



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)

На тему «Влияние погодных условий на метеорологический режим участка
автомобильной дороги»

Исполнитель **Хабибуллин Евгений Рафаильевич**
(фамилия, имя, отчество)

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

Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

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

Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

« 22 » мая 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

Содержание

		Стр.
	Введение	3
1	Кольцевая автомобильная дорога Санкт-Петербурга (КАД СПб)	5
1.1	Описание КАД СПб	5
1.2	Влияние погодных явлений на условия движения	6
1.3	Метеорологическое обеспечение КАД	8
1.4	Особенности установки АДМС	8
1.5	Функции и задачи АИИС «МетеоТрасса»	9
2	Автоматические дорожные метеорологические станции (АДМС)	12
2.1	Функции, задачи и состав АДМС	12
2.2	Метеорологические датчики АДМС	16
2.2.1	Датчик измерения параметров ветра WA15 фирмы Vaisala	16
2.2.2	Датчик измерения атмосферного давления – барометр РТВ110	17
2.2.3	Датчик измерения влажности и температуры воздуха HMP155	18
2.2.4	Детектор дождя DRD11A	19
2.2.5	Датчики состояния поверхности и грунта дороги	20
2.3	Расположения АДМС на КАД СПб	22
3	Исследование параметров температуры воздуха и дорожного полотна, а также исследование синоптической ситуации, влияющих на эти показатели	26
3.1	Подготовка архивных данных для исследования	26
3.2	Определение связи между параметрами, на участке автомагистрали	32
3.3	Комплексный анализ информации дорожных станций	35
	Заключение	42
	Список использованных источников	43

Введение

Ввод в эксплуатацию автоматических метеорологических станций общего и специального назначения позволил значительно увеличить плотность метеорологической сети и, как следствие, увеличить объем метеорологической информации необходимой для составления прогнозов различной заблаговременности, в том числе – текущего прогнозирования и различной специфики. Эффективность использования информации от автоматических метеорологических станций возрастает, когда отдельные метеостанции объединены в единую систему [2,5]. Примером такой системы – интеллектуальная система управления дорожным движением на кольцевой дороге Санкт-Петербурга.

Однако стоит отметить, что даже на небольшом участке дороги могут наблюдаться различные погодные условия, что приводит к необходимости применения различного подхода при проведении работ по содержанию дорог.

Цель данной работы:

- исследовать влияние акватории Финского залива на температурные параметры воздуха и дорожного полотна на участке КАД СПб.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить несколько последовательных задач:

- ознакомиться с правилами установки автоматических дорожных метеорологических станций на автомобильных дорогах РФ;
- исследовать территорию расположения АДМС на КАД;
- сформировать архив данных за октябрь 2015 года;
- провести контроль качества временных рядов;

- изучить методы обработки и анализа метеорологической информации, поступающей с автоматических дорожных метеорологических станций;
- исследовать пространственно-временную изменчивость температурных параметров воздуха и дорожного полотна на участке КАД СПб;
- определить наличие или отсутствие связи между метеорологическими параметрами на участке автомагистрали.
- провести комплексный анализ имеющейся информации с использованием синоптических карт и снимков со спутника.

Исследование будет проведено на основе архивной информации о температурных параметрах воздуха и дорожного полотна на трех станциях (116, 131 и 9 километра) внутреннего кольца КАД Санкт-Петербурга, полученные автоматическими дорожными метеорологическими станциями за октябрь 2015 года.

1 Кольцевая автомобильная дорога Санкт-Петербурга (КАД СПб)

1.1 Описание КАД СПб

Кольцевая автомобильная дорога вокруг Санкт-Петербурга (рис. 1.1) или А118 — автомобильная дорога общего пользования федерального значения, располагающаяся на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. КАД является скоростной автомагистралью, позволяющей пропускать транзитные потоки транспорта в обход центра города.

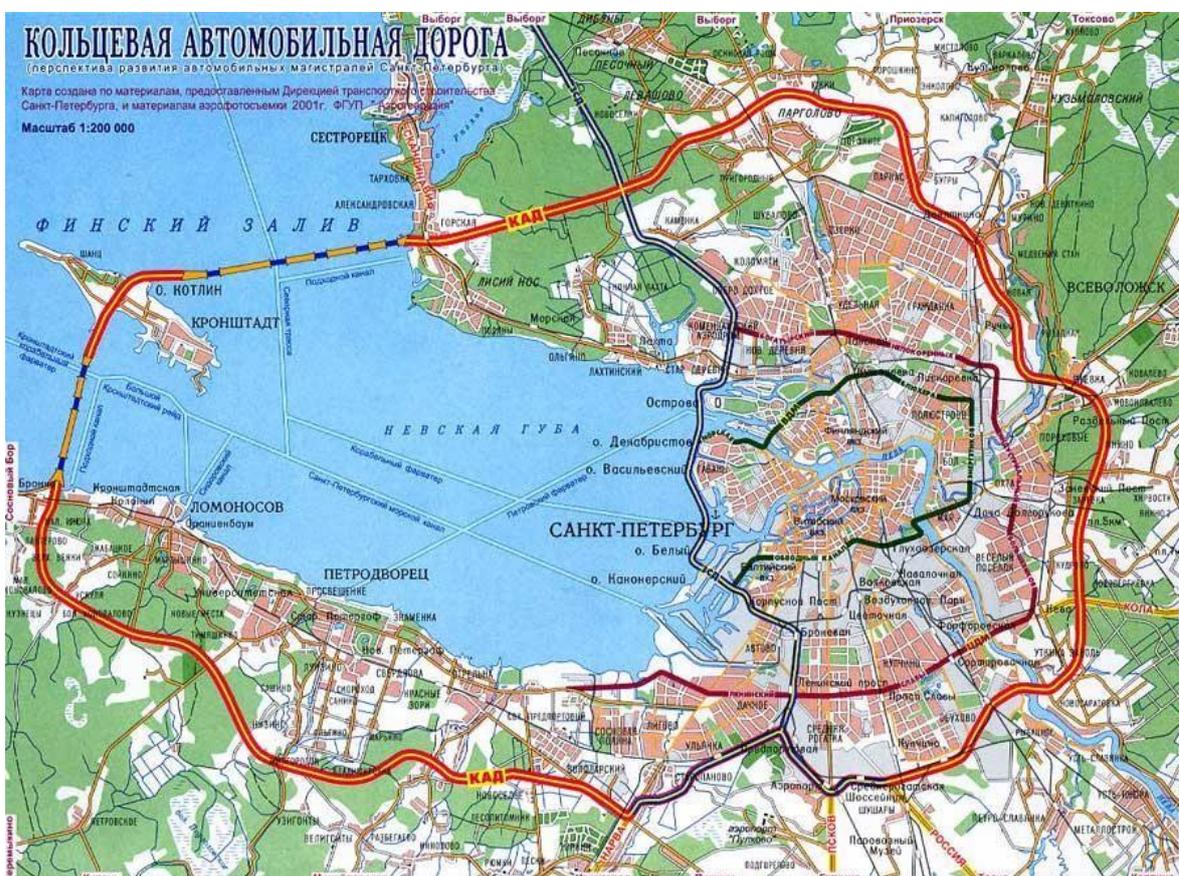


Рисунок 1.1 – Кольцевая автомобильная дорога Санкт-Петербурга

Структурно Кольцевая автомобильная дорога Санкт-Петербурга (КАД СПб) может быть разделена на две части: первая часть проходит по наземному маршруту, охватывая территорию города и области, а вторая часть пролегает

через комплекс защитных сооружений, предназначенных для предотвращения наводнений в городе. Общая протяженность этой автомагистрали составляет 142 километра.

Передвижение по автомагистрали предоставляет водителям ряд преимуществ:

- а) разрешенная скорость движения на автомагистрали составляет 110 км/ч.
- б) возможность проезда на большие расстояния без остановок благодаря отсутствию перекрестков и светофоров, обеспечиваемая наличием 26 развязок КАД с пересекающими шоссе.
- с) большая пропускная способность - около 200 тысяч автомобилей в сутки благодаря ширине проезжей части от 15 до 32 метров (число полос движения - от 4 до 8 в зависимости от загруженности участка автомагистрали).
- д) большие радиусы поворотов, создающие впечатление прямой дороги.
- е) отсутствие пешеходов и животных на проезжей части благодаря наличию силовых ограждений. [6]

Эти преимущества обеспечивают быстрое движение, обходя пробки, которые часто возникают в центре Санкт-Петербурга из-за интенсивного движения автомобилей.

Несмотря на указанные преимущества, скоростная магистраль представляет собой объект повышенной опасности. Часто возникающие аварийные ситуации являются следствием превышения скоростного режима в сложных погодных условиях. [6]

1.2 Влияние погодных явлений на условия движения

Основной целью метеорологического обеспечения на автомобильных дорогах является обеспечение безопасности дорожного движения в условиях неблагоприятных метеорологических условий, таких как дождь, снегопад, туман, гололедица и т.д.

Различия в условиях движения в период действия неблагоприятных метеорологических явлений определяются рядом факторов:

1) снижение сцепных качеств покрытия, ухудшение ровности покрытия под влиянием осадков, гололеда и других факторов, которые приводят к изменению взаимодействия автомобиля с дорогой;

2) увеличение сопротивления движению из-за наличия снега, грязи, гололеда, неровностей на дороге;

3) изменение очертания проезжей части и границ обочин, из-за снежных отложений и образовавшихся полос наката, что приводит к изменению восприятия дороги водителем;

4) уменьшение дальности видимости во время осадков или тумана, слепящего действия солнца, изменяющих восприятие условий движения водителем;

5) ухудшение эксплуатационно-технических качеств автомобиля, прежде всего систем, обеспечивающих безопасность движения, к которым относятся тормоза, рулевое управление и др. [4]

Летом условия движения благоприятные, так как чаще всего наблюдается сухое чистое покрытие, а в переходные периоды года – покрытие влажное и мокрое.

Чтобы минимизировать влияние дождя на сцепные свойства, важно обеспечить хорошее дренажное устройство на покрытии, чтобы вода могла быстро стекать. Также рекомендуется регулярно очищать поверхность от грязи и пыли, чтобы избежать накопления смазки, образующейся в результате дождя.

Для повышения безопасности на дороге в условиях дождя необходимо соблюдать предельные скорости движения, увеличивать дистанцию между транспортными средствами и быть более внимательными за рулем. Также можно использовать специальные шины с улучшенным сцеплением на мокром покрытии, чтобы повысить безопасность движения в дождливую погоду. [4]

В заснеженных условиях скорость движения обычно снижается из-за ухудшения сцепления колес с дорогой. На скользком покрытии автомобиль может не справиться с поворотами и торможением, что увеличивает риск ДТП

Также эти данные важны для оценки эффективности дорожных работ и планирования обслуживания дорожного покрытия. Поэтому важно проводить регулярное мониторинг состояния дорожного покрытия и его фактической продолжительности, чтобы обеспечить безопасность и комфорт движения на дороге.

1.3 Метеорологическое обеспечение КАД

На КАД СПб в зимний сезон сложной метеорологической обстановкой считаются гололед, скользкость и снегопад. Для противодействия этим неблагоприятным погодным условиям используется автоматизированная система метеорологического контроля (АИИС "МетеоТрасса"), состоящая из 32 дорожных метеостанций и 212 датчиков, следящих за состоянием дорожного покрытия. Это позволяет оперативно реагировать и принимать меры по устранению указанных факторов круглосуточно.

Для обеспечения безопасности движения в зимний период регулярно проводятся противогололедные мероприятия в местах, где есть вероятность возникновения зимней скользкости.

1.4 Особенности установки АДМС

Исходя из директивы Минтранса РФ от 09.10.2002 года № ОС-859-р "Об утверждении Методических рекомендаций по разработке проекта содержания автомобильных дорог", установка метеостанций должна осуществляться в "холодных" участках дороги, где наиболее вероятно возникновение скользкости и ухудшение сцепных свойств в периоды повышенной гололедоопасности. [14]

Дорожные метеостанции следует устанавливать в приоритетном порядке на участках дороги, которые оказывают влияние на ее проходимость: на мостах, в тоннелях, на путепроводах, а также на участках с высокой интенсивностью движения и большим числом дорожно-транспортных происшествий.

Таким образом, установка автоматизированных дорожных метеостанций (АДМС) целесообразна прежде всего на участках, где наблюдаются наибольшие перепады температуры дорожного покрытия перед мостами или эстакадами. АДМС рекомендуется размещать непосредственно у автомобильной дороги для обеспечения проведения необходимых измерений.

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 и неоднородными погодными условиями на протяжении всей трассы.

1.5 Функции и задачи АИИС «МетеоТрасса»

АИИС «МетеоТрасса» предназначена для обеспечения службы содержания автомобильных дорог своевременной специализированной метеорологической информацией (рис. 1.2).[2]

Предоставляемая системой информация позволяет дорожно-эксплуатационным организациям иметь достоверные сведения о погодных условиях и их изменении и заранее подготовиться к опасным явлениям, провести профилактические мероприятия, используя современные технологии зимнего содержания автодорог.

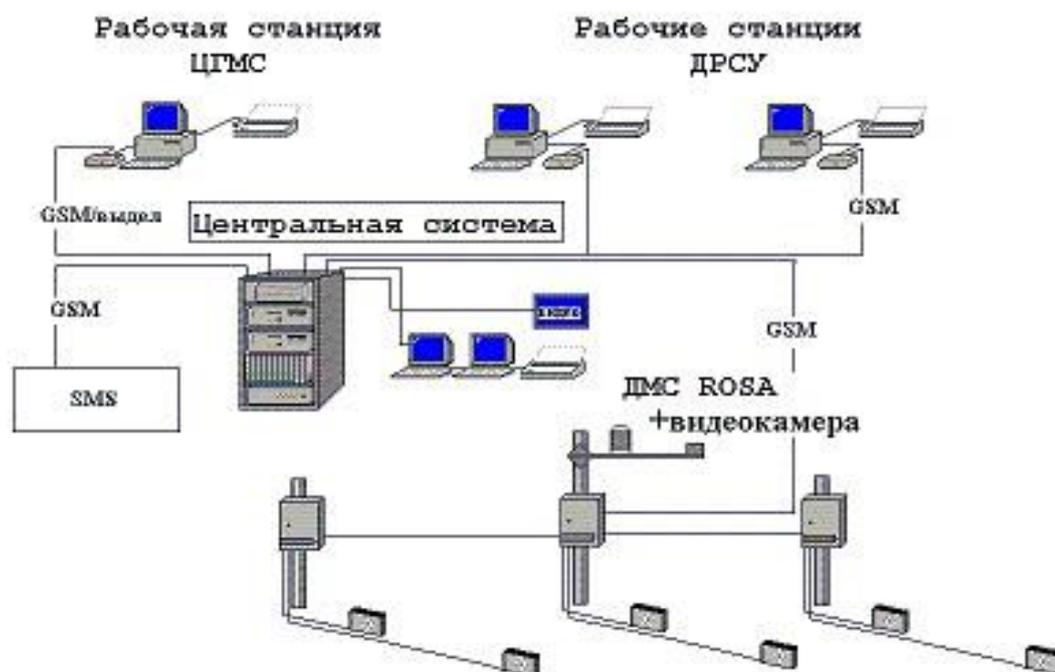


Рисунок 1.2 – Схема АИИС «МетеоТрасса»

В ходе своей деятельности Автоматизированная информационно-интегрированная система «МетеоТрасса» предупреждает о возможных опасных погодных явлениях на автомобильных дорогах, формирует прогнозы по зимней скользкости на дорогах и обеспечивает пользователя информацией о текущем метеорологическом состоянии и состоянии покрытия дороги с помощью информационных табло. [7]

К функциям информационно-измерительной системы относятся

- измерение и выдача метеорологических данных и данных о состоянии поверхности автодороги,
- прием и передача данных с использованием различных видов каналов связи в управляемом режиме,
- контроль, обработка, архивация и отображение данных сети ДМС в удобном виде (карта, таблицы, графики),

- отображение на карте текущего состояния покрытия автодорог на всем их протяжении при наличии базы данных термокартирования,
- выдача предупреждений об опасных метеорологических явлениях (зимней скользкости, осадках) на автодорогах,
- прогноз состояния покрытия и температуры покрытия автодорог на 4 часа вперед на основе численной модели атмосферного пограничного слоя с использованием данных сети ДМС и термокартирования,
- передача предупреждений и других данных в виде SMS – сообщений,
- статистическая обработка данных (повторяемость значений скорости и направления ветра, сумма осадков, число переходов через 0°С и т.п.),
- работа с информацией метеорологических радиолокаторов (опция) - карта метеоявлений, количество осадков за определенный период на заданной территории.[7]

2 Автоматические дорожные метеорологические станции (АДМС)

2.1 Функции, задачи и состав АДМС

Информация, собранная с помощью станций, передается в реальном времени на специализированный центр управления, где анализируется и используется для принятия решений о состоянии дороги, организации уборки снега, предупреждения о возможных аварийных ситуациях и принятия других мер по обеспечению безопасности на дороге.

Таким образом, автоматические дорожные станции и АИИС «МетеоТрасса» играют важную роль в обеспечении безопасности и комфорта движения на автодорогах в условиях переменной погоды.

Автоматизированная дорожная метеостанция (АДМС) – это техническое устройство (рис. 2.1), которое предоставляет важную информацию о состоянии дорожного покрытия и погодных условиях, необходимую для обслуживания дорог. АДМС оснащена датчиками (рис. 2.2), собирающими данные о поверхности дорожного покрытия и состоянии грунта, которые затем преобразуются в цифровой формат для передачи по кабельной линии связи на персональный компьютер для обработки, отображения на экране оператора, и последующей передачи на центральную станцию.



Рисунок 2.1 – Внешний вид АДМС

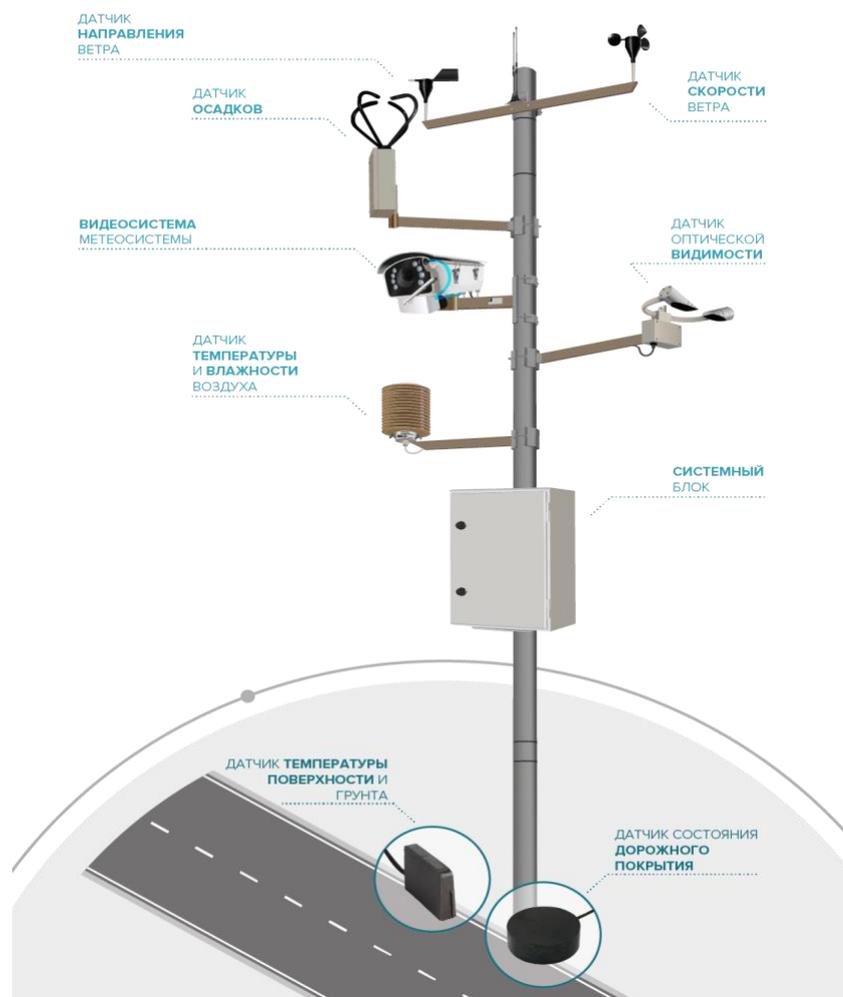


Рисунок 2.2 – Структура АДМС

АДМС устанавливаются на термически неоднородном участке автомагистрали, включая искусственные сооружения (путепроводы, мосты, эстакады), так как их физико-температурные свойства отличаются от остальной части дороги.

АДМС измеряют следующие параметры, указанные в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

Параметры атмосферы и поверхности автодороги, измеряемые дорожными метеорологическими станциями [2]

-температуру воздуха;
-относительную влажность воздуха;
-температуру точки росы;
-скорость и направление ветра;
-атмосферное давление;
-наличие, интенсивность и количество осадков;
-высота снежного покрова;
-состояние дорожного покрытия (сухое, влажное, лед, снег, иней);
-толщину отложений на покрытии;
-температуру дорожного покрытия и дорожной конструкции;
-наличие на дорожном покрытии количества и концентрации противогололедных реагентов

В комплект автоматической станции входят:

1. Метеомачта – это трубчатая конструкция, установленная на основании, предназначенная для размещения и ориентации метеорологических датчиков и крепления функционального шкафа в пространстве. Она может быть установлена как на земле, так и на уже существующих опорах и мачтах.

2. Аппаратурный шкаф (рис. 2.3) – это структура, помещенная в металлический защитный корпус, предназначенная для размещения программируемых контроллеров для сбора информации с метеорологических датчиков, источников питания, оборудования для коммутации и связи. Аппаратурный шкаф устанавливается на метеомачте. [2]



Рисунок 2.3 – Системный блок АДМС

3. система энергоснабжения;
4. комплект метеорологических датчиков;
5. комплект датчиков параметров дорожного полотна;
6. Модуль преобразования: измерительные преобразователи DM31/53.

7. Центральная система сбора и обработки: персонального компьютера с базовым и специальным программным обеспечением.

Стандартный перечень датчиков АДМС приведен в таблице 2.2.

Также могут быть установлены и другие метеорологические датчики, например, датчик видимости, текущей погоды. При необходимости АДМС могут быть укомплектованы датчиками для измерения экологических

параметров, уровня воды, уровня загазованности воздуха, что поможет в экологическом контроле состояния окружающей среды. [2,7]

Таблица 2.2

Перечень датчиков АДМС

- | | |
|----|--|
| 1) | Скорость и направление ветра (механические) – WA15 |
| 2) | Давление – барометр РТВ110 |
| 3) | Влажность и температура – НМР155 |
| 4) | Детектор дождя – DRD11А |
| 5) | Дорожные датчики |

2.2 Метеорологические датчики АДМС

2.2.1 Датчик измерения параметров ветра WA15 фирмы Vaisala

Комплект датчиков ветра WA15 (рис. 2.4) состоит из анемометра WAA151 и флюгера WAV151.



Рисунок 2.4 – Комплект датчиков ветра

Анемометр (WAA151) малоинерционный и высокочувствительный прибор, содержащий три легкие конические чашки, установленные на чашечной вертушке. Измерение скорости ветра основано на преобразовании скорости вращения вертушки в частоту электрических импульсов с использованием оптоэлектронной пары, а затем в скорость воздушного потока с помощью алгоритма компании Vaisala.

Чувствительным элементом измерителя направления ветра WAV151 является малоинерционная флюгарка, которая устанавливается на метеорологической мачте. Принцип работы датчика основан на преобразовании электрических импульсов, поступающих с оптического кодового диска определителя углового положения вала в направление воздушного потока. Инфракрасные светодиоды и фототранзисторы смонтированы на шести орбитах с каждой стороны 6-битового диска (код Грея). При обороте флюгера диск меняет код, принимаемый фототранзисторами.

2.2.2 Датчик измерения атмосферного давления – барометр РТВ110

Принцип действия барометров РТВ110 (рис. 2.5) основан на изменении емкости керамического конденсатора в зависимости от изменения атмосферного давления. Электронная схема барометров РТВ110 преобразует изменения емкости керамического конденсатора в электрические сигналы, которые затем передаются на устройства сбора и обработки информации для преобразования в цифровую форму и отображения на дисплее ПК.

Барометр РТВ110 представляет собой компактный модуль, в корпусе которого размещены: кремниевые емкостные преобразователи абсолютного давления, печатная плата, вывод штуцера.



Рисунок 2.5 – Барометр РТВ110

2.2.3 Датчик измерения влажности и температуры воздуха HMP155

Датчик влажности и температуры HMP155 оборудован сенсором влажности емкостного типа и платиновым сенсором температуры – Pt100. HMP155 представляет собой измерительный зонд (рис. 2.6) с удлинительным кабелем, который может использоваться в комплексе с вторичным преобразователем и дисплеем.



Рисунок 2.6 – Измерители влажности и температуры HMP155

Микроконтроллер использует градуировочные характеристики для интерпретации этих данных и выводит результаты на дисплей или передает на другое устройство для анализа

2.2.4 Детектор дождя DRD11A

Используется для скорого и точного обнаружения осадков, их интенсивности и вида (дождь/снег). Использует сенсорную пластину RainCap. Специальная схема задержки позволяет в двухминутном интервале судить о прекращении осадков. DRD11A может точно различить прекращение дождя и слабый дождь. [12,13]



Рисунок 2.7 – Детектор дождя DRD11A фирмы Vaisala

Датчик DRD11A (рис. 2.7) дает аналоговый сигнал для оценки интенсивности осадков: небольшие, умеренные и сильные. Приемная пластина сенсора расположена наклонно, под углом 30° и оборудована нагревательным элементом, для предотвращения конденсации влаги и таяния

снега (в зимний период при низких температурах). Кроме того, внутренний нагревательный элемент обеспечивает высушивание поверхности.

2.2.5 Датчики состояния поверхности и грунта дороги

Система датчиков DRS511 предоставляет ключевую информацию о дорожных метеорологических условиях, точно измеряет глубину слоя воды на дороге с помощью диэлектрические свойства. Диэлектрические измерения являются единственным методом, позволяющим определить возможное наличие непроводящего льда на поверхности дороги. Система датчиков DRS511 также передает данные и состоянии дороги: сухая, влажная, обледеневшая и заснеженная. [12,13]

В состав сенсора DRS511 (рис. 2.8), изготовленного из эпоксидного состава, параметры которого соответствуют дорожному покрытию по теплопроводности и эмиссионным свойствам, входят четыре независимых чувствительных элемента. Из них два датчика измеряют температуру поверхности и грунта.



Рисунок 2.8 – Сенсор DRS511

Кроме этих датчиков имеются два модульных электрода из углеволокна. Один из них - компонент для детектирования льда, а второй определяет проводимость и ионную поляризацию. Работа дорожного датчика состояния параметров автодороги основана на измерении электрической проводимости, ионной поляризации, диэлектрических свойств водного раствора, находящегося на ней и на использовании датчика температур для измерения температур на поверхности и в грунте. [12,13]

Температура поверхности сопоставляется с точкой росы для определения условий, при которых возможно формирование изморози.

Данная система дорожных датчиков определяет:

- наличие гололедицы;
- состояние поверхности (толщина слоя воды/льда, наличие снега)

в градациях: сухая, влажная, мокрая, иней, лед, снег.

Такая система дорожных датчиков необходима для системы раннего предупреждения и системы прогнозирования гололёда.

2.3 Расположение АДМС на КАД СПб

Для исследования отобраны несколько дорожных станций, расположенных на 116, 131 и 9 километрах внутреннего кольца автомагистрали (рис. 2.9). АДМС были выбраны как наиболее близкие к акватории Финского залива. Расстояние между соседними станциями составляет около 15 км. Станции 116 и 9 км находятся на расстоянии 30 км друг от друга.

Информация со станций получена одинаковыми средствами измерения, станции имеют одинаковую комплектацию. [5,8]

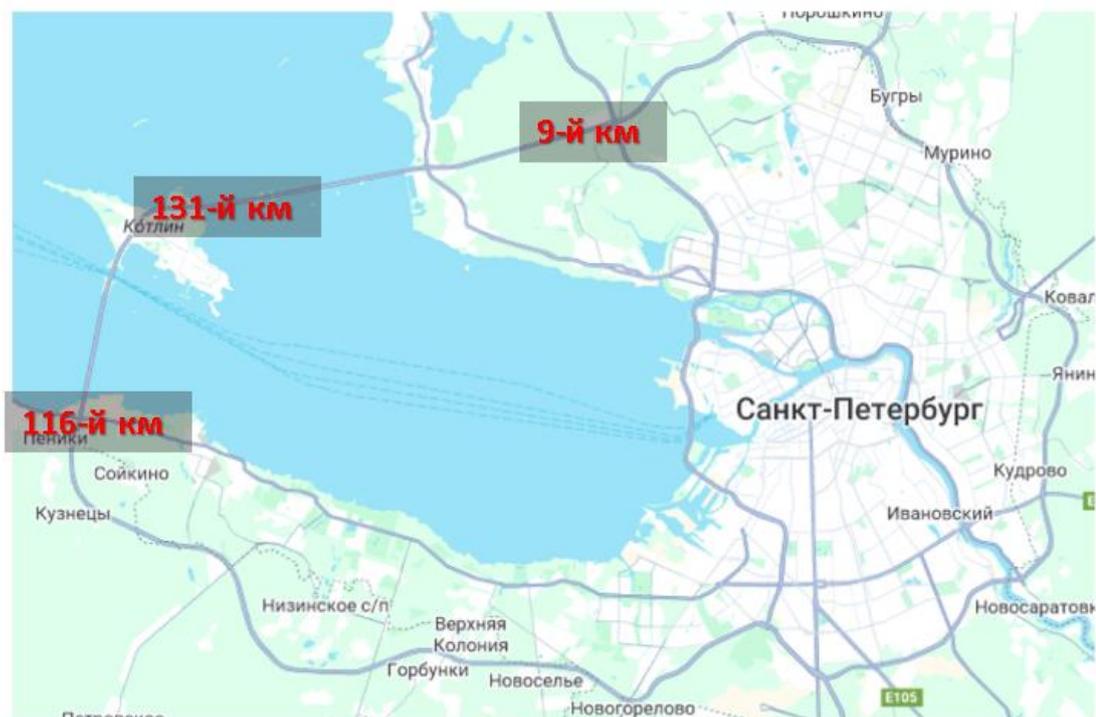


Рисунок 2.9 – Внутреннее кольцо кольцевой автодороги СПб

Первая станция (E0293940_N595457) установлена на 116-ом километре (рис. 2.10) внутреннего кольца КАД в 2 км от южного берега залива.

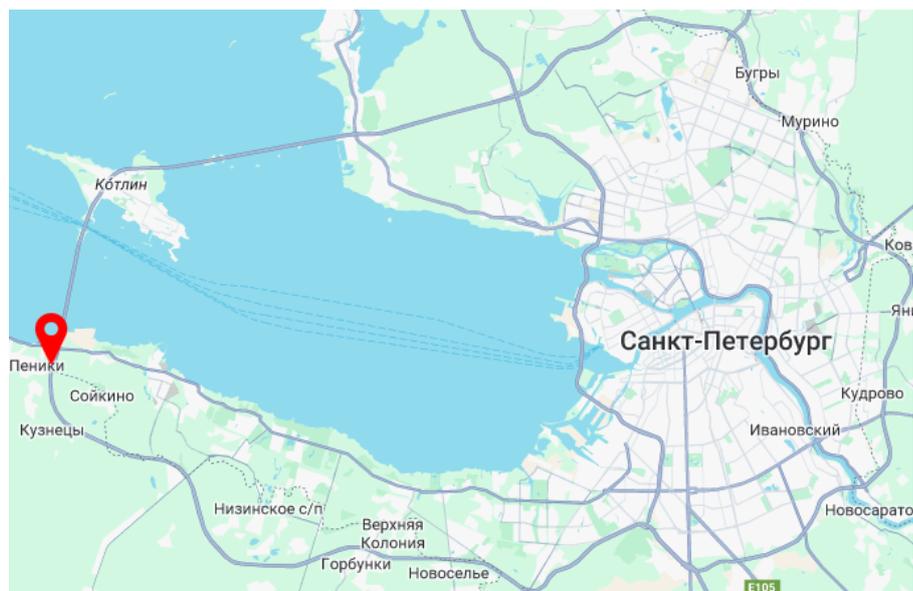


Рисунок 2.10 – Расположение АДМС на 116 км КАД

Дорожное полотно в данном месте имеет направление движения с севера на юг. Вдоль этого полотна с правой стороны от АДМС простирается лесной участок, а с левой стороны наблюдаются строения.

АДМС установлена на металлической П-образной опоре знаков переменной информации, на высоте 10 метров от поверхности широкой трех полосной проезжей части. (рис. 2.11)



Рисунок 2.11 – Внешний вид АДМС на 116 км КАД

Вторая станция (E0300921_N600341) располагается на 131-ом километре (рис. 2.12) внутреннего кольца КАД.

Расположена АДМС неподалёку от дамбы. Со всех сторон, соответственно, простирается водная поверхность.

Первая и вторая станции (116 и 131 км) удалены друг от друга на расстоянии 15 километров друг от друга.

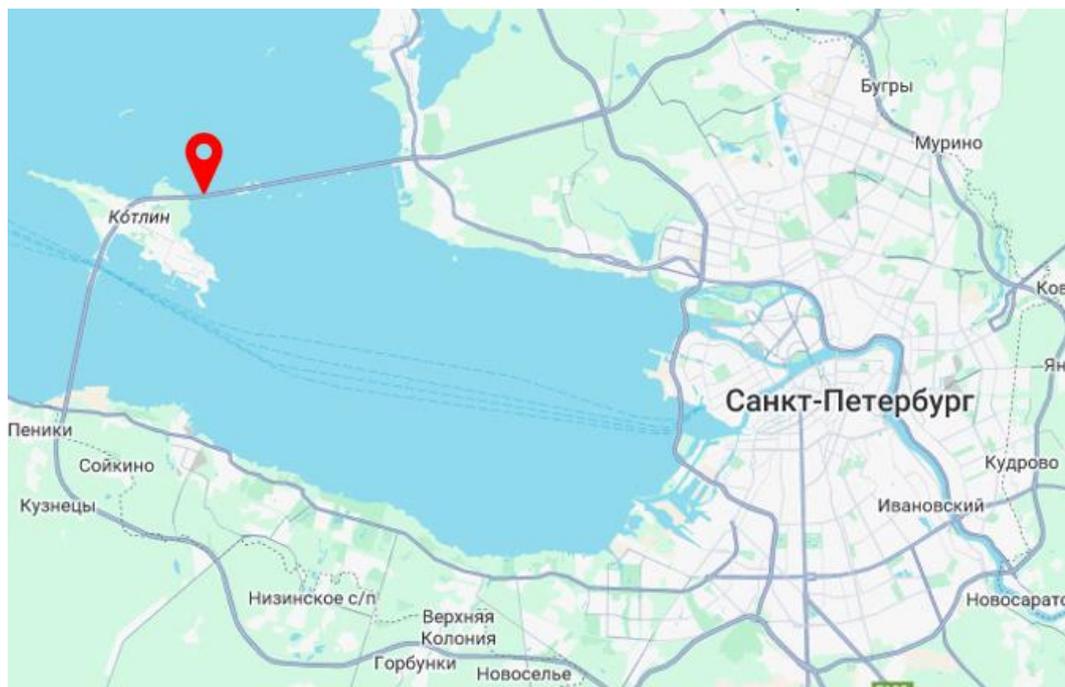


Рисунок 2.12 – Расположение АДМС на 131 км КАД

Третья АДМС (E0300722_N600321) находится на 9-ом километре внутреннего кольца (рис. 2.13). В районе полутора километров от АДМС проходит развязка КАД с Западным Скоростным Диаметром.

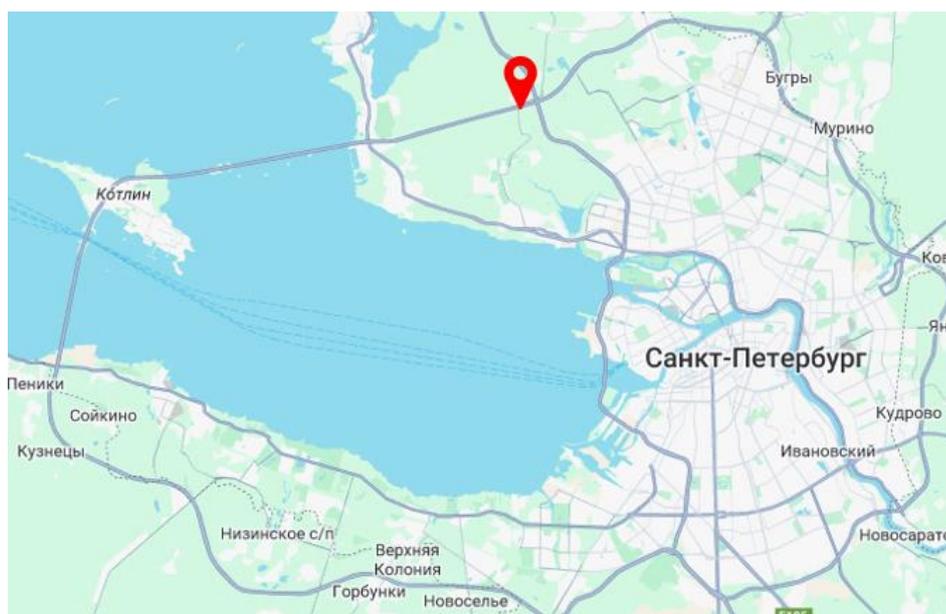


Рисунок 2.13 – Расположение АДМС на 131 км КАД

В этом месте автомагистраль окружена слева лесным массивом, а справа производственными постройками. АДМС установлена на П-образной опоре над двух полосной проезжей частью (рис. 2.14).

Так же стоит отметить, что все три АДМС установлены вне зоны промышленных предприятий.



Рисунок 2.14 – Внешний вид АДМС на 9 км КАД

3 Исследование параметров температуры воздуха и дорожного полотна, а также исследование синоптической ситуации, влияющих на эти показатели

3.1 Подготовка архивных данных для исследования

Для анализа изменения температуры воздуха и дорожного полотна за октябрь 2015 года, была проведена работа с архивами и базами метеорологических данных.

Данные по трем станциям были получены в текстовом формате, оцифрованы и синхронизированы для дальнейшей работы.

Дискретность измерений составляет 15 минут.

Первичный контроль [11] информации позволил выявить единичные разрывы в данных дорожной станции на правом берегу Финского залива (рис. 3.1).

17:15	3,7	17:15	4,8
17:30	3,7	17:30	4,4
17:45	3,4	17:45	3,7
18:00	3,4	18:00	3,7
18:15	3,6	18:15	3,2
18:30	3,6	18:30	3
		18:45	2,7
19:00	3,4	19:00	2,5
19:15	3,3	19:15	1,7
19:30	3,3	19:30	1,1
19:45	3,1	19:45	1,1

Рисунок 3.1 – Фрагмент данных с единичными разрывами [5]

Такие единичные разрывы легко можно ликвидировать путем нахождения среднего значения. Станция на левом берегу залива данные по температуре воздуха начала фиксировать только с 20 октября. Восстановить

отсутствующие данные не представляется возможным, поэтому более подробно рассмотрим данные за конец октября 2015 года (рис. 3.1).[5]

3.2 Временная и пространственная изменчивость рядов температуры

Исследовали ряды температур поверхности дороги, грунта и воздуха за октябрь 2015 года, измеренные АДМС КАД на 116, 131 и 9 километрах.

Для дальнейшего выполнения работы был построен график зависимости температурных параметров за весь исследуемый период. На построенных графиках представлен месячный ход исследуемых параметров на 116, 131 и 9 км участках КАД СПб. Как было сказано выше, на 116 и 9 километрах станции фиксировали все исследуемые нами параметры. На 131 км отсутствовали данные по температуре грунта. Разрывов данных не обнаружилось.

Рассматривая графики, можно наблюдать сходство в поведении температурных параметров на станции 116 км (рис. 3.2). Тенденция изменения температуры характерна для осеннего периода, хотя стоит отметить, что октябрь 2015 года выдался теплым. Температура воздуха в течение всего месяца постепенно уменьшалась, были небольшие подъемы в период с 9 по 18 число, а также с 21 по 25 число.

Для всех параметров просматривается четкий суточный ход с наибольшим интервалом у температуры поверхности дороги и наименьшим у температуры воздуха. Что характерно для осени.[9]

Переходы температуры через 0, наблюдаются почти в одни и те же даты:

- для температуры воздуха переход через 0 °С был зафиксирован 20, 21, 29 и 31 октября;
- для температуры поверхности переход через 0 °С был замечен 20, 21, 28, 29, 31;

- для температуры грунта переход через 0 °С был замечен 21, 29, 31 октября.

Видно, что температура поверхности чаще переходила через 0 °С в ночные периоды, что говорит об интенсивном выхолаживании нагретой за день поверхности дороги. А температура грунта – реже, поскольку дольше сохраняет тепло.[9]

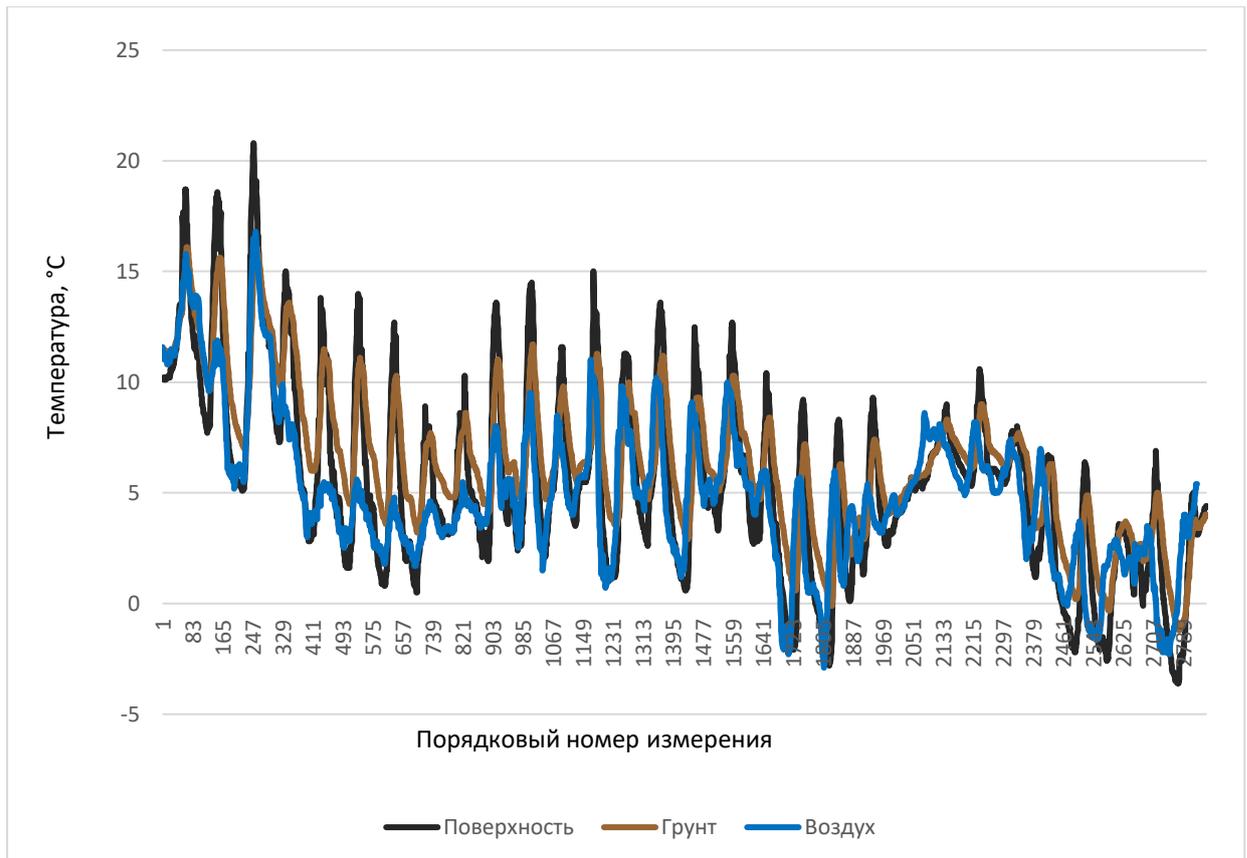


Рисунок 3.2 – Месячный ход температур на 116 километре КАД

Температурный минимум наблюдался

- для воздуха 21 октября и по данным составлял -2,9 °С;
- для поверхности дороги был зафиксирован 31 октября и был равен -3,6 °С;
- для температуры грунта наблюдался 31 октября и составил -1,2 °С.

Максимум для всех температурных параметров наблюдался в начале месяца, а именно 4 октября и его значение соответствовало

- для температуры воздуха – 16,8°C;
- для температуры поверхности – 20,8 °С;
- для температуры грунта – 16,1 °С.

Тенденция изменения температур поверхности и воздуха на 131 км аналогична данным с АДМС на 116 км (рис. 3.3). Температура воздуха в течение всего месяца постепенно уменьшалась, были небольшие подъемы в период с 9 по 17 число, а также с 22 по 27 число.

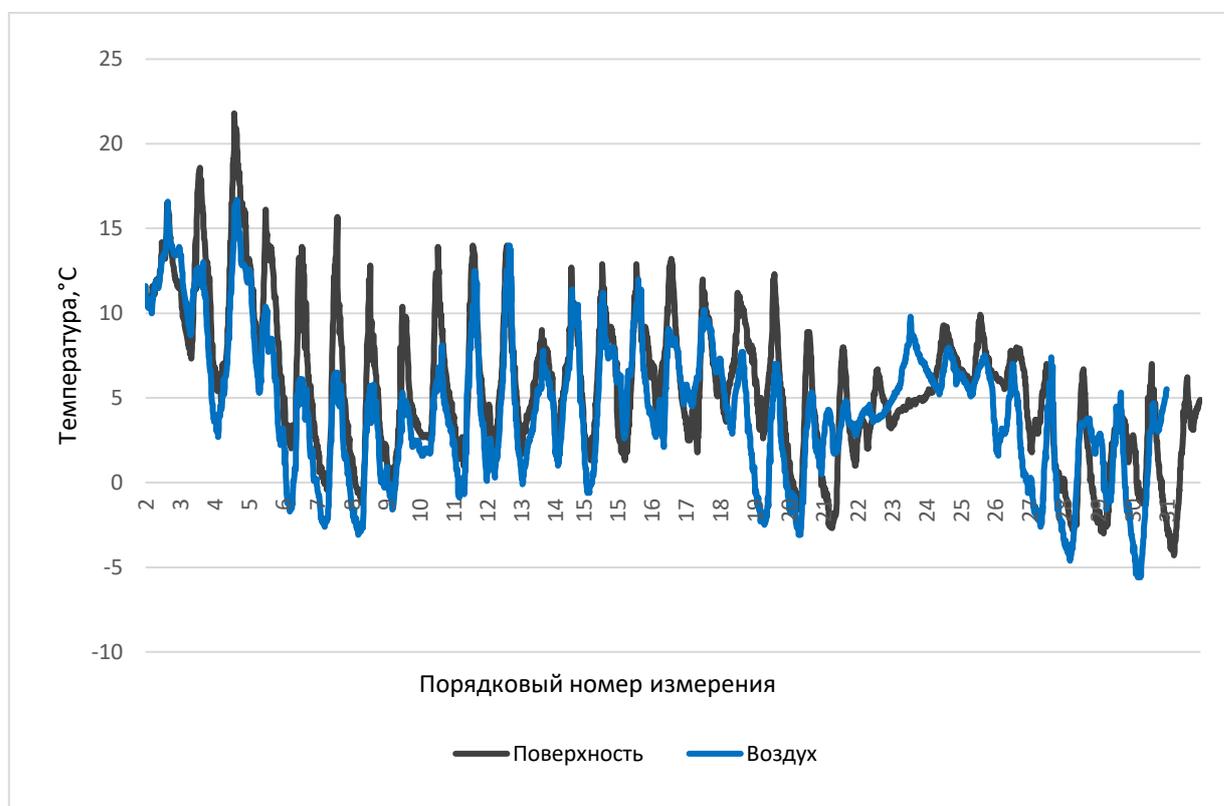


Рисунок 3.3 – Сезонный ход температур на 131 километре КАД

Суточный ход температуры поверхности дороги наиболее интенсивный, чем суточный ход температуры воздуха за счет прогрева в дневное время (поглощательные свойства покрытия гораздо больше, чем у воздуха) и выхолаживания ночью. Четкий суточный ход нарушается только

23 октября, когда поверхность дороги не имеет дневного максимума, что говорит о наличии облачности и отсутствии прогрева поверхности солнечными лучами в течение дня.

Переходы температур через 0°C на 131 км были более частыми за период исследования

- для температуры воздуха переход через 0°C был зафиксирован 13 раз в течение месяца в ночное время 6-9, 11, 13, 15, 20, 21, 28-31 октября;
- для температуры поверхности – 9 раз – 7-9, 20, 21, 28-31 октября.

Конечно, в первую очередь, это обусловлено местом расположения станции: открытое место, вокруг большая водная поверхность, сильные порывы ветра и т.д.

Максимум для температурных параметров наблюдался в начале месяца, а именно 4 октября и его значение соответствовало

- для температуры воздуха – $16,7^{\circ}\text{C}$;
- для температуры поверхности – $21,8^{\circ}\text{C}$.

Температурный минимум наблюдался

- для воздуха 31 октября и по данным составлял $-5,6^{\circ}\text{C}$ (что на $2,7^{\circ}\text{C}$ ниже минимума на 116 км);
- для поверхности дороги был зафиксирован 31 октября и был равен $-4,3^{\circ}\text{C}$ (что на $0,7^{\circ}\text{C}$ ниже минимума на 116 км).

Для станции на 9 км график включает только 13 дней (с 19 по 31 октября) из-за отсутствия данных. Тенденция изменения температур на 9 км аналогична последней половине месяца на 116 и 131 км (рис. 3.4). Температура поверхности и грунта в течение периода с 20-го по 26-е число поднималась, а с 27-го по 31-е число опускалась.

На всех кривых видно, что самые высокие температуры фиксировались на поверхности дороги. Это связано с приходящей радиацией и маленьким значением альбедо.

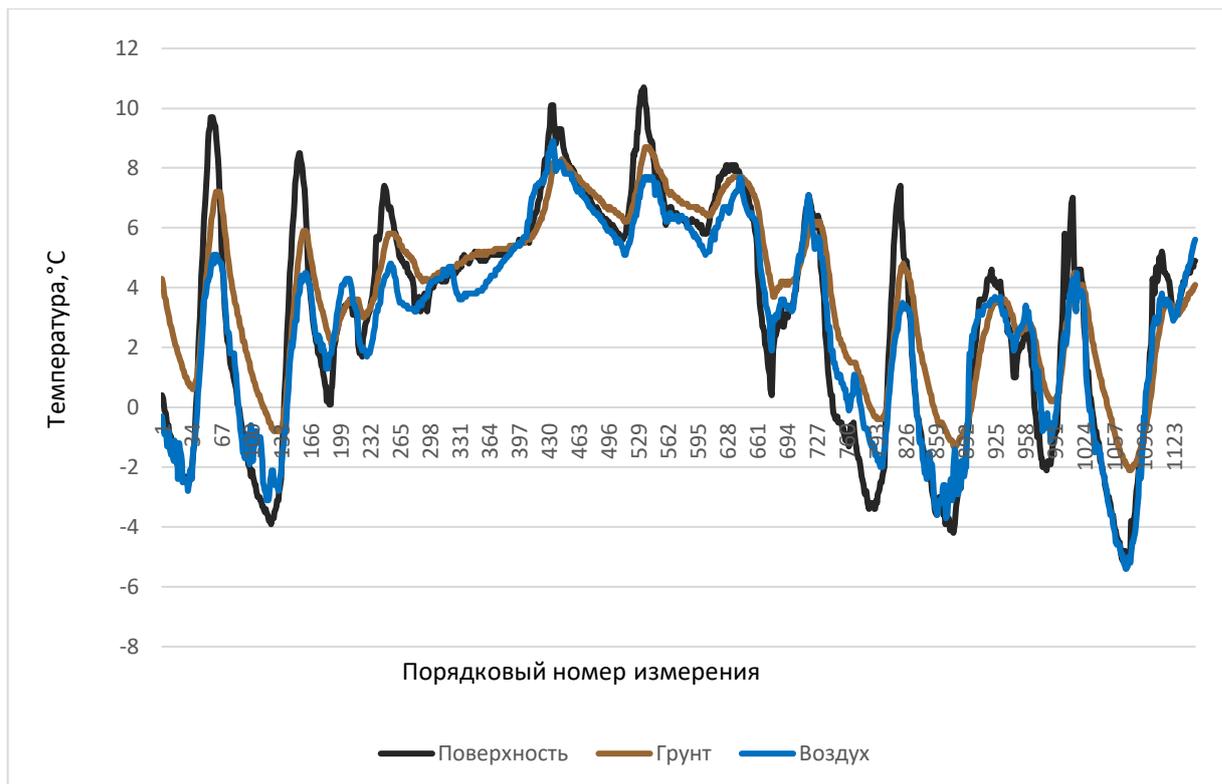


Рисунок 3.4 – Сезонный ход температур на 9 километре КАД

При сравнении графика температуры воздуха и графика температуры поверхности дороги можно заметить, что суточный ход температуры поверхности дороги наиболее интенсивный, чем суточный ход температуры воздуха. В конце октября суточный ход становится менее явным. Хорошо видно нарушение суточного хода 23 октября (как и на двух других АДМС), что говорит о наличии плотной облачности над всем участком дороги и отсутствии прогрева поверхности солнечными лучами в течение дня.

Переходы температур через 0°C на 9 км КАД наблюдались

- для температуры воздуха и температуры поверхности в ночное время 20, 21, 28-31 октября;
- для температуры грунта 21, 28, 29 и 31 октября.

Максимум для температуры воздуха наблюдался 24 октября и его значение соответствовало $8,9^{\circ}\text{C}$.

Максимум для температурных параметров поверхности и грунта наблюдался 25 октября и его значение составило

- для температуры поверхности и грунта – 10,7 °С.

Температурный минимум наблюдался 31 октября

- для воздуха он составлял -5,6 °С (что на 2,7°С ниже минимума на 116 км и равно минимуму на 131 км);
- для поверхности дороги был зафиксирован 31 октября и был равен -5,2°С (что является самым низким значением за месяц: на 0,9°С ниже минимума на 131 км и на 1,6°С ниже минимума на 116 км);
- для грунта – минус 2,1 °С, (что так же является самым низким значением за месяц и на 0,9°С ниже минимума на 116 км.

3.2 Определение связи между параметрами, на участке автомагистрали

Корреляционная связь – это, когда изменение значений величины или нескольких величин способствует изменению значения другой или других значений или других величин. Коэффициент, который показывает силу такой связи между значениями, называется коэффициентом корреляции.[11]

В ходе работы была выявлена корреляционная связь между температурой воздуха, температурой поверхности дороги, грунта, а также для давления и направления ветра для АДМС на 116, 131 и 9 км КАД и рассчитаны коэффициенты корреляции между исследуемыми параметрами.

При анализе матриц (табл. 3.1) с трех станций за октябрь 2015 года наиболее значение коэффициента корреляции наблюдается между температурами поверхности дорожного полотна и грунта на 116 км, так как параметры между собой взаимодействуют более плотно, чем с температурой воздуха.

Таблица 3.1

Корреляционные матрицы за октябрь 2015 года

а) по температуре воздуха, поверхности и грунта на 116 км

	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3
Столбец 1	1		
Столбец 2	0,926564926	1	
Столбец 3	0,81954227	0,788549451	1
0,8448855	-корреляция на 116 км		

б) по температуре воздуха и поверхности на 131 км

	Столбец 1	Столбец 2	
Столбец 1	1		
Столбец 2	0,825023926	1	
0,8250239	-корреляция на 131 км		

в) по температуре воздуха, поверхности и грунта на 9 км

	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3
Столбец 1	1		
Столбец 2	0,913875629	1	
Столбец 3	0,94763952	0,936453951	1
0,9326564	-корреляция на 9 км		

На 131 км данные по температуре грунта отсутствуют, то проследить что с чем лучше коррелирует не предоставляется возможным. Однако АДМС на 9 км КАД показывает хорошую связь между температурой поверхности и температурой воздуха, и она является самой максимальной (0,94) среди всех станций. Так же стоит отметить, что все рассчитанные коэффициенты показывают тесную связь между параметрами и являются значимыми.

Рассмотрим также взаимосвязь таких характеристик, как давление и направление ветра (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Корреляционные матрицы по давлению и направлению ветру за октябрь
2015 года

а) по атмосферному давлению по трем станциям

	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3
Столбец 1	1		
Столбец 2	0,998492538	1	
Столбец 3	0,999079689	0,999384848	1
0,9989857	-корреляция по давлению		

б) по направлению ветра по трем станциям

	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3
Столбец 1	1		
Столбец 2	0,130734526	1	
Столбец 3	-0,463324222	-0,215302084	1
-0,182631	-корреляция по направлению ветра		

При анализе матриц (табл. 3.2) отметим, что значение коэффициента корреляции, между по давлению с трех станций за октябрь 2015 года, составил 0,99, что является практически идеальным. На всех трех АДМС КАД зафиксированы максимальные коэффициенты корреляции (0,99).

При рассмотрении связи между направлениями ветров по трем станциям, можно наблюдать, очень слабую связь между первой и второй станциями (116 и 131 км). Между третьей и первой (9 и 116 км) и третьей и второй (9 и 131 км) станциями коэффициент корреляции отрицательный, следовательно, связь является обратной. Наиболее тесная связь наблюдается между станциями на берегах Финского залива ($r=-0,46$). Практически полное отсутствие связи по направлению ветра на второй станции можно объяснить особенностями места ее установки. Тут господствуют ветра с водной поверхности.

3.3 Комплексный анализ информации дорожных станций

Обратим внимание на даты перехода температуры воздуха через ноль, а именно 6, 7, 8, 20, 21, 28, 29, 30, 31 октября. Рассмотрим синоптическую ситуацию и проведем комплексный анализ в районе установки станций за все дни с переходами температуры воздуха через ноль.

С 6-го по 8-е октября на территории Ленинградской области фронтов не наблюдалось. Но над территорией Санкт-Петербурга и Ленинградской области фиксировались осадки (рис. 3.5), что сказалось на росте влажности, по данным измерений.

Исследуемый участок автомагистрали находился под влиянием антициклона в зоне повышенного давления (рис. 3.5). В течение трех дней атмосферное давление постепенно возрастало, что и способствовало выхолаживанию в ночные часы.

Однако, в период с 5 по 8 октября ситуация на участке дороги была не одинаковая. Например, на 116 км в этот период перехода температуры через ноль не наблюдалось. Для выяснения причины рассмотрим более подробно ситуацию на станциях.

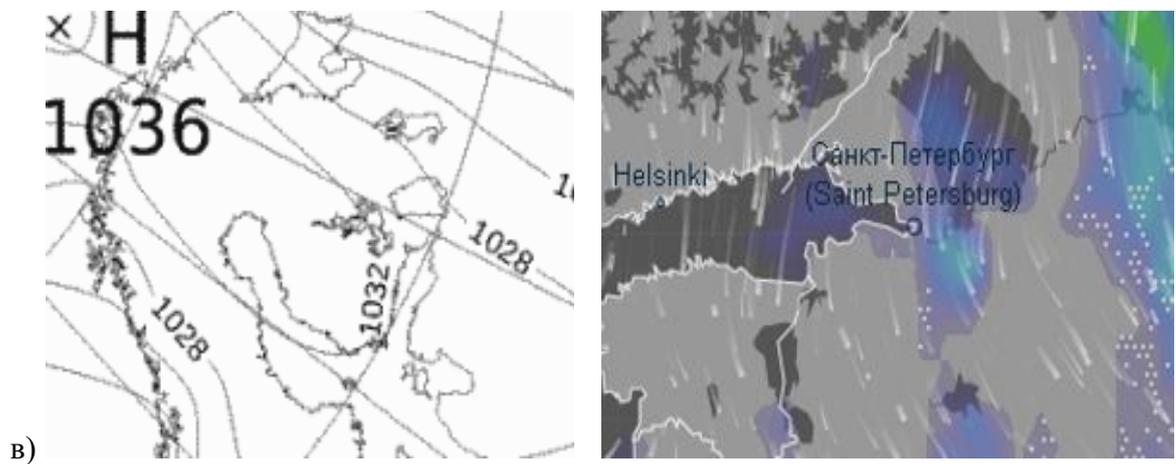
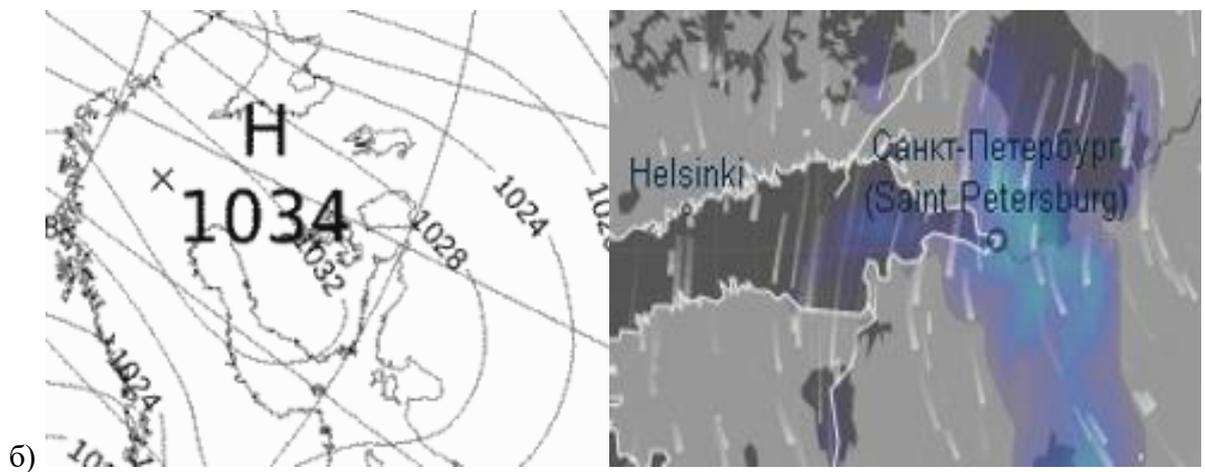
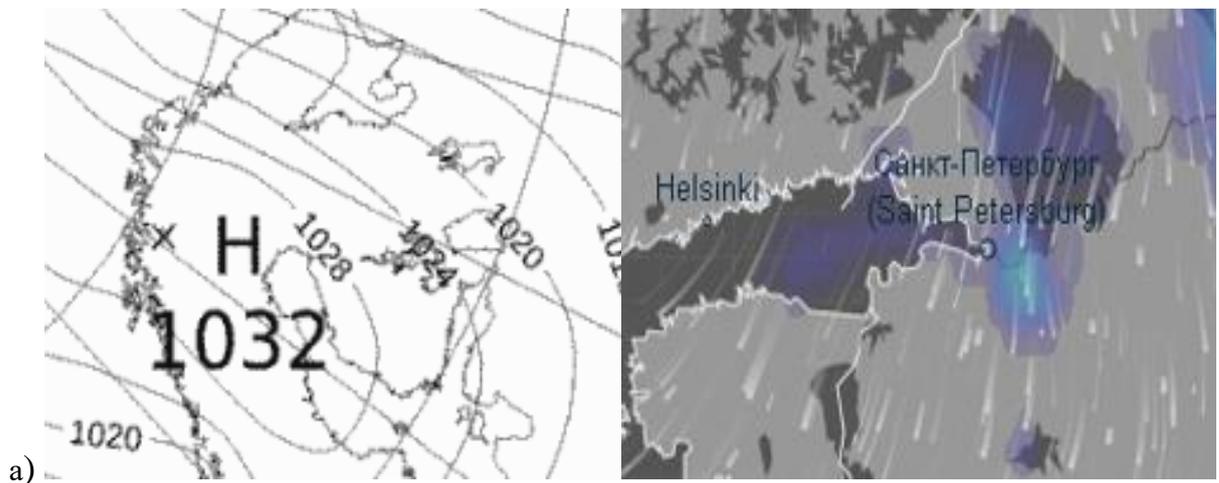


Рисунок 3.5 – Синоптическая карта и интерактивная карта Ventusky
 а) за 6 октября; б) за 7 октября; в) за 8 октября

Исследуем временную и пространственную изменчивость температуры воздуха на 116 и 131 км автомагистрали (рис. 3.6).

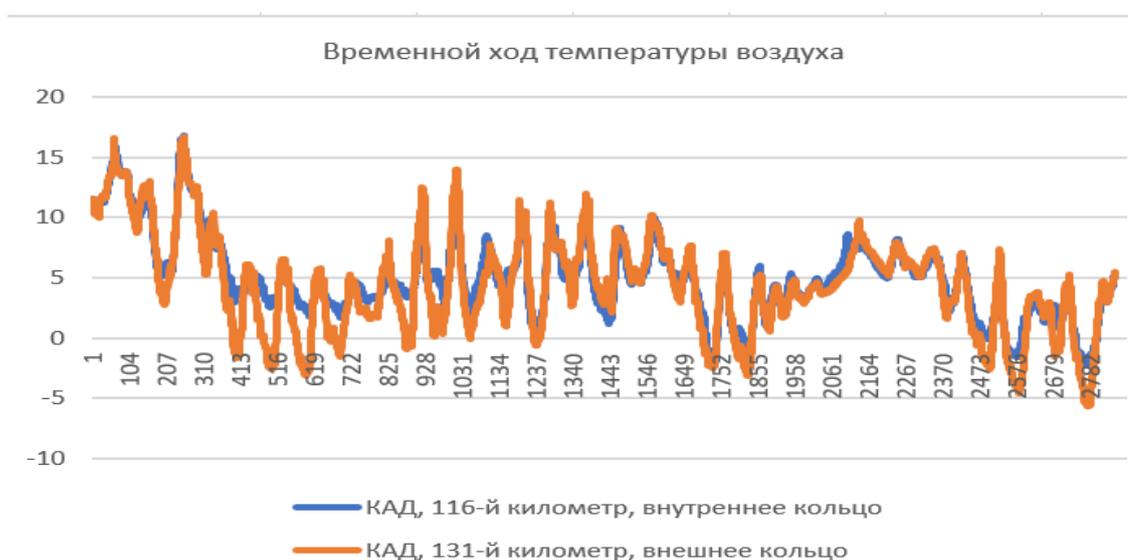


Рисунок 3.6 – Ход температуры воздуха на 116 и 131 км автомагистрали

Коэффициент корреляции по температуре воздуха достаточно высок – $r=0,93$ [11], но хорошо заметна разница в показаниях станций в ночной период 5-11 октября (с 371 по 989 измерение). В этот период южнее города проходил холодный фронт (что объясняет падение температуры воздуха с 15 до 5°C в дневное время), станция на 116 км оказалась в зоне кучевой облачности, а над 131 км небо было безоблачным (рис. 3.7), что способствовало выхолаживанию в ночное время. На 116 км КАД напротив, наличие облачности помешало падению температуры. Место установки дорожной станции на 116 км на рисунке 3.7 выделено цветом. Разница температур между станциями составляла более 5°C (-2,9°C на 131 км и 2,4°C на 116 км КАД).[5]

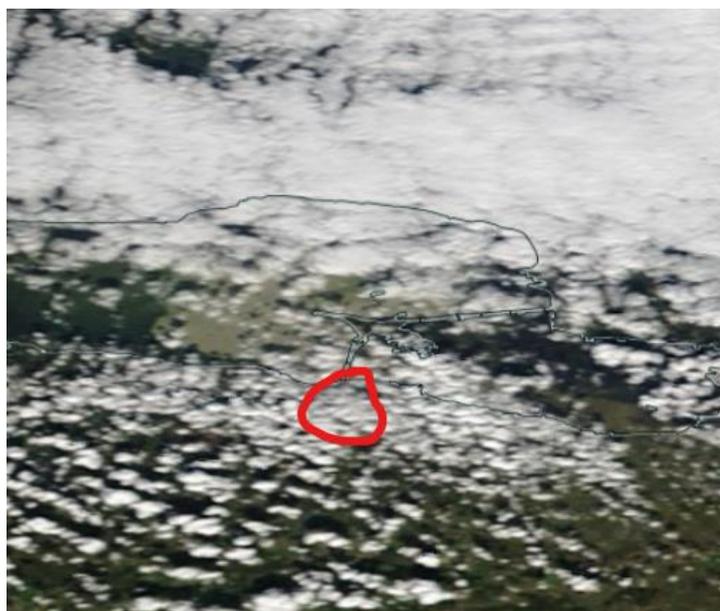


Рисунок 3.7 – Снимок со спутника за 5 октября 2015

Теперь проверим даты перехода через ноль в конце месяца (рис. 3.8).

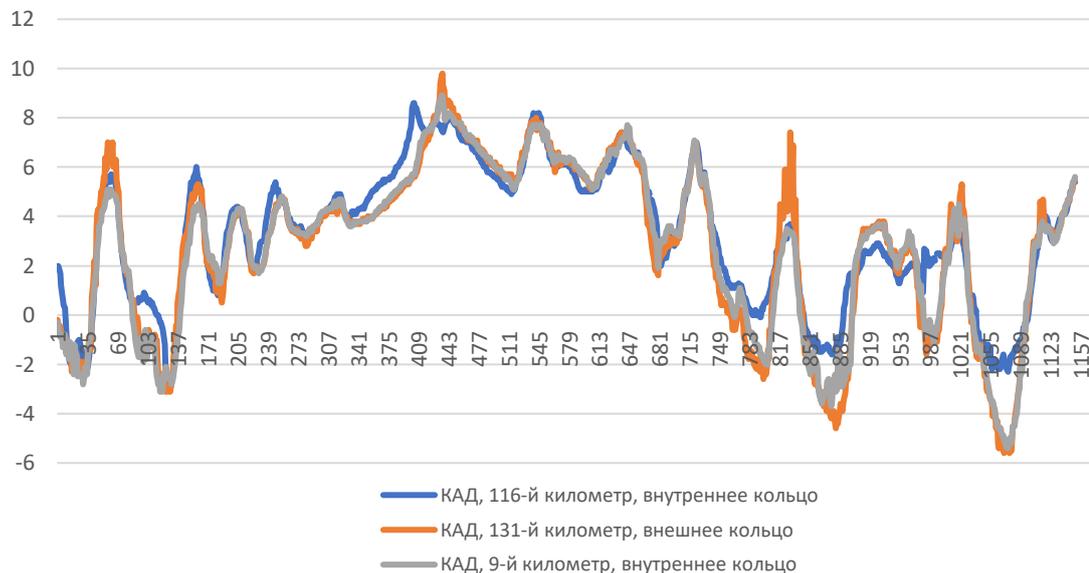


Рисунок 3.8 – Временной ход температуры воздуха на трех АДМС

Рассмотрим синоптическую ситуацию в районе установки станций 20 и 21 октября. 20 октября территория Санкт-Петербурга находилась под

влиянием циклона (рис. 3.9). Осадков не наблюдалось, однако происходило постепенное увеличение влажности до 95%. Скорости ветра не превышали 3 м/с. Небо было безоблачным, что и способствовало выхолаживанию в ночное время.

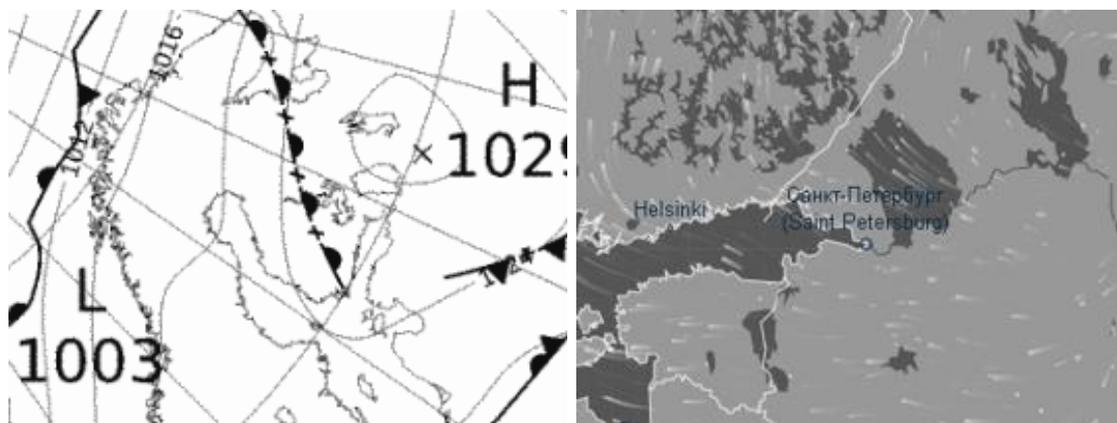


Рисунок 3.9 – Синоптическая карта и интерактивная карта Ventusky за 20 октября

21 октября территория снова находилась в области повышенного давления, но с запада подходил фронт окклюзии (рис. 3.10), что сопровождалось появлением облачности и повышением температуры в уже ночью 22 октября до положительных значений.



Рисунок 3.10 – Синоптическая карта и спутниковый снимок за 21 октября.

Аналогичная ситуация сложилась и в конце месяца (28-31 октября). Все эти дни рассматриваемый район находился под влиянием антициклона (рис. 3.11), что подтверждается наличием четкого суточного хода и переходом температуры через 0°C в ночное время. Только днем 29 октября над городом прошел фронт окклюзии, сопровождаемый плотной облачностью, что сразу отразилось на показаниях дорожных станций.

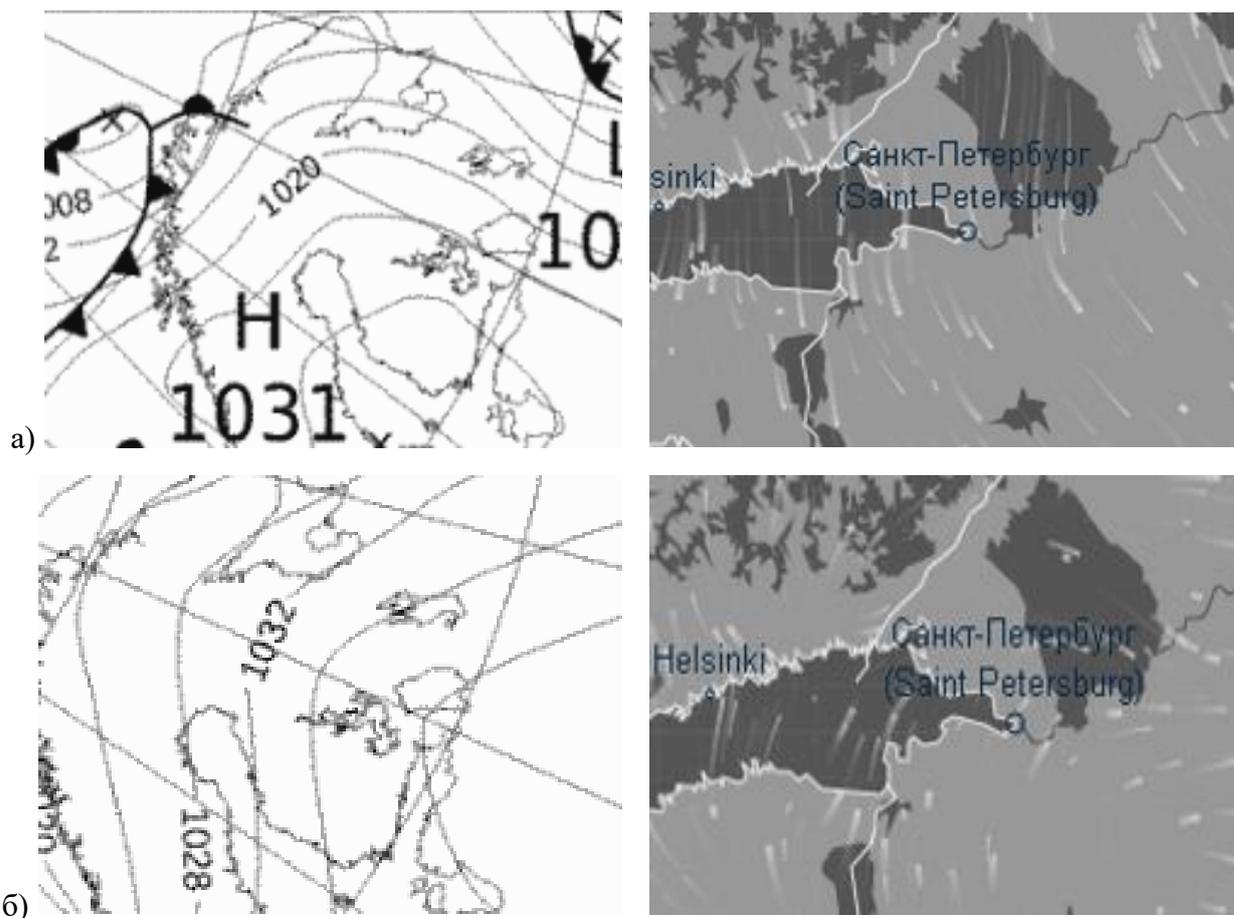


Рисунок 3.15 – Синоптическая карта и интерактивная карта Ventusky
а) за 28 октября; б) за 31 октября

А в ночь с 29 на 30 октября сложилась интересная ситуация (рис. 3.12, 3.13), когда при северо-западном ветре ($330-350^{\circ}$) облачность наблюдалась над станцией на 116 км и отсутствовала над двумя другими.

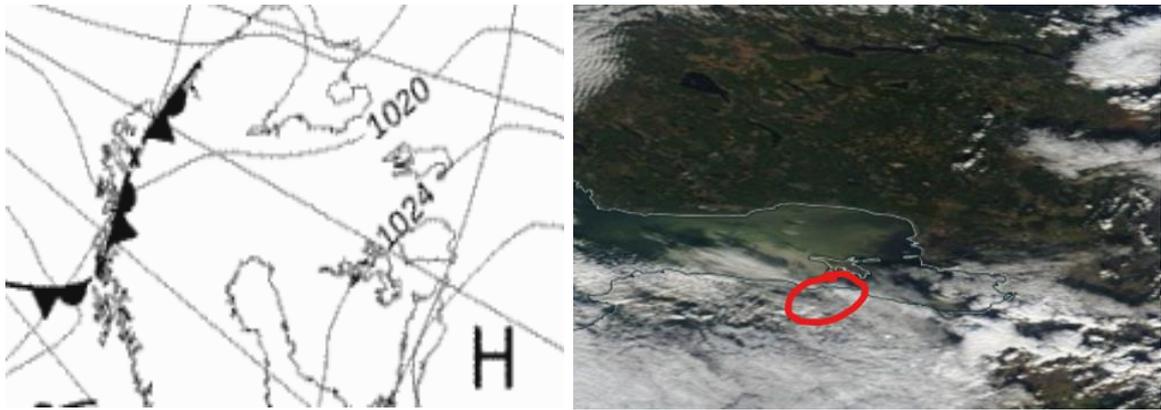


Рисунок 3.12 – Синоптическая карта и спутниковый снимок за 29 октября

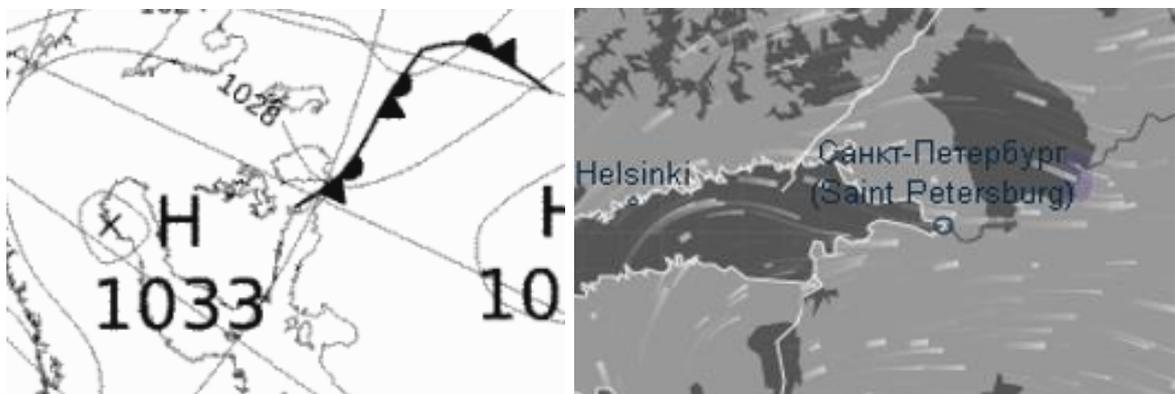


Рисунок 3.13 – Синоптическая карта и интерактивная карта Ventusky за 30 октября.

Место установки дорожной станции на 116 км на рисунке 6 выделено цветом. Именно в это время разница температур между станциями составила более трех градусов: на 116 км $+2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, на 131 км – минус $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, на 9 км – минус $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Заключение

При выполнении выпускной квалификационной работы, мною были рассмотрены сформированные архивные временные ряды, полученные с четырех дорожных метеорологических станций, расположенных на 116, 131 и 9 км кольцевой дороги Санкт-Петербурга.

Для выполнения расчетной части исследования и поставленных задач:

1. Сформирован, синхронизирован по времени и подготовлен к дальнейшей обработке архив температурных параметров окружающей среды и дорожного полотна за октябрь 2015 года по данным, полученным с автоматических дорожных метеорологических станций, установленных на 116, 131 и 9 км внутреннего кольца КАД СПб.
2. Исследован пространственно-временной ход температурного режима воздуха и дорожного полотна за октябрь 2015 года.
3. Исследована зависимость температурных параметров воздуха и автомагистрали, а также давления и направления ветра за октябрь 2015 года.
4. Подготовлены и проанализированы синоптические карты и снимки со спутника

В результате проделанной работы, выявлено:

- временная изменчивость температуры воздуха на трех дорожных станциях имеет много общего;
- в октябре 2015 года станция на 116 км является наиболее «теплой» при ветрах северо-западного направления;
- формирование облачности способствует возникновению разницы температур на соседних участках автомобильной дороги, что необходимо учитывать при эксплуатации дорог в осенне-зимний период.[5]

Список используемых источников

1. Самодурова Т.В. Оперативное управление зимним содержанием дорог. Научные основы: Монография/. — Воронеж: Изд-во Воронеж гос. унта., 2003. – 168 с.
2. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Автоматические метеорологические станции. Часть 1. Тактико-технические характеристики. Учебное пособие. — Санкт-Петербург, РГГМУ, 2016. – 127 с.
3. Васильев А.П., Немчинов М.В. Безопасность движения в осенний и весенний периоды года / А.П.Васильев, М.В. Немчинов. - М.: Транспорт, 1976 . - 79 с.
4. Базлова Т.А. Автоматизированная информационно-измерительная система «МетеоТрасса». Строительство и дорожное хозяйство. 2010.
5. Хабибуллин Е.Р., Восканян К.Л. Комплексный анализ информации о температуре воздуха по данным дорожных метеорологических станций. Материалы II Международной научно-практической конференции «Гидрометеорология и физика атмосферы: современные тенденции в гидрометеорологии», СПб, 20-22 марта 2024 г
6. URL:[https:// www.spb-guide.ru/page_19019.htm](https://www.spb-guide.ru/page_19019.htm) (Электронный ресурс) КАД - Кольцевая автодорога Санкт-Петербурга (дата обращения: 23.05.2016).
7. URL:http://www.iram.ru/iram/p31_mtras_ru.php (дата обращения:
8. Хабибуллин Е.Р. Изменчивость температуры воздуха на участке автомагистрали. Материалы Международной студенческой конференции «Международный студенческий форум 2024» (Электронный ресурс). Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2024/article/2018036962>
9. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. //Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – с. 677.

10. Бекряев В.И. Основы теории эксперимента / Учебное пособие.- СПб.: Изд. РГТМУ, 2001. – с. 266.
11. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Автоматические метеорологические станции. Часть 2. Цифровая обработка данных автоматических метеорологических станций. Практикум.- СПб.: РГГМУ. – 2015.- 99 с.
12. [URL:http://www.raimet.ru](http://www.raimet.ru) (дата обращения: 23.05.2017).
13. [URL:http://www.vaisala.com](http://www.vaisala.com) (дата обращения: 23.05.2017).
14. Распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации от 09.10.2002 N ОС-859-Р "Об утверждении "Методических рекомендаций по разработке проекта содержания автомобильных дорог" (электронный ресурс). Режим доступа: <https://mtdi.mosreg.ru/deyatelnost/knd/osushchestvlenie-regional/profilaktika-narusheniy/12-09-2018-16-58-27-rasporyazhenie-ministerstva-transporta-rossiyskoy?ysclid=lwdox2g63578381804>