



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 «Комплексный анализ данных на участках КАД СПб»

Исполнитель **Халитова Гульназ Наилевна**
(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)

«16» мая 2025 г.

Санкт-Петербург

2025

Содержание

		Стр.
	Введение	3
1	Кольцевая автомобильная дорога города Санкт-Петербург	5
1.1	Описание КАД Санкт-Петербурга	5
1.2	Метеорологические явления, оказывающие влияние на состояние дорожного полотна	7
1.3	Барическое образование как погодообразующий фактор	8
1.4	Метеорологическое обеспечение КАД СПб	10
1.5	Функции и задачи АИИС «Метео-Трасса»	11
2	Автоматические дорожные метеорологические станции (АДМС)	13
2.1	Установка АДМС, функции и задачи	13
2.2	Метеорологические датчики АДМС	15
2.2.1	Датчики измерения параметров ветров WA15	15
2.2.2	Датчик измерения атмосферного давления РТВ110	16
2.2.3	Датчик температуры и влажности НМР155	17
2.2.4	Датчик осадков DRD11A	17
2.3	Расположение АДМС на участках КАД СПб	18
3	Комплексный анализ метеорологических данных	21
3.1	Подготовка архива данных метеорологических параметров	21
3.2	Анализ изменчивости метеопараметров за выбранный период	22
3.3	Определение корреляционной связи между метеопараметрами	33
3.4	Расчет разницы метеорологических величин	36
3.5	Исследование синоптической ситуации на участках КАД	43
	Заключение	48
	Список использованных источников	49

Введение

Обеспечение безопасности автомобильного движения во многом зависит от погодных условий на дороге, к которым относят такие опасные явления как гололед, гололедица, скользкость, туманы и так далее. Увеличение транспортного потока требует повышения безопасного передвижения, особенно на автодорогах со сложными конструкциями, как мосты, эстакады, развязки.

Для предупреждения опасных метеорологических условий используется сеть автоматических дорожных станций, оснащенных датчиками, которые дистанционно доставляют полученные данные до оператора. Такая система метеообеспечения позволяет получить данные в реальном времени, а также дает информацию для выпуска кратковременных прогнозов.

Автоматические дорожные метеорологические станции размещаются на небольших друг от друга расстояниях, с шагом приблизительно километр или несколько. Такой интервал выбирается для отслеживания различий в метеопараметрах между выбранными участками автодороги.

Цель данной работы:

- исследовать влияние метеорологических параметров атмосферного воздуха на выбранные участки кольцевой автомобильной дороги в осенне-зимний период.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить ряд задач:

- ознакомиться с правилами установки АДМС на автомобильных дорогах;
- исследовать и описать место расположения АДМС на выбранных участках КАД;
- сформировать архив данных за период с сентября по ноябрь 2015 года;

- исследовать пространственно-временную изменчивость метеопараметров атмосферного воздуха на участках КАД;
- определить наличие или отсутствие статистической связи между метеопараметрами;
- определить разность для некоторых параметров атмосферного воздуха между станциями;
- выполнить комплексный анализ синоптической ситуации на выбранных участках, используя карты и спутниковые снимки.

В работе будут рассмотрены метеоданные на участках 58-57 километра КАД (Большой Обуховский мост), а также на 55-м километре. Данные получены автоматическими дорожными станциями за осень 2015 года.

1 Кольцевая автомобильная дорога города Санкт-Петербург

1.1 Описание КАД Санкт-Петербурга

Кольцевая автомобильная дорога города Санкт-Петербург (КАД СПб) или А-118 это кольцевая, то есть окружная автомобильная трасса общего пользования, имеющая федеральное значение и проходящая по территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области (рис. 1.1).

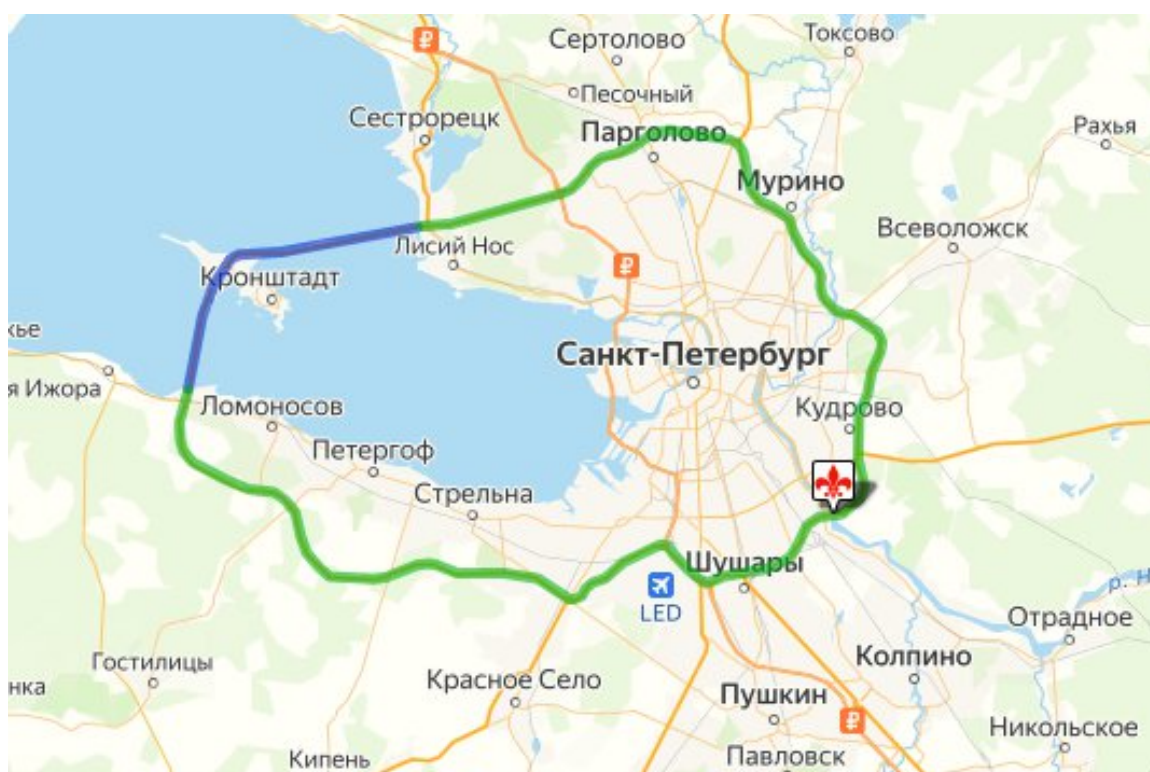


Рисунок 1.1 – Кольцевая автомобильная дорога города Санкт-Петербург

Протяженность трассы составляет 116,75 километров, а с учетом защитной дамбы Санкт-Петербурга (Комплекс защитных сооружений), длина которой равна 25,4 километра, общая величина достигает 142,15 километров. Ширина магистрали от 15 до 32 метров, развязок на трассе 26, количество полос движения от 4 до 8, допустимая скорость движения – 110 км/с. Всё это дает ряд преимуществ:

1. Отсутствие светофоров и перекрестков, из-за чего движение на КАД без остановок, и потому быстрее;
2. Большие радиусы поворотов, которые создают впечатление прямой дороги;
3. Отсутствие на дороге пешеходов и животных;
4. КАД отводит от города большие транзитные потоки, тем самым разгружает городские дороги.

Несмотря на указанные преимущества и отсутствие пробок, на кольцевой дороге случаются опасные ситуации, связанные с авариями по причине превышения скоростного режима, а также при сложной метеорологической ситуации.

Одним из самых сложных участков автомобильной дороги является Большой Обуховский мост (рис. 1.2). Мост вантовый неразводной. Полная длина вместе с эстакадой составляет 2884 метра, протяженность вантового моста – 994 м., высота судоходного пролета над поверхностью воды составляет 30 метров.

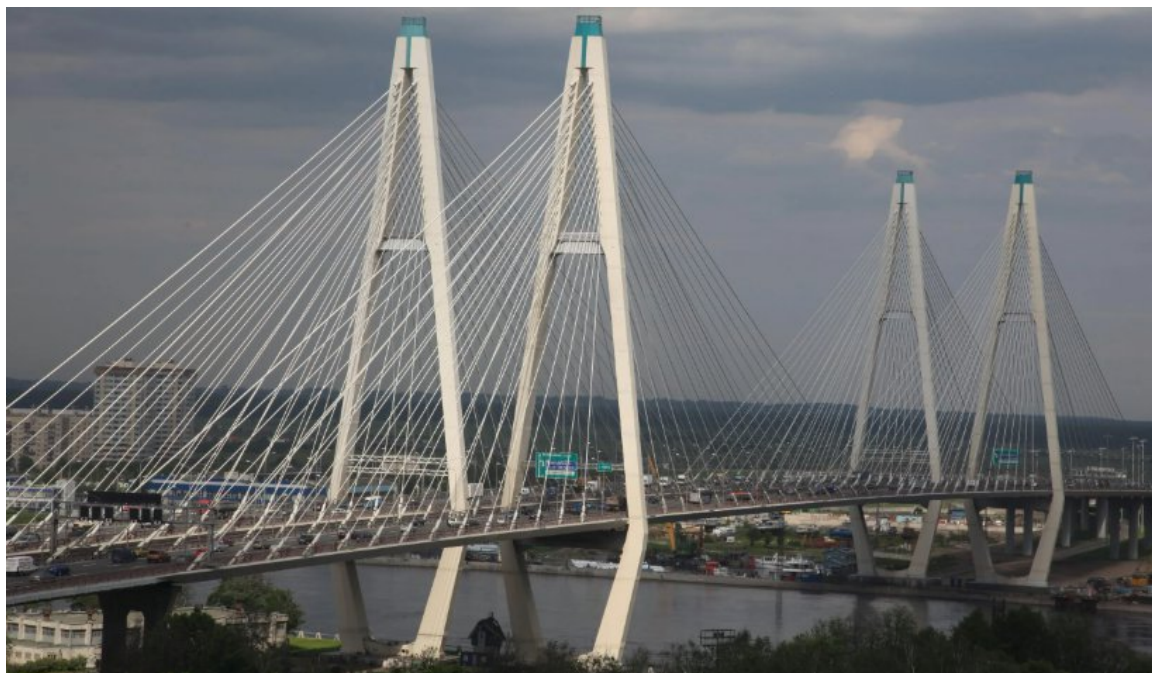


Рисунок 1.2 – Большой Обуховский мост

Строительство такого длинного моста, расположенного над достаточно широкой частью реки, требует постоянного мониторинга состояния окружающей среды, чтобы обеспечивать безопасное движение автомобилей [1].

1.2 Метеорологические явления, оказывающие влияние на состояние дорожного полотна

Погода, а именно метеопараметры, существенно влияет на состояние поверхности дороги, с которой взаимодействует автомобиль и водитель. Обеспечение безопасного движения на магистралях и трассах в условиях опасных и неблагоприятных метеорологических условиях, таких как дождь, снегопад, метель, гололед, гололедица, туман и т.д., является главной задачей служб метеорологического обеспечения на дорогах.

Метеорологические параметры оказывают большое влияние на качество дорог и движения, и потому состояние дорожного полотна оценивается такими качественными характеристиками, как: сухое, влажное, мокрое (чистое и загрязненное), заснеженное (рыхлый или уплотненный снег), шероховатое, скользкое, с колеями и выбоинами.

К параметрам и характеристикам дорог, от которых зависят условия движения на трассе, относятся меняющиеся в результате сезонных колебаний метеорологических явлений следующие факторы:

- Состояние дорожного покрытия и обочин - изменяются очертания и внешний вид дорожного покрытия за счет снежных отложений и образования полос наката;
- Сцепные качества – ухудшение сцепных качеств дорожного покрытия, его ровность под воздействием осадков, гололеда, тумана, повышенной влажности;

- Сопротивление движению – возрастает сопротивление из-за отложений снега, грязи, гололеда, появления неровностей на дороге;
- Видимость на дороге – снижение видимости в периоды туманов, осадков, пыльных бурь;
- Ухудшение эксплуатационно-технических качеств автомобиля и систем удобства и безопасности движения, в точности тормоза, руление автомобилем, обзор и видимость.

Последовательность метеоявлений, которые создают наиболее сложные ситуации на дороге, по степени оказания наибольшего влияния на дорожное движение, это гололед, метель, дождь, снег, туман и ветер. В летний сезон трассы, как правило, сухие и чистые, а переходные периоды, весной и осенью, дорожное покрытие влажное или мокрое [2].

1.3 Барическое образование как погодообразующий фактор

Наибольшие изменения метеорологических величин, а значит и погоды, вызывает перемещение воздушных масс. Это большие объемы атмосферы, различающиеся своими метеопараметрами, характерными для каждого вида воздушных масс. В зависимости от каждого типа, атмосферные массы делятся на холодные и теплые. С приходом холодной воздушной массы наблюдается понижение температуры, ливневые осадки и грозы, с теплой воздушной массой приходят туманы, морозящие осадки и снежные крупы. Область между холодной и теплой воздушными массами называется фронтом, это переходная зона двух различных масс.

Когда две массы воздуха смыкаются, на их разделе образуется зона с пониженным давлением – циклон (рис. 1.3). Изменение погодных условий будет зависеть от того, в какой части циклона находится исследуемая территория.

Противоположное циклону барическое образование – антициклон, зона с повышенным давлением. Здесь не наблюдаются фронты. Погода, наблюдающаяся в антициклоне, обычно безоблачная, без осадков, однако есть свои особенности. Ночью летом и в холодное время года возможно образование туманов, слоистых облаков [3], [4].

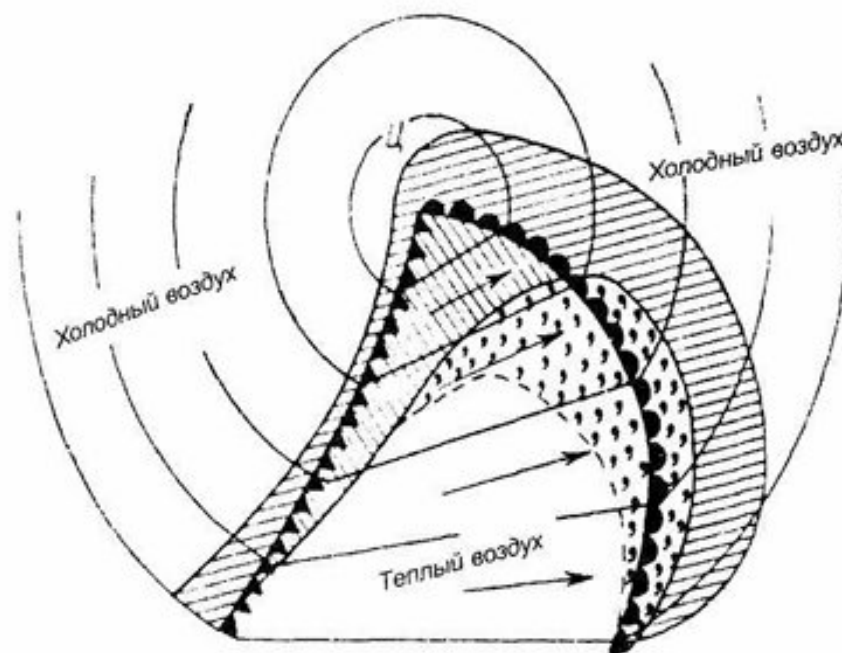


Рисунок 1.3 – Схема циклона

Для выявления барического образования, а также для прогноза его дальнейшего перемещения и развития, используют карту погоды или же синоптическую карту (рис. 1.4).

Синоптическая карта представляет собой набор символов, цифр и знаков, которыми обозначаются метеопараметры, поступающие с метеорологических станций, цветными кружочками обозначаются зоны с осадками. Также синими и красными линиями на карте представлены холодный и теплый фронт соответственно. Синоптические карты составляются Гидрометцентром [4].

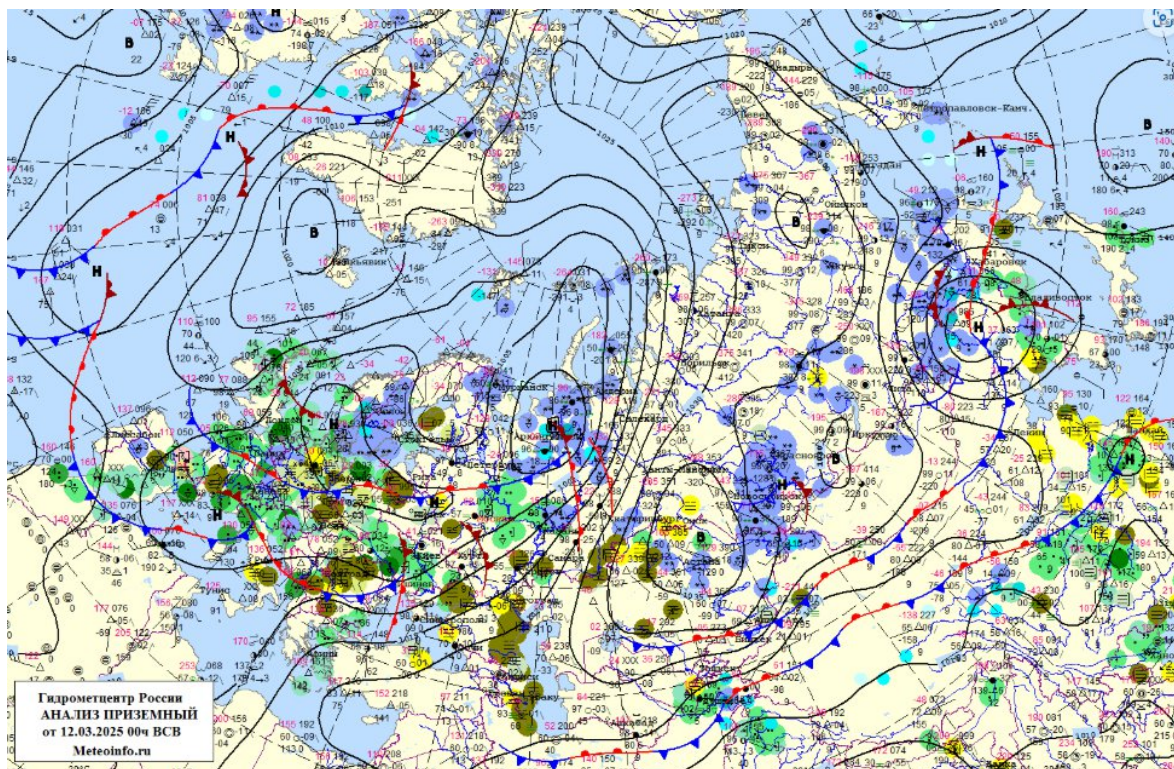


Рисунок 1.4 – Пример синоптической карты

1.4 Метеорологическое обеспечение КАД СПб

Кольцевая автомобильная дорога – это идеальная конструкция для быстрого и удобного передвижения транспорта. Однако на КАД случаются аварийные ситуации, которые затрудняют безопасное движение. Большая часть опасных происшествий связана с неблагоприятными или опасными метеорологическими явлениями на дороге, особенно в осенне-зимний период, когда наблюдаются туманы, снежные осадки, гололед, гололедицы, скользкость на дороге, ограничивающие передвижение.

Для обеспечения безопасности на дороге и проведения соответствующих мероприятий по борьбе с процессами, вызывающими дорожно-транспортные происшествия, дорожные службы должны обеспечиваться актуальной информацией о состоянии дорог, прогнозом опасных явлений.

Одним из способов борьбы против опасных погодных явлений служит установка автоматической информационно-измерительной системы (АИИС) «Метео-Трасса». АИИС представляет собой объединенную систему метеостанций на дороге, включающих 32 станции, которые предоставляют актуальную информацию о состоянии дороги и атмосферы. Это дает возможность вовремя принимать меры по обеспечению комфортного и безопасного передвижения [5].

1.5 Функции и задачи АИИС «Метео-Трасса»

АИИС «Метео-Трасса» (рис. 1.5) предназначена для получения своевременной специализированной метеоинформацией службы содержания автомобильных дорог. Полученные данные позволяют дорожным организациям иметь достоверные сведения о погоде и ее изменениях и вовремя подготовиться к опасным или неблагоприятным метеорологическим явлениям [6].



Рисунок 1.5 – Схема АИИС «Метео-Трасса»

Главными задачами «Метео-Трассы» являются отслеживание и выявление неблагоприятных явлений (туман, осадки, сильные порывы ветра), сбор, обработка и хранение данных АДМС в виде карт, таблиц и графиков, предупреждения дорожных служб о метеоявлениях, а также незамедлительное информирование водителей метеоинформацией и предупреждающими знаками с помощью информационного табло (рис. 1.6) [7].

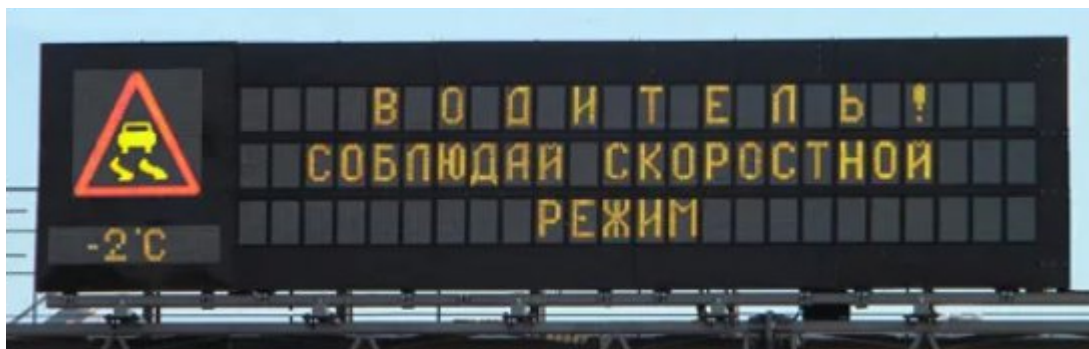


Рисунок 1.6 – Пример информационного табло

Основные функции АИИС «Метео-Трасса»:

- Измерение и выдача метеоинформации и данных о состоянии дорожного полотна;
- Прием и передача информации по каналам связи;
- Выдача предупреждений об опасных метеорологических явлениях;
- Прогноз состояния покрытия и температуры покрытия дорог на 4 часа вперед на основе численных методов.

2 Автоматические дорожные метеорологические станции (АДМС)

2.1 Установка АДМС, функции и задачи

Информации, которую дает наблюдательная сеть метеорологических станций, не достаточно для дорожных служб для организации безопасности на дорогах. Для получения более обширных данных на дорогах устанавливаются сеть автоматических дорожных метеорологических станций (АДМС).

АДМС – это набор датчиков (рис. 2.1), установленных вдоль трассы, автомагистралей, для получения данных состояния не только атмосферы, но и дорожного полотна [4]. Данные фиксируются дистанционными датчиками, затем по линиям связи передаются на ПК оператора.

Дорожные станции, как правило, устанавливаются на термически неоднородных участках автомобильных дорог и местах с повышенной вероятностью образования опасных метеоявлений, а также там, где есть искусственные сооружения, например, мосты, эстакады, крутые повороты.



Рисунок 2.1 – Внешний вид АДМС

Современные АДМС потребляют мало энергии и потому могут работать от солнечной энергии, однако, укомплектованы аккумуляторами резервного питания [7].

Характеристики атмосферы и дорожного полотна, измеряемого АДМС:

- 1) Температура окружающей среды;
- 2) Относительная влажность;
- 3) Интенсивность и вид осадков;
- 4) Атмосферное давление;
- 5) Скорость и направление ветра;
- 6) Состояние дорожного полотна (сухая, мокрая, влажная, лед, снег и др);
- 7) Температура на поверхности дороги и на глубинах 5 и 30 см;
- 8) Температура замерзания противогололедных реагентов.

Составные части дорожных метеостанций:

- 1) Метеомачта – металлическая труба, закрепленная у основания. Служит для размещения метеодатчиков, также на ней устанавливается аппаратный шкаф.
- 2) Аппаратурный шкаф – металлическая коробка в защитном корпусе, служащая для размещения в ней программируемых контроллеров съема метеоинформации с датчиков, преобразователей питания и оборудования коммутации и связи. Размещается на метеомачте;
- 3) Интерфейсная плата DRI521/DRI511 – устройство, содержащее пакеты программ, которые нужны для измерения и других процессов, осуществляющих общий анализ поверхности дорожного покрытия [7].

2.2 Метеорологические датчики АДМС

Применение АДМС оказывает важное значение для безопасности дорожного движения, а именно во время сложных погодных условий на дороге. Для этого дорожные станции оснащены приборами, дистанционно передающими информацию, то есть датчиками. Базовый состав АДМС на примере «Vaisala ROSA» состоит из:

- 1) Система измерения скорость и направление ветра WA15;
- 2) Цифровой барометр РТВ110;
- 3) Датчик температуры и влажности НМР155;
- 4) Детектор дождя DRD11А [7].

2.2.1 Датчики измерения параметров ветров WA15

Датчик измерения параметров ветра – это комплект приборов, который состоит из анемометра WAA151 и флюгера WAV151, также в состав входят блок питания и кабели [8] (рис. 2.2).

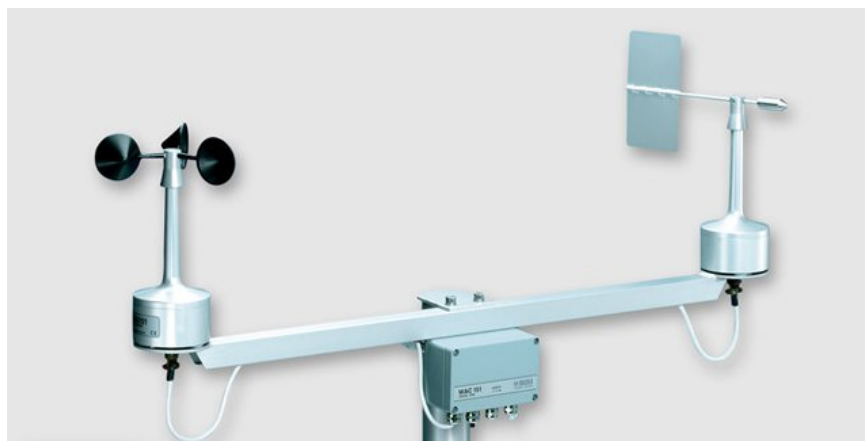


Рисунок 2.2 – Датчики измерения ветра

Анемометр WAA151 это малоинерционный, высокочувствительный и низкопороговый прибор с тремя чашечками конической формы, которые

крепятся к валу вертушки. Работа датчика основана на преобразовании скорости воздушного потока в электрический импульс, который, в свою очередь, преобразуется в скорость ветра по специальному алгоритму.

Работа флюгера WAV151 основана на преобразовании угла поворота флюгарки в электрический импульс с помощью оптического кодового диска. Дальше направление ветра вычисляется преобразованием поступивших электрических импульсов в угловое положение вала в направлении воздушного потока [9].

2.2.2 Датчик измерения атмосферного давления РТВ110

Цифровой барометр РТВ110 предназначен для дистанционного измерения атмосферного давления (рис. 2.3). Работы датчика состоит в том, что он измеряет ёмкость керамического конденсатора, а затем преобразует его в аналоговый электрический сигнал. Этот сигнал преобразуется в цифровой и отображается на экране ПК [9].



Рисунок 2.3 – Датчик измерения давления

2.2.3 Датчик температуры и влажности НМР155

Измеритель температуры воздуха и влажности НМР155 представляет из себя датчик с длинным кабелем, в котором установлены сенсоры влажности и температуры (рис. 2.4). Сенсор защищен тефлоновым покрытием, который не допускает попадание воды, пыли и прочих загрязнений.

Для измерения температуры воздуха преобразуется сопротивление сенсора температуры Pt100 в электрический сигнал, который дальше преобразуется в цифровой, затем передается на экран ПК. Для измерения влажности преобразуется ёмкость сенсора влажности в электрический сигнал [9].



Рисунок 2.4 – Датчик измерения температуры и влажности воздуха

2.2.4 Датчик осадков DRD11A

Измеритель осадков DRD11A предназначен для быстрого и точного измерения интенсивности осадков и их вида (дождь/снег) (рис. 2.5) [8].

Работа датчика заключается в определении капель с использованием сенсорной пластины RainCap. Прибор оснащен специальной схемой задержки, суть которого в течении двух минут судить о прекращении осадков (прекращение дождя или небольшой дождь).

Для оценки интенсивности осадков используется аналоговый сигнал [9].



Рисунок 2.5 – Датчик измерения осадков

2.3 Расположение АДМС на участках КАД СПб

Для проведения анализа метеопараметров на участках КАД были выбраны 3 станции, расположенные на 58-м и 57-м километрах (с обеих сторон Большого Обуховского моста) и на 55-м километре. Первые две АДМС расположены на сложном участке КАД на противоположных частях моста.

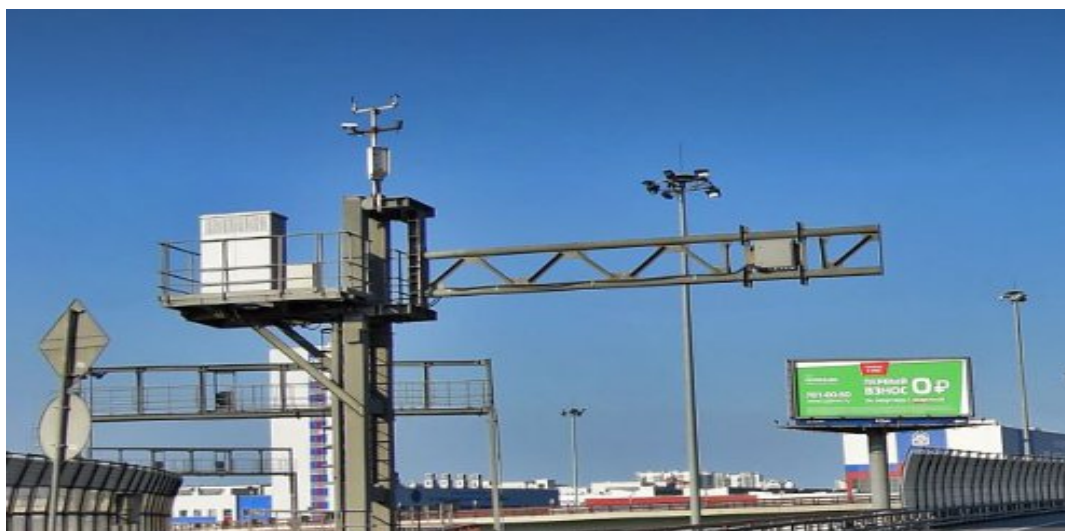


Рисунок 2.6 – Внешний вид АДМС на 58-м километре АДМС

Первая станция (рис. 2.6) с координатами 59.85 северной широты и 30.47 восточной долготы расположена на 58-м километре внутреннего кольца КАД. Станция находится примерно в 700 метрах от Невы на развязке с правой стороны Большого Обуховского моста. Станция с двух сторон окружена зданиями. АДМС установлена на Г-образной опоре над проезжей частью.

Вторая станция (рис. 2.7) расположена на 57-м километре внутреннего кольца КАД с другой стороны Большого Обуховского моста на расстоянии примерно 400 метров от реки. Станция окружена небольшими зданиями.



Рисунок 2.7 – Внешний вид АДМС на 57-м километре АДМС



Рисунок 2.8 – Внешний вид АДМС на 55-м километре АДМС

Третья станция находится на 55-м километре внутреннего кольца КАД (рис. 2.8). На расстоянии примерно 300 метров справа по направлению движения находится река Утка. Справа от АДМС расположены многоэтажки. Станция установлена на расстоянии 1,5 км от 57-го километра.

3 Комплексный анализ метеорологических данных

3.1 Подготовка архива данных метеорологических параметров

Для комплексного анализа метеорологических данных на участках КАД за осенние месяцы 2015 года был сформирован архив из данных о температуре, влажности, давлении, скорости и направлении ветра и осадках, полученных с автоматических дорожных метеорологических станций КАД на 55, 57 и 58 километрах. Дискретность измерений составляет 5 минут, однако измерения велись не синхронно, и потому имеются разрывы (рис. 3.1).

18:55	4,6	74	1,3	35	0	1021
19:00	4,6	75	1	41	0	1021
19:20	4,6	76	0,9	52	0	1021
19:25	4,6	77	0,8	54	0	1021
19:30	4,7	77	0,9	54	0	1021
19:35	4,6	77	0,8	54	0	1021
19:40	4,6	78	0,8	55	0	1021
19:45	4,7	78	1,2	52	0	1021
19:55	4,6	78	1,2	61	0	1021
20:05	4,6	78	1,2	58	0	1021
20:10	4,5	78	1	58	0	1021

Рисунок 3.1 – Пример разрывов метеопараметров

00:00	14	78	99999	229	0	1013,1
00:05	13,9	77	99999	229	0	1013,1
00:10	13,9	77	99999	229	0	1013,1
00:15	13,8	77	99999	229	0	1013,1
00:20	13,8	78	99999	229	0	1013,1
00:25	13,9	78	99999	229	0	1013
00:30	13,9	77	99999	229	0	1013,1
00:35	13,9	77	99999	229	0	1013,1
00:40	13,9	77	99999	229	0	1013

Рисунок 3.2 – Отсутствие значений скорости ветра на 57-м километре

Также на второй станции, на 57 километре, за весь период, то есть с сентября по ноябрь, не велись измерения скорости ветра, также вероятно был неисправен датчик направления ветра, так как он за весь период показывал только один результат (рис. 3.2). Эти факты будут учитываться при дальнейшем анализе. Температура воздуха, как и другие метеопараметры, не фиксировались 3, 20 и 21 сентября и 1 октября на первой и второй станциях, а на третьей станции нет данных за 3, 4, 5, 20, 21 и 22 сентября, а также 1 октября.

3.2 Анализ изменчивости метеопараметров за выбранный период

Для проведения следующего этапа анализа была построена графическая зависимость метеопараметров для каждой станции за весь период исследования. На первых трех графиках (рис. 3.3, 3.4 и 3.5) представлен сезонный ход температуры воздуха на 55, 57 и 58 километрах. В сентябре температура воздуха оставалась положительной, не опускалась ниже +10 С, в начале и в конце температура на 3 станции была ниже, чем на остальных.

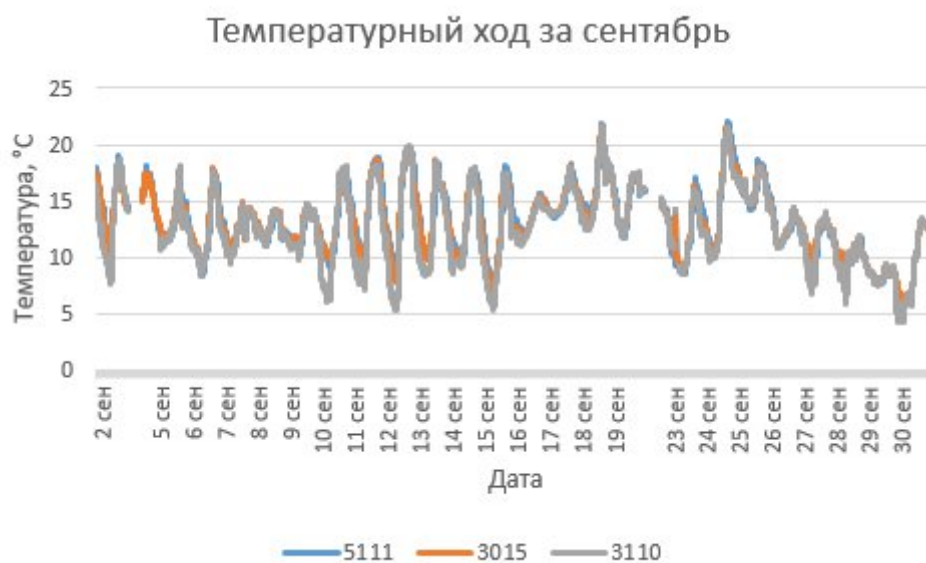


Рисунок 3.3 – Температурный ход за сентябрь

В начале октября воздух еще был также теплый, лишь с 6 по 8 октября наблюдалось падение температуры. На станциях №1 и №3 13 октября температура воздуха была близка к нулю, а вот с 20 по 22 октября опустилась ниже нуля. Затем снова наблюдалось потепление, 27 октября температура на 1 станции оказалась ниже, такая же ситуация была и 29 октября. 31 октября на 3 станции температура перешла через ноль градусов.



Рисунок 3.4 – Температурный ход за октябрь

В начале ноября (рис. 3.5) температура воздуха была высокой – пиковое значение достигало +10 С на трех станциях. Затем наблюдался переход через 0 градусов на 55 километре 5 ноября, затем 6 ноября через ноль прошли уже все 3 станции. Следующий переход через 0 С наблюдался уже с 15 по 17 ноября, 3-я станция также была холоднее, чем первая и вторая. Далее устойчивый переход температуры через 0 градусов состоялся с 23 ноября по конец месяца, однако на первой станции, на 58 километре, переход через 0 С наблюдался раньше – 22 ноября.



Рисунок 3.5 – Температурный ход за ноябрь

Далее рассмотрим ход давления на трех станциях за осенний период. В сентябре (рис. 3.6) визуально четко прослеживается одинаковый ход давления, однако показания на второй станции, 57 километре участка КАД, давление за весь период было ниже, а вот на третьей станции, 55 километре, было выше. Со 2 по 5 сентября виден разрыв на второй и третьей станциях, так как в эти дни параметры не измерялись. С 5 по 8 сентября наблюдалось небольшое падение давления – чуть более 10 гПа, затем сразу идет рост с пиковым значение 13 сентября – 1035,2 гПа на третьей станции. Вторым подъемом давление состоялся 19 сентября и до конца месяца.

За 1 октября метеопараметры не регистрировались. 2 октября давление составляло 994,1 гПа, что на 30,5 гПа меньше, чем было 31 октября – падение давления существенное (рис. 3.7). За весь месяц давление менялось не сильно – до 19 октября разница между наибольшим и наименьшим значениями составляла 15,5 гПа. 20 октября давление уже возросло до 1024,1 гПа, а 24 октября упало до 1001,8 гПа. Затем до конца месяца давление постепенно повышалось до 1037,0 гПа с небольшим превышением 25 октября до 1014,5 гПа. Давление всё также на 3 станции выше, чем на 2, как и в сентябре.



Рисунок 3.6 – Ход давления за сентябрь



Рисунок 3.7 – Ход давления за октябрь

В ноябре (рис. 3.8) изменение давления уже не такое плавное, как в октябре. Показания на 3 станции, всё так же выше, чем на второй. С 31 октября на 1 ноября давление понизилось с 1037 гПа на 1025,9 гПа, затем постепенно падало до 1007,3 гПа 3 ноября, следующий максимум был уже 7 ноября – 1023,4 Гпа. 11 ноября понизилось до значения 991,3 гПа – разница составила

32,1 гПа. Следующие два максимума наблюдались 14 и 17 ноября – 1014,2 и 1010,3 гПа соответственно. Минимальное значение 21 ноября составило 983,3 гПа, а максимум наблюдался уже через 3 дня – 24 ноября 1012,6 гПа, уже после этого идет понижение давление с небольшим пиком 29 ноября – 1002,6 гПа.



Рисунок 3.8 – Месячный ход давления за ноябрь

Рассмотрим месячный ход показаний влажности за осенний период. Так как в сентябре (рис. 3.9) отсутствовали данные на 55-м километре за 3-4, 20-22 числа, то на графике мы видим разрывы данных. Ход влажности на трех станциях схож между собой, однако практически за весь сентябрь влажность на 58-м километре была ниже, чем на остальных, а на 57-м километре – выше. Так же хорошо прослеживается суточный ход влажности: есть четкие минимумы в середине дня и максимумы в ночные или предрассветные часы. За весь сентябрь минимальная влажность наблюдалась 15 сентября: на 58-м километре 37%, на 57-м – 38% и 39% на 55-м километре. Максимальное значение - 96% - на 57-м километре 24 сентября.

В октябрьском ходе влажности (рис. 3.10) уже наблюдаются различия в поведении при сравнении с сентябрьским ходом. Суточный ход теперь не так четко выражен особенно в начале октября, а также с 10 по 12 октября и в 22-

25 и 27-28 числа. Значения максимумов также выше на второй станции – 57-м километре, а минимальные значения часто приходится на первую станцию – 58-й километр.



Рисунок 3.9 – Месячный ход влажности на трех станциях за сентябрь



Рисунок 3.10 – Месячный ход влажности на трех станциях за октябрь

В ноябре месячный ход влажности (рис. 3.11) отличается от предыдущих двух месяцев. В холодный период года суточный ход влажности почти не меняется в течении суток. С 6 по 12 ноября колебания влажности практически

не превышают 10%, за исключением влажности на первой станции, где значения меньше 90%. Однако видим, что в отдельные дни: 4, 6, 12, 14, 27 и 29 ноября влажность опускалась до минимальных значений – 60-65%. За весь месяц влажность на второй станции сильно превышала значения на двух других: максимальная разница составляла 4-5%.



Рисунок 3.11 – Месячный ход влажности на трёх станциях за ноябрь

Посмотрим на месячный ход скорости и направления ветра на станциях. Так как отсутствуют измерения параметров ветра на второй станции, на 57-м километре, то рассматривать будем только две остальные.

В сентябре наблюдается хорошо выраженный суточный ход скорости ветра (рис. 3.12) с минимумами ночью, в предрассветные часы, и максимумами в полдень, обусловленный влиянием турбулентного обмена, который в свою очередь связан с термической неустойчивостью [10]. Скорость ветра на третьей станции, на 55-м километре, почти весь месяц была выше, чем на первой станции. Пиковых значений скорость ветра в сентябре достигает на третьей станции 2, 8 и 19 сентября 6,7 и 9 м/с соответственно.

Направление ветра (рис. 3.13) на первой станции было преимущественно северным и северо-восточным, так как с запада и юга АДМС окружена

зданиями. А на третьей станции преобладающим ветром был северный, юго-западный и юго-восточный.



Рисунок 3.12 – Месячный ход скорости ветра за сентябрь

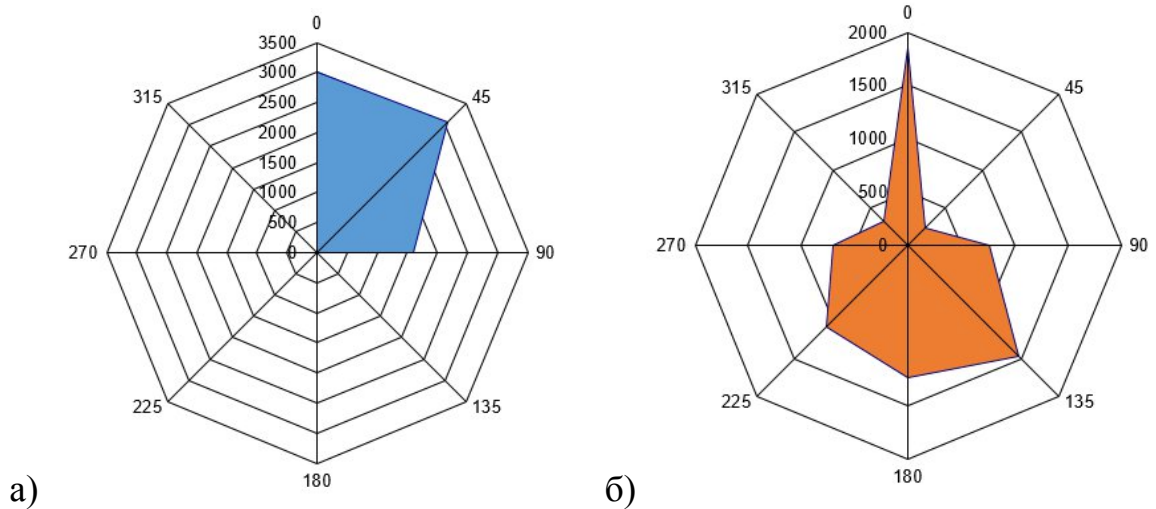


Рисунок 3.13 – Роза ветров за сентябрь

а) 1 станция; б) 3 станция

Значения скорости ветра в октябре (рис. 3.14) всё так же выше на третьей станции. Суточный ход ближе к концу месяца с 21 по 25 октября уже не так

ярко выражен. Наибольшие значения наблюдались в начале месяца 2 октября – 10 м/с. В течение месяца скорость колебалась в пределах до 6-8 м/с.

Направление ветра (рис. 3.15) по-прежнему северное и северо-восточное для первой станции, для третьей станции теперь преобладающие направления северное, южное и западное.



Рисунок 3.14 – Месячный ход скорости ветра за октябрь

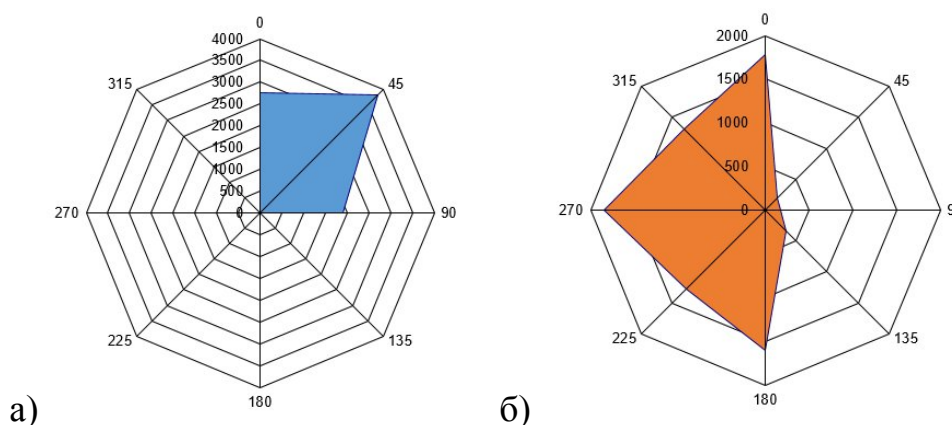


Рисунок 3.15 – Роза ветров за октябрь

а) 1 станция; б) 3 станция

Рассмотрим ветер в ноябре (рис. 3.16). Скорость так же выше на третьей станции. С 14 по 19 ноября скорость на 55-м километре была сильно выше, чем на 58-м, разница составляет 1,3 м/с. В эти же дни, а также с 25 по 29 ноября

суточный ход не наблюдался. Максимальные значения ветра были 14, 22 и 28 ноября 7, 8 и 10 м/с соответственно.



Рисунок 3.16 – Месячный ход скорости ветра за ноябрь

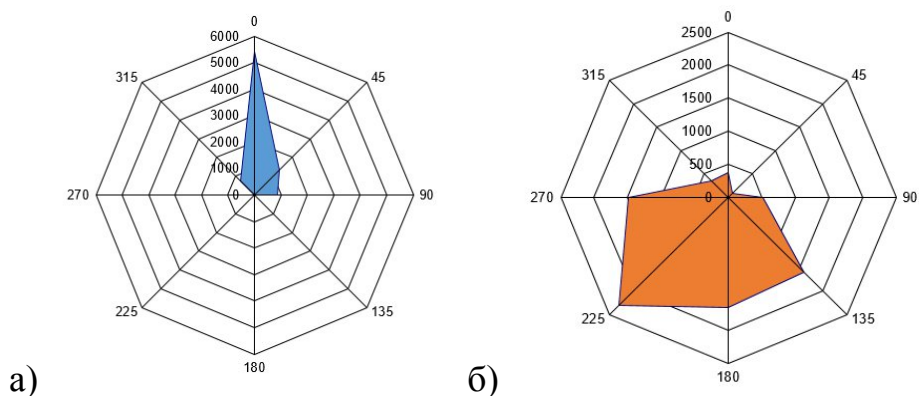


Рисунок 3.17 – Роза ветров за ноябрь:

а) 1 станция; б) 3 станция

Направление ветра (рис. 3.17) на первой станции теперь преимущественно северное, на третьей станции южное, юго-восточное и западное.

Преимущественно осадки (рис. 3.18) наблюдались в ноябре на первой и третьей станции. В сентябре и октябре значительные осадки были лишь 26

сентября, связанные с прохождением фронта окклюзии, и 2 октября, связанные с прохождением холодного фронта.

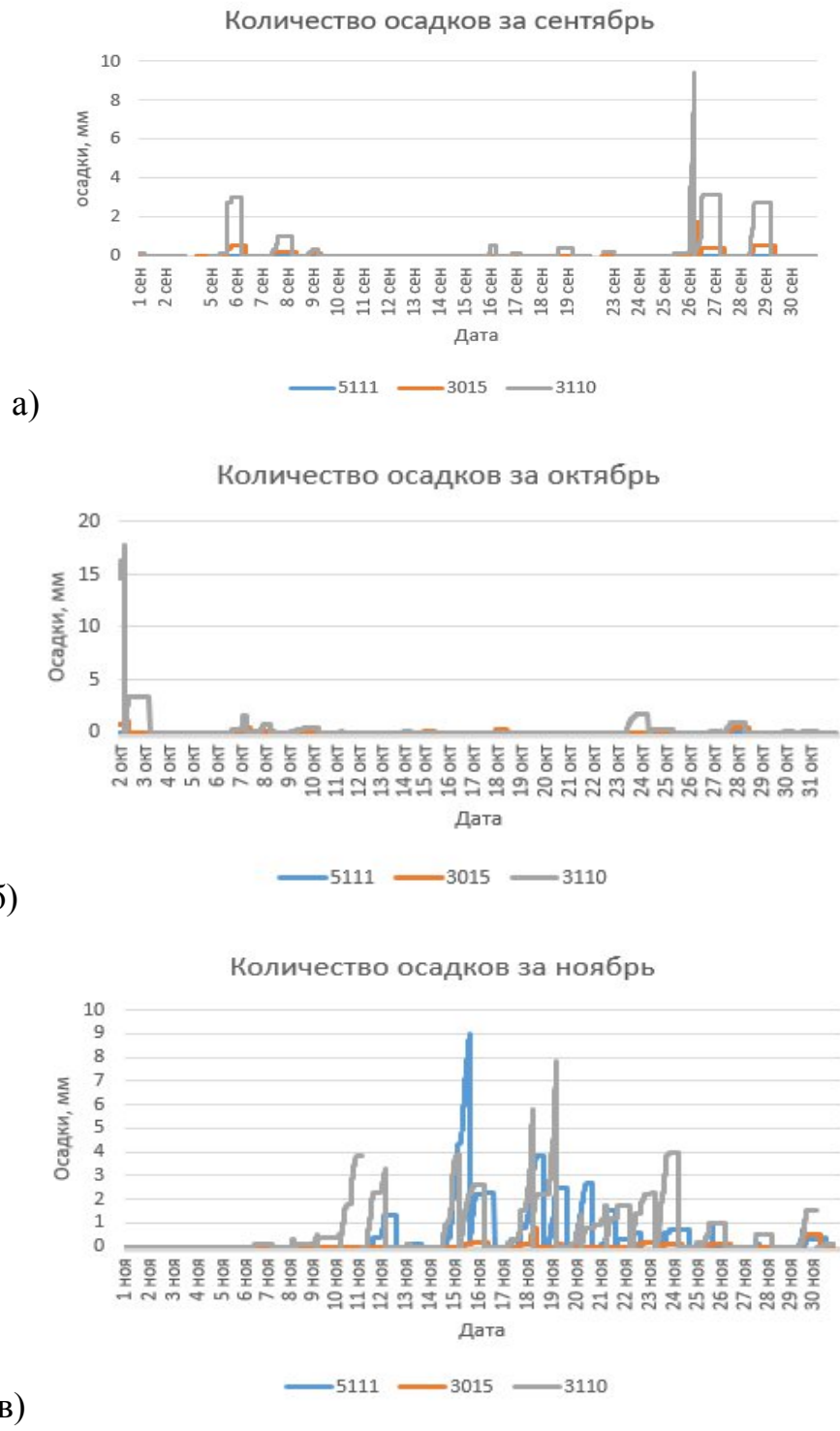


Рисунок 3.18 – Количество осадков на трех станциях:
 а) сентябрь; б) октябрь; в) ноябрь

3.3 Определение корреляционной связи между метеопараметрами

Корреляционная связь – это связь, показывающая зависимость одних параметров от других. Показателем такой связи является коэффициент корреляции, который меняется в пределах от -1 до +1, где по шкале Чеддока:

- 0,1-0,3 – связь очень слабая;
- 0,3-0,5 – связь слабая;
- 0,5-0,7 – связь средняя;
- 0,7-0,9 – связь высокая;
- 0,9-1 – очень высокая.

Оценка корреляционной связи проводилась между температурой, давлением, влажностью, скоростью и направлением ветра, осадками между тремя станциями. Для этих параметров были рассчитаны коэффициенты корреляции.

Таблица 3.1

Корреляционная матрица для температур

а) за сентябрь; б) за октябрь; в) за ноябрь

а)

	T1	T2	T3
T1	1		
T2	1,0	1	
T3	0,0	0,0	1

 б)

	T1	T2	T3
T1	1		
T2	0,96	1	
T3	0,97	0,99	1

в)

	T1	T2	T3
T1	1		
T2	1,00	1	
T3	0,99	0,99	1

Как видим по таблице, связь между температурами первой и второй станций в сентябре очень высока, а вот с третьей станцией никакой

корреляционной связи нет, это видно на рисунке (рис. 3.19), где синим показано корреляционное поле с очень высокой связью, а оранжевым – отсутствие связи.

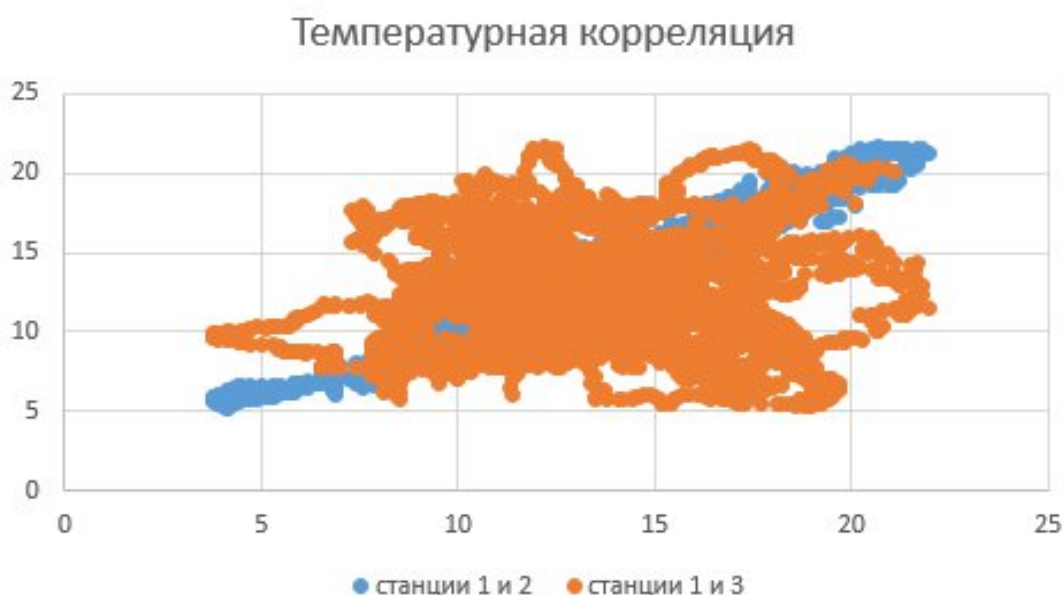


Рисунок 3.19 – Корреляция между температурами за сентябрь

Так же очень высокая связь между температурами в октябре и ноябре – в последнем случае связь максимальная между первой и второй станциями. Такая большая связь между двумя станциями обусловлена их местоположением – расстояние между ними около 1 километра, в то время как третья станция на расстоянии от 2 до 3 километров.

Связь между давлениями аналогична связи между температурами, кроме октября, в ноябре связь идеальная (рис. 3.20), в сентябре высокая.

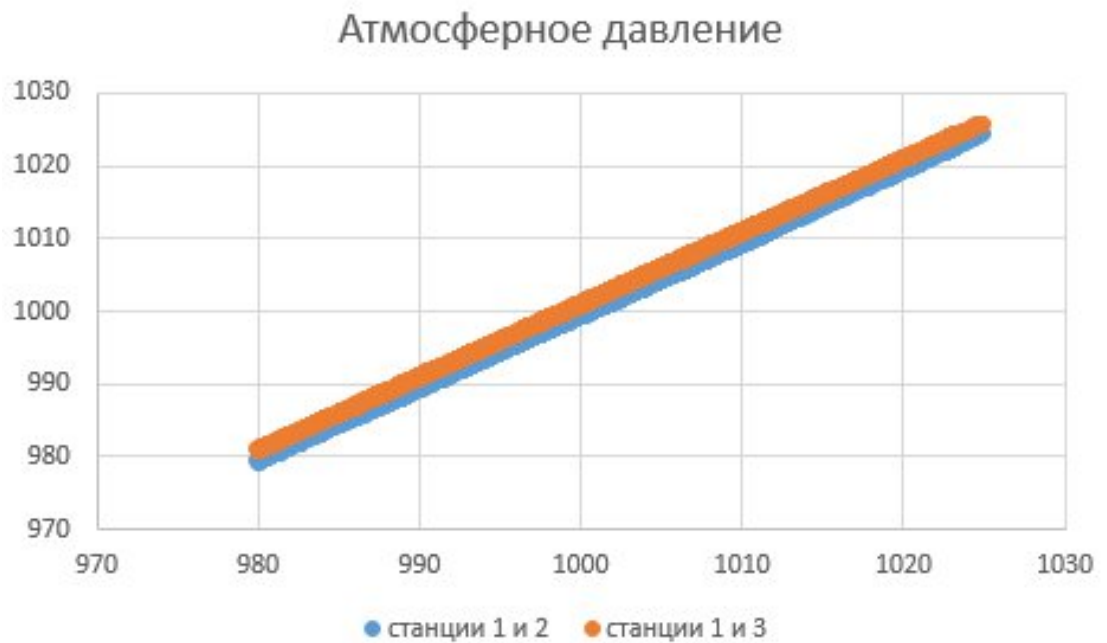


Рисунок 3.20 – Взаимосвязь давлений в ноябре

В октябре очень высокая связь только между второй и третьей станциями, а вот с первой станцией ни одна другая не коррелирует – связь очень слабая (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Корреляционная связь между атмосферным давлением за октябрь

	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>
<i>P1</i>	1		
<i>P2</i>	0,02	1	
<i>P3</i>	0,02	1,00	1

Взаимосвязь между влажностью в сентябре между 1-й и 2-й станциями очень высокая, в остальных случаях очень слабая отрицательная. В октябре

очень высокая связь между 2-й и 3-й станциями, у остальных – связи нет. В ноябре связь со всеми станциями очень высокая (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Корреляционная матрица между влажностью за ноябрь

	<i>RH1</i>	<i>RH1</i>	<i>RH1</i>
<i>RH1</i>	1		
<i>RH1</i>	0,99	1	
<i>RH1</i>	0,98	0,99	1

Корреляция скорости ветра высокая между 1-й и 3-й станциями, данных по скорости и направлению ветра для 2-й станции нет.

Как видим высокая связь устанавливается в ноябре, когда происходит устойчивый переход на зимний сезон. В осенний период значения параметров переменчиво, из-за чего появляется слабая связь или она вовсе отсутствует.

3.4 Расчет разницы метеорологических величин

Следующим этапом анализа метеорологических параметров был расчет разницы между такими параметрами, как температура, влажность и давление на трех станциях.

Разность температуры воздуха на 1-й и 2 станциях в сентябре (рис. 3.21) очень маленькая – в пределах ± 2 °С, а вот на разность между станциями 1 и 3 и 2 и 3 одинаковая – максимальная +14°С и минимальная -11°С в середине месяца. В начале и в конце месяца значения практически не превышают 10°С. Большая разница между 3 станцией и остальными объясняется их расположением относительно друг друга. Они находятся на расстоянии 3 и 2

километров. Также такая большая разница говорит о наличии суточного хода в сентябре, который зависит от поступающей солнечной радиации.

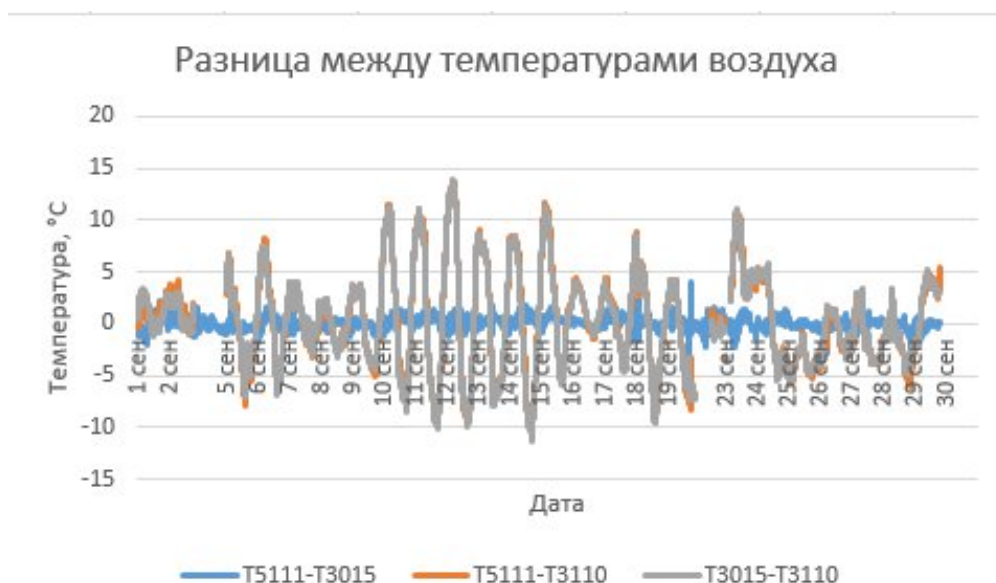


Рисунок 3.21 – Разница между температурами воздуха на станциях в сентябре

Теперь рассмотрим следующий месяц – октябрь (рис. 3.22а). Здесь наибольшая разница уже между станциями на 58-м и 57-м километрах. В середине месяца видно наибольшую разницу - $+5^{\circ}\text{C}$ и -7°C . На такую разницу мог повлиять характерный для 1-й станции северный и северо-западный ветер, а на 2-ю станцию заток теплого воздуха с Невы, так как в октябре суточный ход уже не так выражен, чем в сентябре, в связи с уменьшением поступающей солнечной радиацией. Дальше идет разница между 1-й и 3-й станциями. Здесь разброс меньше, чем в первом случае - $+5^{\circ}\text{C}$ и -6°C . А вот разница между 2-й и 3-й станциями в данном случае наименьшая - $+3^{\circ}\text{C}$ и -4°C .

В ноябре (рис. 3.22б) максимальная и минимальная разница между всеми станциями одинаковая - $+2^{\circ}\text{C}$ и $-1,5^{\circ}\text{C}$. Такое значение в ноябре объясняется отсутствием суточного хода и уменьшением светового дня.

По 3-м месяцам видим, что наибольшая разница у 3-й станции с остальными, и это говорит о том, что станции расположены верно, так как АДМС показывают разный результат.

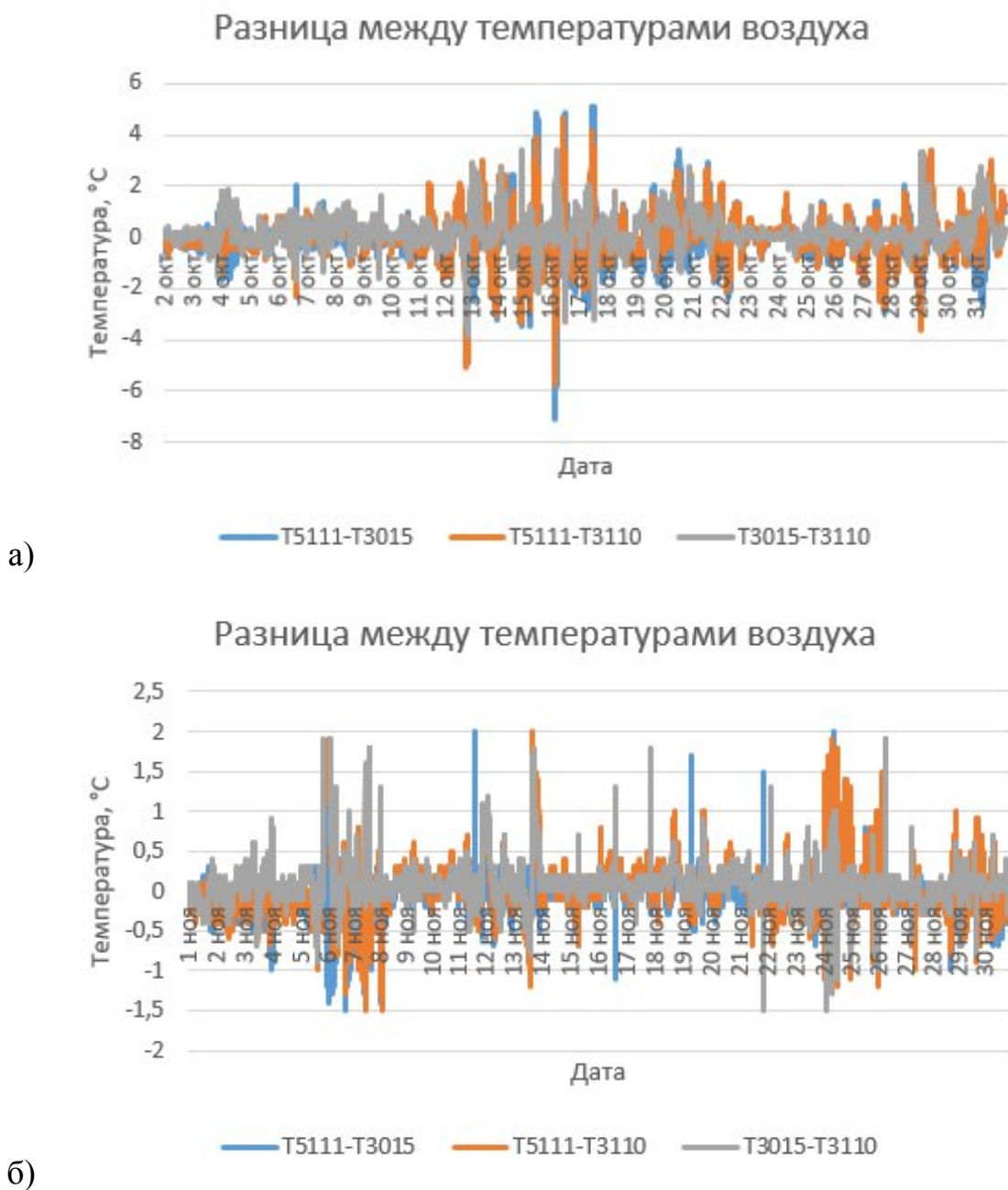


Рисунок 3.22 – Разница между температурами воздуха на станциях:
а) октябрь; б) ноябрь

Дальше рассмотрим разность между значениями влажности на станциях за сентябрь (рис. 3.23а). В сентябре мы видим аналогичный ход, что и для температуры воздуха за тот же месяц – наименьшая разница между 1-й и 2-й станциями, наибольшая – между 3-й станцией и остальными. Наибольшее отклонение - +50 % и -60 % в середине месяца между 2 и 3 станциями. На значительную разницу между влажностью на станциях в сентябре оказывает влияние температура, так как, как отмечалось выше, в этом месяце еще прослеживается суточный ход температуры воздуха, и показания температуры еще высокие (около 20°C в дневное время).

Диапазон разницы между значениями влажности на станциях в октябре уменьшается (рис. 3.23б). Теперь размах от 22% до -32%. Наибольшие положительные отклонения между 2-й и 3-й станциями, наибольшие отрицательные отклонения между 1-й и 3-й. Как и в сентябре разница меньше между 58-м и 57-м километром наименьшая.

В ноябре (рис. 3.23в) диапазон еще меньше – около $\pm 8\%$. Разница температур воздуха уменьшает из-за сокращения светового дня и уменьшения поступления солнечной радиации, а вместе с ней и уменьшается разница между значениями влажности. Отклонения между 1-й и 2-й станциями практически не превышают положительных значений, так как в ноябре наибольшие показания влажности именно на второй станции, на 57-м километре. Также разница между 2-й и 3-й станции практически положительная. Размах между 58-м и 55-м километрами от -8% до +7%.

Видно, что разница во влажности наибольшая в сентябре, аналогично разнице температуры воздуха. Значения уменьшаются к ноябрю.

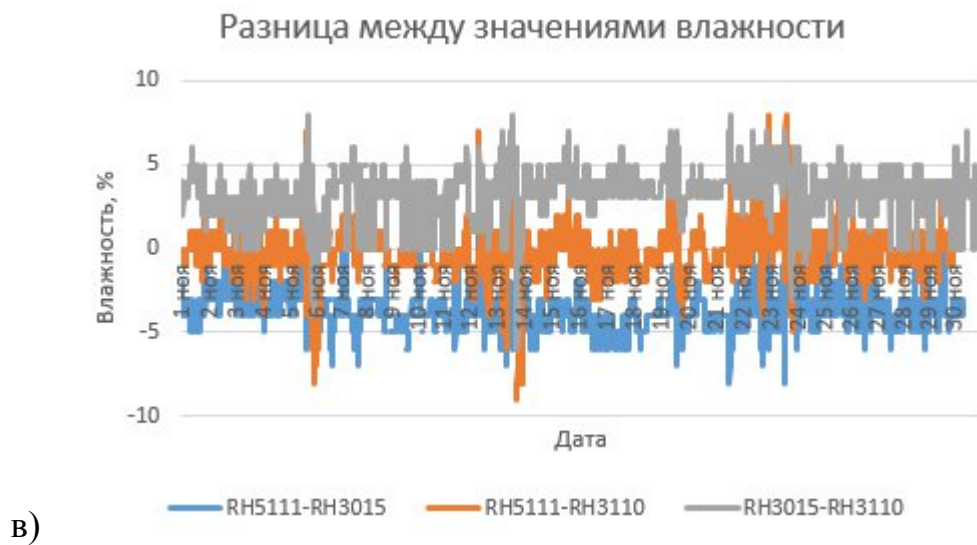
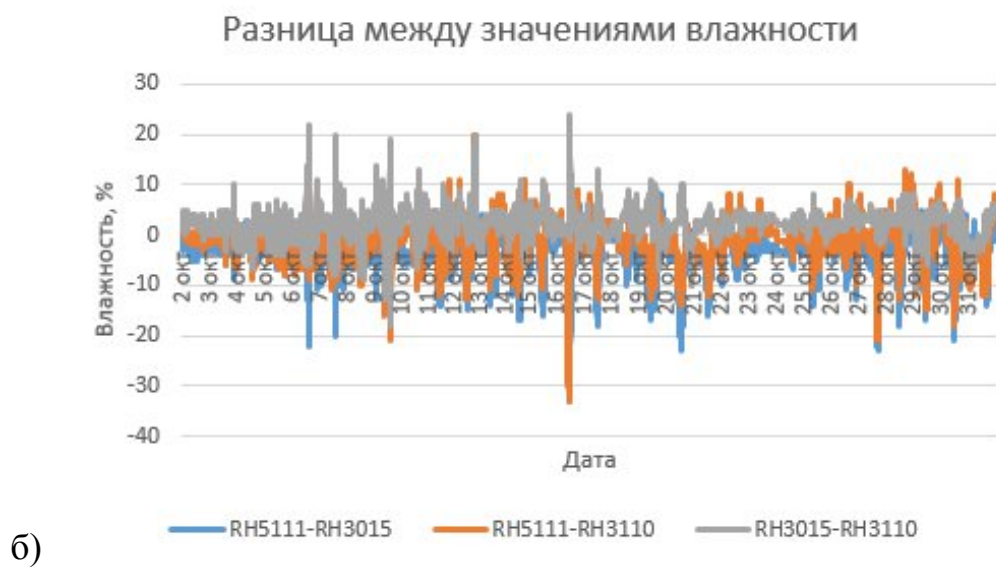
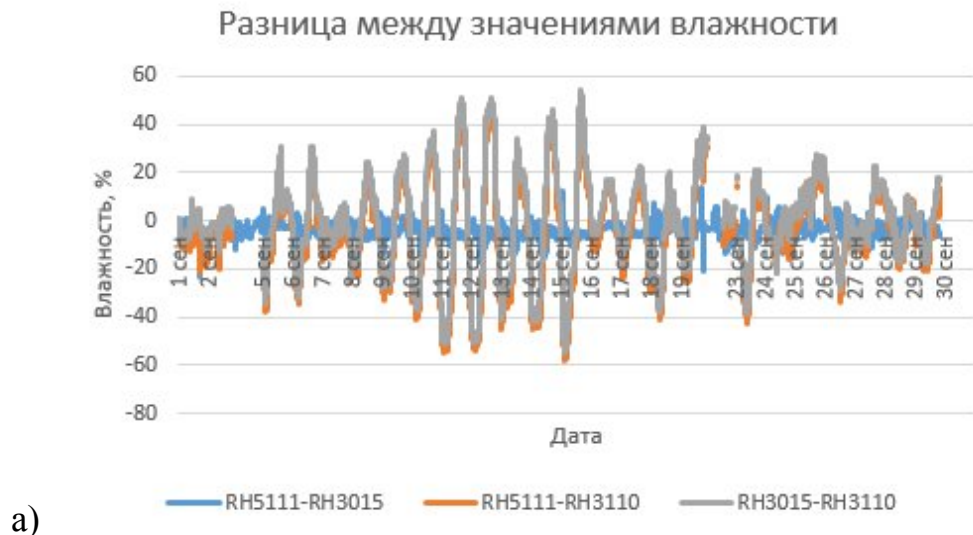


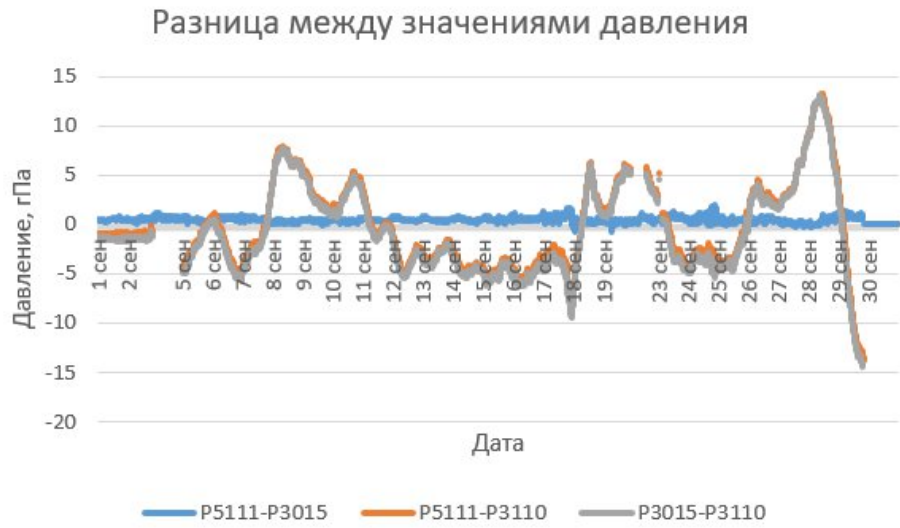
Рисунок 3.23 – Разница между значениями влажности на станциях:
а) сентябрь; б) октябрь; в) ноябрь

Следующим этапом рассмотрим изменения разности давлений на станциях по трем месяцам.

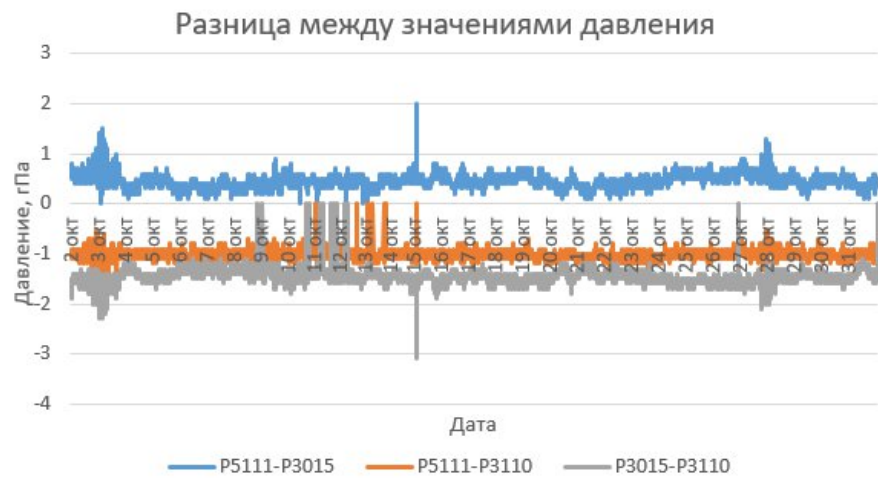
В сентябре (рис. 3.24а) между 1-й и 2-й станциями значения редко превышают 2 гПа, а вот разность этих станций с 3-й временами очень большая – до 10 сентября разность варьировалась с -5 гПа до 8 гПа, дальше до 18 сентября значения отрицательные. Это говорит о том, что давление на 3 станции было намного выше, чем на первых двух. Далее подъем и опускание чередуют, и максимум положительной разности составил 13 гПа, максимум отрицательной – 14 гПа.

В октябре разность давлений намного меньше (рис. 3.24б), чем в сентябре – разница колеблется около ± 2 гПа. Однако 15 октября разница между 1-й и 2-й станциями максимальна за весь месяц – 2 гПа, и разница между 2-й и 3-й станциями минимальна за весь месяц - -3 гПа. Положительная разница только между 1-й и 2-й станциями, значит давление на 58-м километре больше, чем на 57-м километре. А вот разница на 55-м километре больше, чем на 57-м, так как их разница максимальна.

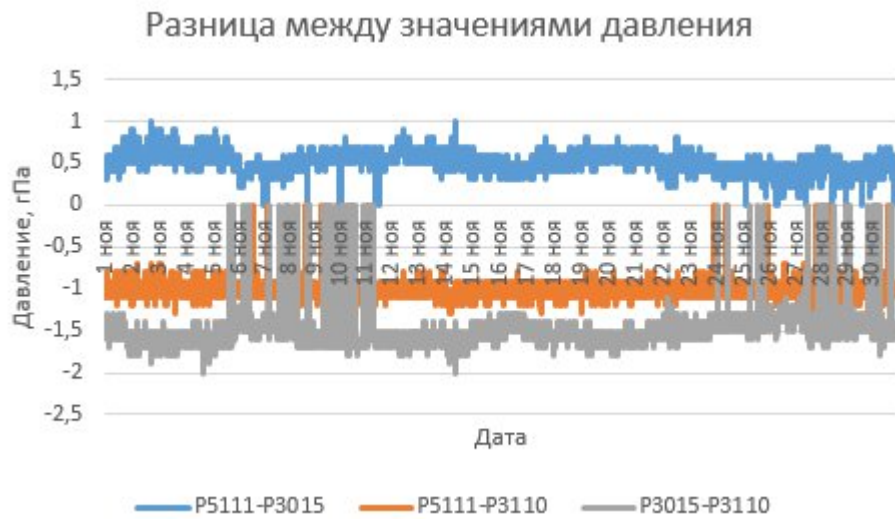
В ноябре положительная разница не превышает 1 гПа, а отрицательная не превышает -2 гПа (рис. 3.24в). Диапазон еще меньше, чем в октябре. Такая же тенденцию к уменьшению наблюдалась и с температурой воздуха и с влажностью. В сентябре большая разница наблюдается из-за влияния Азорского антициклона (этот антициклон встречается чаще), в ноябре же большее влияние оказывают циклоны. В зимний период поле давления становится более однородным.



а)



б)



в)

Рисунок 3.24 – Разница между температурами воздуха на станциях:

а) сентябрь; б) октябрь; в) ноябрь

3.5 Исследование синоптической ситуации на участках КАД

Рассмотрим даты перехода температуры атмосферного воздуха через ноль для октября и ноября.

Переходы температуры воздуха через 0 °С отмечаются практически в одни и те же даты. Для октября это:

Для первой станции, 58-го километра, переход через 0 °С в 20, 21, 22, 28, 29 и 31 числа;

Для второй станции, 57-го километра, переход в 20, 21, 28, 29 и 31 числа;

Для третьей станции, 55-го километра, переход наблюдался в 20, 21, 22, 28, 29, 30 и 31 числа.

Видим, что выделяется вторая станция: 22 октября температура воздуха осталась положительной, в то время как на других станциях температура перешла через ноль. Также на третьей станции 30 октября температура упала ниже нуля, а на других была положительной. Посмотрим по спутниковым и синоптическим картам, почему так произошло.

Рассмотрим метеорологические характеристики для первого случая. Давление уменьшалось с 1012 гПа до 1003 гПа в течение дня, влажность в пределах 70%, осадков не было. Посмотрим по синоптической карте.

По снимку [11] и карте [12] (рис. 3.25) видим, что область находится в передней части циклона, весь участок покрывает слоистообразная облачность. Понижение температуры на 1 и 3 станциях и положительную температуру на 2 станции можно рассматривать как результат деятельности ветра. На 58-м километре ветер 3-4 м/с, преимущественно северо-восточный, на 55-м километре 4-5 м/с, направление юго-западное. Так как данных по ветру на 57-м километре нет, то можно предположить, что влияние оказал заток теплого воздуха с Невы с изгиба русла (рис. 3.26).

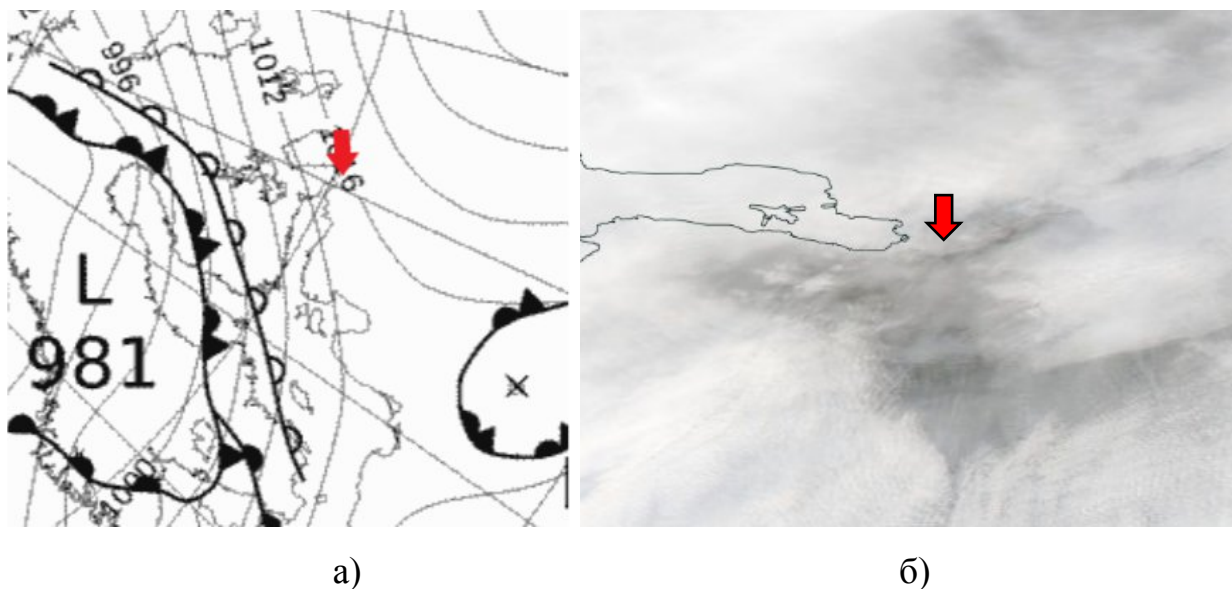


Рисунок 3.25 – Архивные данные барических образований за 22.10.2015

а) синоптическая карта; б) спутниковый снимок

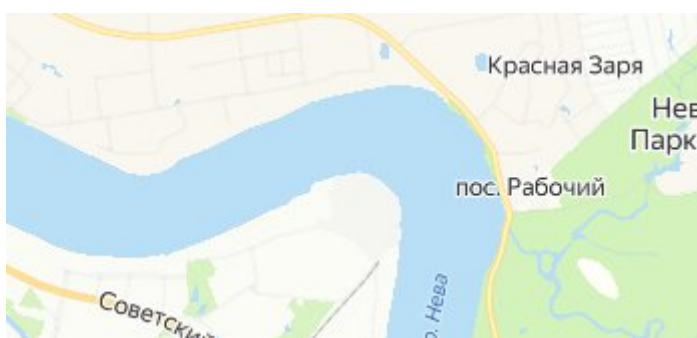


Рисунок 3.26 – Изгиб Невы

Рассмотрим второй случай, когда на 55-м километре 30 октября температура была ниже, чем на других станциях. Температура опустилась ниже нуля всего на несколько часов раньше, чем на остальных. Давление сильно росло: от 1024 до 1037 гПа, ветер северо-западный, влажность 80-90%. Оценим ситуацию с помощью карт и снимков (рис. 3.27).

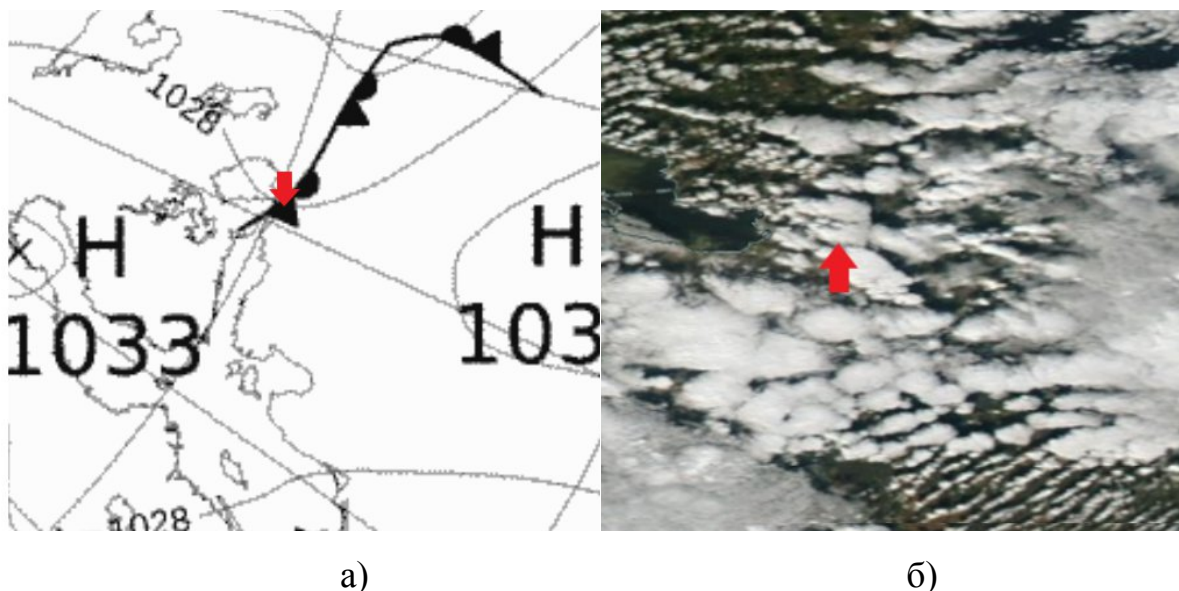


Рисунок 3.27 – Архивные данные барических образований за 30.10.2015

а) синоптическая карта; б) спутниковый снимок

На карте явный антициклон, однако с 29 по 30 октября проходил фронт окклюзии и наблюдалась плотная облачность, но не над всеми станциями. Над 55-м километром облаков нет, высокая влажность и слабый ветер способствовали ночному выхолаживанию, из-за чего температура воздуха была отрицательной.

Проверим переходы через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ для ноября:

- 6, 15, 16, 17, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 и 30 числа для первой станции;
- 6, 15, 16, 17, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 и 30 числа для второй станции;
- 5, 6, 15, 16, 17, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 и 30 числа для третьей станции.

Видим, что выделяются две даты: 5 ноября для третьей станции, температура раньше опускается ниже нуля, чем на других станциях, и 22 ноября для первой станции – тоже первая опустилась ниже нуля. Проанализируем эти случаи, воспользовавшись картой и спутниковым снимком (рис. 3.28).

5 ноября на третьей станции атмосферно давление росло с 1011 гПа до 1023 гПа, влажность 80-90%, направление ветра не устойчивое, оно менялось с северо-западного с начала дня до южного, юго-восточного и северо-западного до конца дня. Рассмотрим это на карте.

По карте видим, что область находится между холодным и вторичным холодным фронтами. Так же об этом можно судить по росту давления. На спутниковом снимке небольшая облачность. Можно предположить, что над 3 третьей станцией облаков не было, значит, здесь так же имело место ночное выхолаживание.

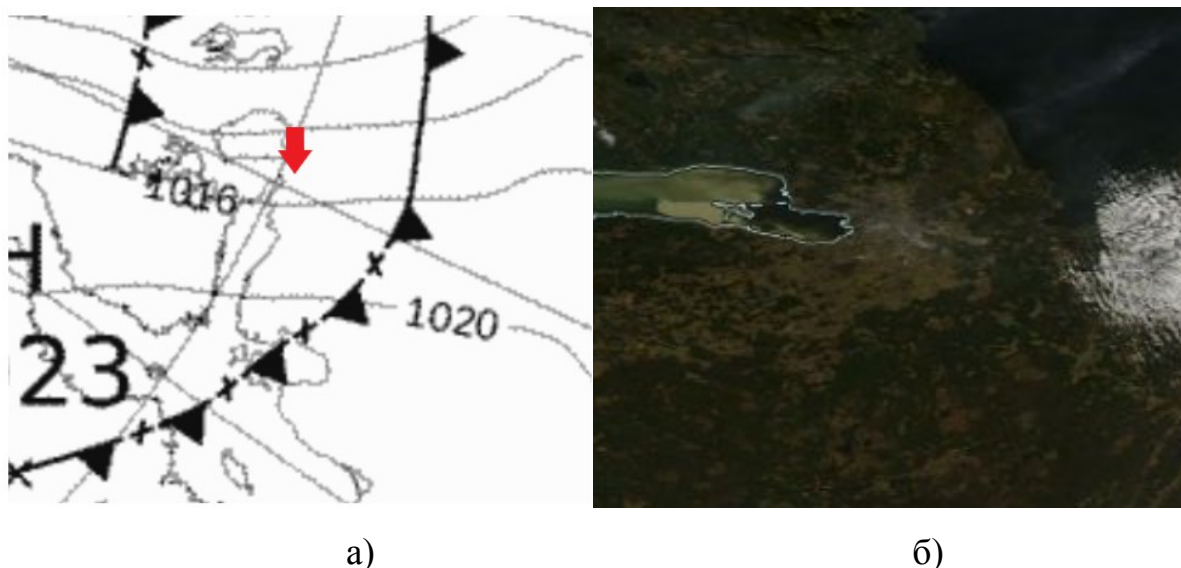


Рисунок 3.28 – Архивные данные с барическим образованием за 05.11.2015

а) синоптическая карта; б) спутниковый снимок

Теперь рассмотрим второй случай, когда на первой станции температура упала ниже нуля – 22 ноября (рис. 3.29). Направление ветра было северо-западное, северное, в то время как на третьей станции ветер был юго-западный. Давление было низким и росло незначительно – на 5 гПа в течение дня.



а)

б)

Рисунок 3.29 – Архивные данные за 22.11.2015

а) синоптическая карта; б) спутниковый снимок

Переход через ноль происходил с 8:05 до 9 часов утра, скорость ветра составляла около 7-8 м/с. По карте мы видим, что область находится в зоне окклюзии, по спутниковому снимку облака слоистообразные с небольшими просветами. Можно предположить, что температура опустилась ниже нуля из-за адвекции холода с севера и северо-запада.

Заключение

В ходе проделанной выпускной квалификационной работы были рассмотрены архивные данные метеорологических параметров, которые получены с АДМС, расположенных на 58-м, 57-м и 55-м километрах кольцевой автомобильной дороги города Санкт-Петербург.

Были выполнены поставленные задачи, и проделана следующая работа:

1. Сформирован, синхронизирован по времени архив метеопараметров за период с сентября по ноябрь 2015 года со станций, установленных на 58-м, 57-м и 55-м километрах КАД Санкт-Петербурга.
2. Исследована пространственно-временная изменчивость температуры воздуха, атмосферного давления, относительной влажности, осадков, скорости и направления ветра на выбранных участках КАД СПб.
3. Выявлена статистическая зависимость метеорологических параметров между станциями с сентября по ноябрь 2015 года.
4. Вычислена разность температуры воздуха, атмосферного давления и относительной влажности, проанализированы различия.
5. Выполнен комплексный анализ синоптических ситуаций на выбранных участках, приведены синоптические карты и спутниковые снимки.

В результате выполненной работы можно сделать следующие выводы:

- ~ через 0 С чаще переходит температура на станции, расположенной на 55-м километре, так как она расположена на удалении от реки, а также на достаточно открытой местности. Ветер здесь преимущественно северный, западный и юго-западный.
- ~ между параметрами на трех станциях наблюдается достаточно высокая функциональная связь;
- ~ разница между параметрами на станциях невелика, но и не постоянна, что говорит о правильной установке АДМС.

Список использованных источников

1. КАД - Кольцевая автодорога Санкт-Петербурга (Электронный ресурс). – Режим доступа: <https://www.spb-guide.ru/kad-kolcevaya-avtodoroga.htm>
2. Васильев А.П. Проектирование дорог с учётом влияния климата на условия движения. – М.: Транспорт, 1986. – 248 с.
3. Антициклон (Электронный ресурс): материал из Википедии. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Антициклон>
4. Самодурова Т.В. Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог/Ассоциация «РАДОР» - М.: ТИМР, 2003. 183с.
5. 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.
6. АИИС «МетеоТрасса» для автодорог (Электронный ресурс): материал из сайта Института радарной метеорологии. – Режим доступа: <https://iram.ru/products/metetrassa-road/>
7. 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.
8. Официальный сайт компании Vaisala (Электронный ресурс). – Режим доступа: <https://www.vaisala.com/ru/>
9. Справочник средств измерений (Электронный ресурс). – Режим доступа: <https://all-pribors.ru>
10. Матвеев. Л. Т. Курс общей метеорологии. – Ленинград.: Гидрометеиздат, 1984 год. – 752 с.
11. Архивные снимки с сайта NASA Worldview (Электронный ресурс). – Режим доступа: <https://worldview.earthdata.nasa.gov>

12. Архивные синоптические карты с сайта Wetterzentrale (Электронный ресурс). – Режим доступа: <https://www.wetterzentrale.de>