательно, прогноз гололеда на этом участке будет осуществляться на основе проинтерполированных значений температур между станциями, что может привести к некоторым ошибкам.

- На основе анализа равномерности расположения датчиков можно сделать вывод, что на наземной части КАД плотность сети АДМС соответствует требованиям распоряжения Минтранса РФ. Станции находятся на расстоянии 1-10 км друг от друга. Наиболее потенциально гололедо-опасными участками оказались: 55-й километр КАД внутренне кольцо (3А), 68-й километр КАД внутреннее кольцо (7А), 73-й километр КАД внешнее кольцо (8Б), 131-й километр КАД внешнее кольцо (23Б). Это связано с расположением станций, где сочетание метеорологических факторов, способствующих появлению скользкости, более вероятно: мосты, эстакады, развязки, близость водоемов, рек, участков леса. Необходимо уделить данным участкам больше внимания, для обеспечения безопасности движения. Более плотная и равномерная сеть АДМС позволит избежать ошибок при интерполяции измерений, термокартировании и прогнозировании.
- На основе проинтерполированных значений температуры покрытия на тридцати одной АДМС были выделены станции 2А, 6А, 7А, 26А, 30А. Можно спрогнозировать температуру на этих участках с точностью до  $0.1^{\circ}\text{C}$ , основываясь на данных с соседних АДМС. Следовательно, можно условно назвать эти АДМС «лишними».
- Был проведен анализ изменчивости температуры покрытия и выявлена большая изменчивость температуры покрытия на отдельных станциях. Можно сделать вывод о том, что локальные условия и термическая неоднородность делают эти участки КАД более опасными и подверженными появлению опасных явлений. К этим участкам дороги нужно обращать больше внимания, посредством установки дополнительных станций.

Таким образом, исходя из проделанной работы можно сделать вывод, что определенные станции имеют нецелесообразную установку, так как расположены слишком близко друг к другу. Либо датчиков недостаточно на некоторых участках КАД. Следовательно, для обеспечения безопасного движения на КАД города Санкт-Петербурга необходимо уделить больше внимания опасным участкам автодороги и рассмотреть варианты размещения дополнительных датчиков.

Список использованных источников :

1. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Автоматические метеорологические станции. Часть 1. Тактико -технические характеристики. Учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2016. – 195 с
2. Базлова Т.А. Автоматизированная информационноизмерительная система «МетеоТрасса». Строительство и дорожное хозяйство. 2010.
3. Электронный ресурс: <https://files.stroyinf.ru/Data1/57/57598/index.htm>
4. Электронный ресурс: [https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/DRS511-B010115RU-Datasheet\\_0.pdf](https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/DRS511-B010115RU-Datasheet_0.pdf)
5. Электронный ресурс: [http://iram.ru/iram/all\\_main.php?js=1&list\\_par=52-0](http://iram.ru/iram/all_main.php?js=1&list_par=52-0)
6. Электронный ресурс: <http://stroygorhoz.ru/80/37.php>
7. Электронный ресурс: <http://statistica.ru/theory/koeffitsient-korrelyatsii>
8. Электронный ресурс: <https://excel2.ru/articles/gistogramma-raspredeleniya-v-ms-excel>
9. Электронный ресурс: <http://docs.cntd.ru/document/1200031252>
10. Электронный ресурс: <https://yandex.ru/maps/2/saintpetersburg/?l=sat%2Cskl&ll=29.672-262%2C59.918590&z=15>