



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Беспроводная сенсорная сеть мониторинга качества воздуха
Умного города - Санкт-Петербурга

Исполнитель Лысцова Екатерина Михайловна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Абанников Виктор Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Абанников Виктор Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

«11 06 2019г.

Санкт-Петербург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. АЭРОЗОЛИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ ГОРОЖАН.....	6
1.1. Источники загрязнений и неблагоприятные метеорологические условия.....	6
1.2. Параметры аэрозолей и их влияние на здоровье.....	9
2. УМНЫЙ ГОРОД: ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА.....	12
2.1. Концепции “Умного города”.....	12
2.1.1. Технологическая основа.....	12
2.1.2. Человеческие рамки.....	14
2.1.3. Институциональные рамки	15
2.1.4. Энергетическая основа.....	16
2.2. Особенности “Умных городов”.....	18
3. СЕНСОРНАЯ СЕТЬ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА.....	20
3.1. Системы мониторинга качества воздуха в России.....	20
3.2. Системы мониторинга качества воздуха в разных странах.....	22
3.3. Здравоохранение в системе мониторинга качества воздуха.....	26
4. АНАЛИЗ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В ГОРОДЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ.....	29
4.1. Математический аппарат анализа статистических характеристик метеорологических полей.....	29
4.2. Статистические характеристики поля массовой концентрации PM _{2.5}	33
4.3. Статистические характеристики поля массовой концентрации PM ₁₀	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	49

Введение.

Качество воздуха становится все более серьезной проблемой для крупных городских районов по всему миру, вызывая различные проблемы, связанные с окружающей средой и здоровьем. Последние достижения в области сенсорных и коммуникационных технологий сделали технически и экономически целесообразным беспроводные экологические сенсорные сети.

Актуальность темы исследования обуславливается тем, что основными источниками загрязнения являются промышленные и транспортные выбросы, которые распространяются от нескольких метров до десятков тысяч километров. Распространение зависит от метеорологических параметров, состава и количества выбросов. Поэтому необходимо следить за мониторингом качества атмосферного воздуха от которого напрямую зависит здоровье человека.

Целью выпускной квалификационной работы является изучение и систематизация теоретической информации по теме исследования. А также анализ данных по мониторингу качества воздуха в Умном городе (Smart city) - Санкт-Петербурге.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить теоретические основы аэрозолей и их характеристик, влияние метеорологических параметров;
2. Изучить теоретические основы Умных городов, их системы и преимущества;
3. Изучить теоретические основы систем мониторинга качества воздуха, изучить датчики качества воздуха;
4. Провести анализ теоретических данных, и разработать рекомендации по совершенствованию систем мониторинга качества воздуха;
5. Провести анализ данных на основе мониторинга качества воздуха в городе Санкт-Петербурге.

Объект исследования является атмосферный воздух.

Предметом исследования является проблема мониторинга качества атмосферного воздуха.

Теоретической основой исследования явились положения и концепции, представленные в работах отечественных и зарубежных авто-ров по проблемам:

- влияние метеорологических условий на изменчивость концентраций выбросов аэрозолей
- источники и состав загрязнителей воздуха
- умные города: системы и их характеристики
- сенсорные сети мониторинга
- современные датчики качества воздуха
- причинение вреда здоровью выбросами загрязнений

Практическая значимость исследования заключается в обработке и упорядочению теоретический данных по исследуемой теме, и их будущее применение на совершенствование систем мониторинга качества воздуха в Санкт-Петербурге.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемых источников.

В первой главе раскрываются теоретические основы понятия аэрозоли и их характеристики, источники загрязнений и их влияние на здоровье человека, влияние неблагоприятных метеорологических условий на аэрозоли и их распространение.

Во второй главе исследуются особенности Умных городов (Smart city) и их преимущества. Дается краткая техническая и экономическая характеристика Умным городам (Smart city). Характеризуется порядок формирования и устройства Умных городов (Smart city).

Во третьей главе исследуются особенности систем мониторинга качества воздуха. Происходит обзор систем мониторинга качества воздуха в разных странах и выявляются их преимущества. Дается краткая техническая характеристика датчикам качества воздуха и сервисам на которых можно узнать качества воздуха.

В четвертой главе проведен анализ данных мониторинга качества воздуха в городе Санкт-Петербург. Рассчитаны автокорреляционная функция для каждого поста мониторинга качества атмосферного воздуха и коэффициенты корреляции полей PM_{2.5} и PM₁₀. Определено среднеквадратическое отклонение для каждого поста мониторинга качества атмосферного воздуха. Рассчитаны парные коэффициенты корреляции полей PM_{2.5} и PM₁₀. Проведен анализ полученных данных.

1. АЭРОЗОЛИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ ГОРОЖАН

Аэрозоли, вдыхаемые человеком пагубно влияют на здоровье человека. Причин возникновения аэрозолей в воздухе очень много. В первой части своей дипломной работе я рассказываю об источниках, параметрах и влиянии городских аэрозолей на человека.

1.1 Источники загрязнений и неблагоприятные метеорологические условия.

Аэрозоли — это дисперсная система, состоящая из твердых или жидких частицы во взвешенном состоянии в газообразной среде.

В нашей жизни мы каждый день сталкиваемся с аэрозолями. Будто поход на улицу, поездка на работу. Загрязнения в городском транспорте делятся на подземный и наземный транспорт. Вы удивитесь откуда в метро источники аэрозолей? Связи с этим проводились интересные исследования в метро Нью-Йорка (NYC) является основным видом транспорта для более чем 5 миллионов пассажиров в среднем будний день. Поэтому воздушные загрязнители на станциях метро могут оказать значительное влияние на пассажиров и работников метрополитена. С 2004 года исследования метрополитена Нью-Йорка показали, что уровни $PM_{2.5}$, железа, марганца и хрома в несколько раз выше, чем надземные. Эти исследования показали, что стальная пыль является основным источником воздействия железа, марганца и хрома у подростков и работников, которые участвовали в исследованиях. Эти уровни и состав PM в системе метро Нью-Йорка можно частично объяснить тем, что во время работы трение приводит к высвобождению частиц из контакта металл-металл между колесами поезда и рельсом. Однако важно отметить, что другие факторы могут повлиять на качество воздуха в системе метро, например, на обмен воздуха между уровнем дороги и метро, а также использование разнообразного операционного оборудования в системе метро.

По предварительным расследованиям было определено, что в метрополитене Нью-Йорка используются локомотивы с дизельным двигателем для технического обслуживания в ночное время. Использование дизельных двигателей может неизбежно привести к выпуску дизельной сажи, включая черный углерод BC . Это исследование показывает, что уровни содержания черного углерода BC или просто сажи и взвешенных частиц PM в нью-йоркских метрополиях значительно выше, чем у городских уличных улиц, и что дальнейший мониторинг и исследование воздействия метрополий BC и PM оправданы [1].

А результаты измерения суточных концентраций взвешенных частиц PM_{2.5} и PM₁₀ органического углерода OC и черного углерода BC метрополитена Хельсинки был исследован эффект метеорологических условий на изменчивость концентраций OC и BC, и был оценен вклад вторичного органического аэрозоля в общий тонкий органический аэрозоль [2].

Качество воздуха становится все более серьезной проблемой для окружающей среды в крупных городских районах по всему миру, вызывая различные проблемы, связанные с окружающей средой и здоровьем. Источники и состав загрязнителей воздуха могут варьироваться от региона к региону, однако дорожное движение считается основным источником выбросов в атмосферу в крупных городских районах.

Исследования на территории наземного транспорта производились в разных странах. Например, непрерывные измерения концентраций черного углерода BC в PM_{2.5} на участке, близком к проезжей части (в 70 м от дороги) в Кванджу, Корея, в течение зимы (декабрь-февраль) для изучения характеристик и источников частиц BC. Концентрации BC оценивались в январе-декабре-феврале, вероятно, из-за более низкой высоты пограничного слоя, температуры окружающей среды и скорости ветра в течение января. Дневные закономерности в черном углероде BC и оксида углерода CO уровни демонстрировали пиковые концентрации в утренние и вечерние часы, совпадающие с часовым движением. Было обнаружено, что скорость ветра является важным фактором, контролирующим концентрации BC на участке. Очень высокие концентрации BC до ~ 18.0 мкг/м³ наблюдались при скоростях ветра < 1,5 м/с-1.[3].

Исследования уровней концентрации частиц(N), черного углерода (BC) и PM₁, PM_{2.5} и PM₁₀ были проведены на городской контрольной площадке в Барселоне. Суточная изменчивость всех параметров мониторинга аэрозолей сильно зависит от выбросов дорожного движения и метеорологии. Уровни N, BC, PM X, CO, NO и NO₂ увеличивались в течение часов пик трафика, отражающих выхлоп, и выбросы от выхлопных газов, а затем уменьшаются в результате воздействия бризов и снижения интенсивности движения. На состав PM очень влияли выбросы в результате дорожного движения, причем выбросы выхлопных газов

были важным источником PM₁ и пыле возбуждательные процессы PM_{2.5-10} соответственно [6].

В Шеффилде наиболее опасными загрязнителями воздуха являются диоксид азота (NO₂) и твердые частицы, такие как PM₁₀ и PM_{2.5}, которые указывают размер частиц с аэродинамическим диаметром 10 и 2,5 микрометра соответственно. Зона управления качеством воздуха (AQMA) в Шеффилде в основном декларируется на основе этих двух загрязнителей, однако важность других загрязнителей, таких как приземный озон (O₃), можно игнорировать[32].

В течение периода исследования суточных массовых концентраций органического углерода (OC) и элементарного углерода (EC) произошло семь эпизодов мелких частиц из-за влияния дальнего переноса воздушных масс из материкового Китая. Низкие и относительно постоянные отношения OC / EC в PM_{1.0} и PM_{2.5} показали, что выбросы в автомобилях являются основными источниками углеродистых аэрозолей [8].

Концентрации BC и PM_{2.5} в Гвадалахаре, Мексика. Учитывали метеорологические параметры скорости и направления ветра, анализ данных показал, что концентрация BC в основном зависит от местных источников в центре, но от региональных и/или дальнего транспорта и местных источников на площадке Миравале [13].

Еще одним источником загрязнения являются пожары. Так во время исследований в нескольких городах Индонезии: Бандунге, Джакарте, Палангской рае, Серпонге и Джокьякарте. Бандунг и Джакарта по сравнению с Джокьякарте показали более высокие концентрации PM_{2.5} и BC, что указывает на то, что загрязнение, происходящее в Бандунге и Джакарте, более интенсивное, чем в Джокьякарте, в то время как максимальная концентрация BC и процент BC в PM_{2.5} в Паланга-Рае были 6.04 мкг/м³ и 75% соответственно. Эта более высокая концентрация BC, чем в других городах, вызвана лесными пожарами, которые часто возникали в период отбора проб [4].

Несмотря на попытки политики Китая ограничить или предотвратить сжигание в сельском хозяйстве, его использование для

удаления растительных остатков либо сразу после сбора урожая или после последующей обработки посевов. Мы отмечаем особенно высокий коэффициент выбросов в 2.89 г/кг-1 ВС для костров рапса, отражающий интенсивное пылающее горение, которое давало видимые облака [11].

Полукокковые брикеты: к сокращению выбросов первичных PM_{2.5} в Китае. Используя данные нашей новой системы отбора проб дыма, мы обнаруживаем сильную линейную корреляцию между массой PM_{2.5} и ВС с очень высокими коэффициентами выбросов PM_{2.5} до ВС, обнаруженными в фазе тления по сравнению с фазой пламени. Мы заключаем, что вклад ВС в массу PM_{2.5} составлял до 50% на факельной фазе некоторых ожогов, тогда как при тлеющем ее иногда уменьшалось до немногим более одного процента [14].

На основании рассмотренного теоретического материала по источники загрязнений и неблагоприятные метеорологические условия было установлено следующее.

Основными источниками загрязнений являются промышленность и транспорт. Еще одним источником являются пожары. Изменчивость всех параметров мониторинга аэрозолей сильно зависит от выбросов загрязнений и неблагоприятных метеорологических условий, таких как скорость и направление ветра.

1.2 Параметры аэрозолей и их влияние на здоровье

Во время исследований на городской площади в Барселоне (Испания) выполняли анализ по распределению почасового размера, были выявлены суточные вариаций и взаимосвязи с метеорологическими и переменными загрязнениями были определены четыре типичных сценария распределения размеров аэрозолей: трафик (69% времени), разбавление (15% времени), летние фоновые условия (4% времени), а также региональное загрязнение (12% времени) [5].

Практически во всей опубликованной литературе коэффициент, который представляет собой оценку средней молекулярной массы на углеродный вес для органического аэрозоля, объясняется очень ограниченными теоретическими и лабораторными исследованиями,

проведенными в 1970-х годах. Это исследование показывает, что 1.4 является самой низкой разумной оценкой органического молекулярного веса на углеродный вес для городского аэрозоля. Исходя из текущей оценки, коэффициенты 1.6 ± 0.2 для городских аэрозолей и 2.1 ± 0.2 для ночных аэрозолей, по-видимому, более точны [12].

Канадские NAPS сеть (Национальное наблюдение загрязнения воздуха) выпустила один из самых крупных и более географически разнесенных баз данных высокого качества измерений атмосферных частиц в мире. В Канаде концентрации PM_{2.5} увеличивались с лета до зимы, за исключением некоторых восточных участков, особенно в сельских районах, где сульфат был важной составляющей. Было обнаружено, что крупные частицы ($2,5 \text{ мкм} < \text{диаметр} < 10 \text{ мкм}$) имеют противоположный сезонный характер [7].

Некоторые исследования вариабельность (изменчивость) сердечного ритма (BCP) у людей обнаруживают ассоциации с региональным материалом в виде частиц 2.5 мкм или меньше (PM_{2.5}) и / или с «сульфатом», а некоторые — нет; некоторые находят ассоциации с более локальными выбросами, такими как черный углерод (BC), а другие — нет. Для этого мы определяем исследования изменений BCP у людей, изучающих ассоциации с окружающим PM_{2.5} и сульфатом, окружающей PM_{2.5} и BC, или все три [9].

Метод AMS применялся для анализа черного углерода (BC), общего органического углерода (TOC), и ранее сообщаемые полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) в аэрозолях PM₁₀ из жилого района пригорода Токио, чтобы определить естественное изобилие радиоуглерода (¹⁴C), идеального индикатора для отличия ископаемого топлива (без ¹⁴C) от современных источников сжигания биомассы пиролитических продуктов. Исследование показало, что содержание ¹⁴C общего органического углерода в 2004 году составляло 61% и 42% рМС летом и зимой, соответственно. Вероятно, это связано с более высоким вкладом растительной активности летом [10].

На основании рассмотренного теоретического материала по параметрам аэрозолей и их влиянию на здоровье было установлено следующее.

При анализе по распределению почасового размера, были выявлены суточные вариаций и взаимосвязи с метеорологическими и переменными загрязнениями. Также выявлено, что при увеличении или уменьшении концентраций PM_{2,5} в некоторых регионах носит сезонный характер. У людей страдающих вариабельность (изменчивость) сердечного ритма (BCP) обнаружено влияние концентраций PM_{2,5}.

В данной главе были рассмотрены аэрозоли и их влияние на здоровье горожан. Данное изучение позволило сделать ряд выводов.

Основными источниками загрязнений являются промышленность и транспорт. Изменчивость всех параметров мониторинга аэрозолей сильно зависит от выбросов загрязнений и неблагоприятных метеорологических условий. Существует взаимосвязь между суточными, сезонными вариациями с метеорологическими условиями. Аэрозоли влияют на здоровье людей.

2. УМНЫЙ ГОРОД: ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА

Умный город (smart city) – это взаимосвязанная система коммуникативных и информационных технологий с интернетом вещей (IoT), благодаря которой упрощается управление внутренними процессами города и улучшается уровень жизни населения.

Основными Умными городами являются Сингапур, Лондон, Нью-Йорк, Копенгаген, Барселона, Милтон-Кинс, Саутгемптон, Сидней, Тель-Авив, Осло, Бостон, Цюрих, Стокгольм, Шанхай, Амстердам, Ницца, Хельсинки, Лос-Анджелес, Брисбен, Монреаль, Москва, Санкт-Петербург. Этот список можно продолжать еще долго. К 2020 г на планете число умных городов возрастет до 600.

Чтобы получить точное описание и объяснение концепции «умного города», необходимо сначала проанализировать тему с помощью конкретных рамок. Тема разделена на 4 основных измерения.

2.1. Концепции “Умного города”

2.1.1. Технологическая основа

Некоторые концепции Умного города в значительной степени зависят от использования технологий.

Технологический Умный Город - это не просто концепция, а различные комбинации технологической инфраструктуры, которые создают концепцию интеллектуального города.

- Цифровой город: объединяет сервис-ориентированную инфраструктуру, инновационные сервисы и инфраструктуру связи; определить цифровой город «связанное сообщество, которое объединяет инфраструктуру широкополосной связи; гибкую, ориентированную на услуги вычислительную инфраструктуру на основе открытых отраслевых стандартов; и инновационные услуги для удовлетворения потребностей правительств и их сотрудников, граждан и предприятий».

Основная цель заключается в создании среды, в которой граждане взаимосвязаны и легко обмениваются информацией в любой точке города.

- Виртуальный город: в таких городах функции реализованы в киберпространстве. Оно включает в себя понятие гибридного города, который состоит из реальности с реальными гражданами и образованиями и параллельного виртуального города реальных организаций и людей. Наличие виртуального умного города означает, что в некоторых городах возможно сосуществование этих двух реальностей, однако проблема физического расстояния и местоположения все еще не так легко решить. Видение мира без расстояния все еще остается неудовлетворенным во многих отношениях. На практике эта идея поддерживается посредством

физической ИТ-инфраструктуры кабелей, центров обработки данных и обменов.

- Информационный город: собирает локальную информацию и доставляет ее на общедоступный портал. В этом городе многие жители могут жить и даже работать в Интернете, потому что они могут получать любую информацию через ИТ-инфраструктуру благодаря способу обмена информацией между самими гражданами. Используя этот подход, информационный город может быть городским центром как с экономической, так и с социальной точки зрения; самая важная вещь - это связь между гражданскими службами, взаимодействием людей и государственными институтами.
- Интеллектуальный город: он включает функцию исследования или технологических инноваций для поддержки процесса обучения и инноваций. Понятие возникает в социальном контексте, в котором знания, учебный процесс и творчество имеют большое значение, а человеческий капитал считается самым ценным ресурсом в этом технологическом городе. В частности, одной из наиболее важных особенностей интеллектуального города является то, что каждая инфраструктура обновлена, что означает использование новейших технологий в области телекоммуникаций, электронных и механических технологий.
- Вездесущий город (U-city): он создает среду, которая соединяет граждан с любыми услугами через любое устройство. U-city является дальнейшим расширением концепции цифрового города из-за возможности доступа к любой инфраструктуре. Это облегчает гражданам использование любых доступных устройств для их соединения. Его цель - создать город, в котором любой гражданин может получить любые услуги в любом месте и в любое время с помощью любых устройств. Важно подчеркнуть, что вездесущий город отличается от вышеупомянутого виртуального города: в то время как виртуальный город создает другое пространство, визуализируя реальные городские элементы в виртуальном

пространстве, U-город задается компьютерными чипами, вставленными в эти городские элементы.

- Умный город с когнитивными функциями: Умный город с когнитивными функциями расширяет понятие «умный город», ссылаясь на сближение новых технологий Интернета вещей (IoT) и умного города, их генерируемых больших данных и методов искусственного интеллекта. Непрерывное обучение через человеческое взаимодействие и, следовательно, выполнение динамичного и гибкого поведения и действий, основанных на динамической среде города, являются основными компонентами такой структуры.

2.1.2. Человеческие рамки

Человеческая инфраструктура (т.е. творческие занятия и рабочая сила, сети знаний, добровольные организации) является важнейшей осью развития города.

- Творческий город: креативность признана ключевой движущей силой для умного города, и она также представляет собой его версию. Социальная инфраструктура, как, например, интеллектуальный и социальный капитал, являются незаменимыми факторами для построения города, разумного в соответствии с человеческими рамками. Эти инфраструктуры касаются людей и их отношений.
- Город обучения: согласно Мозеру М. А. город обучения участвует в создании квалифицированной рабочей силы. Этот тип города в человеческом контексте повышает конкурентоспособность в глобальной экономике знаний, и установлена типология городов, которые учатся быть умными: индивидуально проактивный город, кластер городов, прямая связь между городами и городская сеть. Это

привело город к пониманию того, как должно быть возможным и реалистичным быть умным в процессе обучения, за которым следует городская рабочая сила.

- Гуманный город: он использует человеческий потенциал, в частности, кадры знаний. Следуя такому подходу, можно сосредоточиться на образовании и построить центр высшего образования, в котором находится город, с получением более образованных людей. Эта точка зрения перемещает концепцию умного города в город, полный квалифицированной рабочей силы. То же самое можно сказать и о тех высокотехнологичных отраслях, чувствительных к знаниям, которые хотят мигрировать в столь динамичное и активное сообщество. Как следствие вышеизложенного движения, разница между Smart City и не увеличивается. Умные места становятся умнее, в то время как другие становятся менее умными, потому что такие места действуют как магнит для творческих людей и работников.
- Город знаний: это связано с экономикой знаний и инновационным процессом. Умный город такого типа очень похож на обучающийся город, единственное отличие в котором заключается в том, что «город знаний тесно связан с экономикой знаний, а его отличие - это ударение на инновации».

Концепция города знаний связана с аналогичными развивающимися концепциями Умного города, такими как интеллектуальный город и образовательный город. Наиболее важной особенностью этого города является фундаментальная концепция развития городов на основе знаний, которая стала важным и широко распространенным механизмом развития городов знаний.

2.1.3. Институциональные рамки

Согласно Мозеру М. А. с 1990-х годов движение «Умные сообщества» сформировалось как стратегия расширения базы пользователей, вовлеченных в ИТ. Члены этих сообществ - это люди,

которые разделяют их интересы и работают в партнерстве с правительством и другими институциональными организациями, чтобы стимулировать использование ИТ для улучшения качества повседневной жизни вследствие ухудшения повседневных действий. Эгер, Дж. М. сказал, что умное сообщество принимает осознанное и согласованное решение о разворачивании технологий в качестве катализатора для решения своих социальных и бизнес-задач. Очень важно понимать, что такое использование ИТ и последующее улучшение могут быть более сложными без институциональной помощи; действительно, институциональное участие имеет важное значение для успеха инициатив умного сообщества. Опять Мозер М. А. объяснил, что «создание и планирование умного сообщества стремится к умному росту»; разумный рост имеет важное значение для того, что пытаются сделать партнерские отношения между гражданскими и институциональными организациями, что является реакцией на ухудшение тенденций в повседневной жизни, таких как, например, заторы на дорогах, переполненность школ и загрязнение воздуха. Тем не менее, важно отметить, что распространение технологий - не самоцель, а всего лишь средство переосмысления городов для новой экономики и общества. Подводя итог, можно было бы утверждать, что любые инициативы «Умный город» требуют поддержки правительства для их успеха.

Важность этих трех различных измерений состоит в том, что только связь, корреляция между ними, позволяют разработать реальную концепцию Smart City. Согласно определению «умный город» - город является умным, когда инвестиции в человеческий, социальный капитал и ИТ-инфраструктуру способствуют устойчивому росту и повышают качество жизни, через совместное управление.

2.1.4. Энергетическая основа

Умные города используют данные и технологии для повышения эффективности, повышения устойчивости, экономического развития и улучшения факторов качества жизни людей, живущих и работающих в городе. Это также означает, что в городе развита энергетическая инфраструктура. Более формальное определение таково: «... городской

район, в котором надежно интегрированы технологии в секторах информации... и Интернета вещей (IoT) для более эффективного управления городскими активами».

В «умном городе» используются «умные соединения» для различных предметов, таких как уличное освещение, интеллектуальные здания, распределенные энергоресурсы, аналитика данных и интеллектуальная транспортировка. Среди этих вещей энергия имеет первостепенное значение. Вот почему коммунальные компании играют ключевую роль в умных городах. Электрические компании, работающие в партнерстве с городскими чиновниками, технологическими компаниями и рядом других учреждений, являются одними из основных игроков, которые помогли ускорить рост умных городов.

Умный город выполняет две важные задачи:

- сбор и передача данных представителям управления;
- налаживание обратной связи между администрацией и горожанами, благоустройство среды.

Плюсы Умного города заключаются в повышении уровня жизни граждан и в уменьшении издержек рабочих процессов благодаря автоматизации деятельности, не требующей применения аналитических навыков.

Термин «умный город» был введен относительно недавно, и однозначного толкования этого понятия до сих пор нет. Однако эксперты сошлись в том, что основной источник управления смарт сити – данные о населении.

Цифровые города постоянно улучшают свои функции за счет непрерывной обработки и обновления сведений. Интегрированные датчики собирают информацию, полученную от жителей города и с помощью электронных устройств. После анализа собранных данных происходит оптимизация, решающая проблемы неэффективности.

Компоненты системы умных городов:

- Видеонаблюдение и фотофиксация
- Интеллектуальные транспортные системы
- Единая система экстренного вызова
- Единая диспетчерская служба и ситуационные центры
- Интернет вещей (IoT)
- Пятое поколение мобильной связи (5G)

Эти инструменты сбора и анализа информации используются для улучшения функционирования транспортной развязки, медицины, промышленности и других сфер, формирующих модель цифрового города.

Предлагается процесс подготовки квалифицированных специалистов в соответствии с потребностями человека и требованиями рынка труда в умном городе, который должен быть представлен в виде пяти последовательных функциональных этапов:

- определение профессиональных склонностей и способностей
- мониторинг городского рынка труда
- выбор будущей профессии
- выбор учебного заведения
- формирование индивидуальной учебной траектории.

На основании рассмотренного теоретического материала по концепциям “Умного города” было установлено следующее.

Существует множество различных факторов при которым и создается Умный город. Цифровые города постоянно улучшают свои функции за счет непрерывной обработки и обновления сведений.

2.2. Особенности “Умных городов”

В декабре 2017 г. сотрудники Научно-исследовательского института технологий и связи определили семь основных направлений Умного города.

- **Умная экономика:**
 - Формирование благоприятной среды для инновационной деятельности, в том числе для развития информационно-коммуникационных технологий;
 - Налаженная система онлайн-бронирования гостиниц.

- **Умное управление:**
 - Отлаженное функционирование системы коммуникации между жителями города и представителями исполнительной власти, информационная открытость городской администрации;
 - Активность граждан в управлении городом;
 - Актуальность документации стратегического планирования;
 - Высокая посещаемость официальных сайтов городской администрации.

- **Умные финансы:**
 - Доступность банкоматов
 - Прозрачность государственных тендеров
 - Система оплаты проезда по безналичному расчету

- **Умная инфраструктура:**
 - Отлаженная работа интернет-сервисов для вызова и оплаты такси
 - Возможность мониторить дорожный трафик в режиме онлайн
 - Наличие сети заправочных станций для электромобилей
 - Сервис по предоставлению услуг каршеринга

- **Умные жители:**
 - Активность и количество пользователей Всемирной сети
 - Применение электронных карт учащихся
 - Доступность данных о рынке труда

- **Умная среда:**
 - Развитая система мониторинга экобезопасности

- Участие горожан и администрации в устранении последствий несанкционированного выброса мусора

- **Умные технологии:**
 - Наличие бесплатных точек Wi-Fi, в т.ч. в общественном транспорте
 - Функционирование сетей мобильного широкополосного доступа [23].

В данной главе были рассмотрены Умные города: системы и их преимущества. Данное изучение позволило сделать ряд выводов.

Существует множество различных факторов по которым и создается Умный город. Интегрированные датчики собирают информацию по всему городу. Постоянный сбор и анализ информации используются для улучшения функционирования разных сфер жизни человека. Существует основных семь направлений Умного города.

3. СЕНСОРНАЯ СЕТЬ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА

В городах часто встречается ряд веществ в атмосфере, которые могут нанести ущерб здоровью человека. Эти вещества постоянно производятся в результате деятельности человека, и они сосредоточены в основном на городских или столичных районах. Недорогие датчики имеют большой потенциал, чтобы революционизировать способ мониторинга воздействия на население загрязнения атмосферного воздуха, поскольку

оно дает возможность собирать временные и пространственные данные. Фактически, одна из проблем, связанных с этими данными, поступающими из такого рода источников, заключается в чтобы сделать их более общими, распределении их в форме сети.

Последние достижения в области сенсорных и коммуникационных технологий сделали технически и экономически целесообразными беспроводные распределенные экологические сенсорные сети. Сети представляют собой беспрецедентный инструмент для изучения многих экологических процессов по-новому.

3.1. Системы мониторинга качества воздуха в России

Масштабная программа пространственного развития России, предложенная президентом страны, предполагает активное развитие городов. Их управление должно строиться на основе модели Smart City, предполагающей широкое использование цифровых технологий и современных подходов к ЖКХ. Для формирования «умных городов» необходимо включать их в стратегии социально-экономического развития регионов и совершенствовать нормативно-правовую базу.

Предложение развернуть масштабную Программу пространственного развития России, включающую развитие городов и других населенных пунктов, и как минимум удвоить расходы на эти цели в предстоящие шесть лет сделал глава государства Владимир Путин в мартовском послании Федеральному собранию.

При разработке Программы эксперты, по оценке вице-президента Центра стратегических разработок (ЦСР) Натальи Труновой, данной на совещании, посвященном будущему городов в среднесрочной перспективе, выделяют несколько уровней пространственного развития: страна, метрополис и муниципалитет[16].

В Московской области начнут применять системы Smart City, аналогичные используемым в Сеуле. Об этом во время официального визита в столицу Южной Кореи заявил губернатор региона Андрей Воробьёв. Речь идет о специальной интерактивной системе онлайн-

мониторинга городского хозяйства, которую продемонстрировал Воробьеву мэр Сеула Пак Вонсун. Система наблюдения «Умный город» установлена в его рабочем кабинете.

В режиме реального времени на интерактивный экран выводится актуальная информация о состоянии различных сфер жизнедеятельности мегаполиса. Трансляция осуществляется с помощью 60 тысяч видеокамер и специальных датчиков, установленных на объектах дорожно-транспортной, жилищно-коммунальной, промышленной инфраструктур. Система позволяет оперативно принимать необходимые управленческие решения. В том числе реагировать на поступающие запросы жителей города, контролировать уровень концентрации вредных веществ в воздухе, следить за общественным порядком и состоянием объектов культурного наследия[29].

На сегодняшний день в России существует сервис Aerostate.org, который позволяет узнать качество воздуха в конкретной точке земного шара. Российская разработка представляет собой интерактивную карту вредных выбросов, источники которых — не только промышленные предприятия и транспорт, но также, например, леса и поля, выделяющие ночью углекислый газ.

Для прогнозирования качества воздуха разработчики используют данные картографических сервисов OpenStreetMap и Nokia HERE, служб мониторинга выбросов промышленных предприятий, наземных метеостанций и космических спутников. Вся информация регистрируется на серверах. После этого на ее основе с помощью машинного обучения делается точный прогноз качества воздуха. На финальном этапе программа определяет, как взаимодействуют в условиях ландшафта потоки воздуха и загрязняющие вещества. Всего в Aerostate собирают данные по нескольким видам загрязнителей, среди них — угарный газ (CO), углекислый газ (CO₂), оксиды азота (NO_x), оксид серы (SO₂), озон (O₃), мелкодисперсная пыль (PM 2,5 и PM 10).

На сегодняшний день прогнозы с точностью 95% показываются на сайте для восьми пилотных городов - Москва, Лондон, Барселона, Нью-Йорк, Сан-Франциско, Чикаго, Денвер, Лос-Анджелес[15].

На основании рассмотренного теоретического материала по системам мониторинга качества воздуха в России было установлено следующее.

Масштабная программа пространственного развития России предполагает активное развитие городов. В Московской области начнут применять системы Smart City с обзором актуальной информации о состоянии различных сфер жизнедеятельности мегаполиса. В России есть своя разработка, которая представляет собой интерактивную карту вредных выбросов, которая позволяет узнать качество воздуха в любом месте. Эту карту может посмотреть любой человек в интернете.

3.2. Системы мониторинга качества воздуха в разных странах

В Канаде в регионе Альберта Капитал мониторинг качества воздуха занимается организация Alberta Capital Airshed. Качество воздуха является маркером того, насколько чистым является наш воздух. Это определяется скоростью, с которой загрязняющего вещества выбрасываются в атмосферу, и насколько эффективна атмосфера может рассеивать эти загрязнители. Через 9 непрерывных станция мониторинга нашего региона и 11 пассивных мониторов мы можем увидеть точную картину качества воздуха. Эти данные можно посмотреть на карте мониторинга воздуха. На карте показаны станции производства загрязняющие вещества[17,18].

Мониторинг состояния городской атмосферы один из коньков Сиднея. Национальный центр ИКТ Австралия (NICTA) и Департамент защиты окружающей среды штата Новый Южный Уэльс (NSW EPA) запустили пилотный проект по измерению загрязненности воздуха в области Хантер-Вэлли (Hunter Valley).

Здесь установили 14 датчиков, который собирает данные состояние воздуха круглосуточном режиме. Они могут определять содержание озона, двуокиси азота, угарного газа, диоксида серы и твердых частиц, а также измерять показатель прозрачности воздуха.

На основании этих данных специальный алгоритм вычисляют индекс качества воздуха (AQI – air quality index). Поэтому индексу можно прогнозировать уровень загрязнения атмосферы в разных частях штата. Информация открыта, так что о состоянии воздуха в городе жители Сиднея могут узнать так же, как о прогнозе погоды - с компьютеров или смартфонов.

В Австралии к системе SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System – Адаптивная система контроля дорожного движения) подключено большинство перекрестков – около 11 тысяч. По данным властей штата Новый Южный Уэльс, использование адаптивной системы регулирования позволило сократить опоздание машин на 20%, пробки – на 40%, а количество сжигаемого в Сиднее топлива упало на 12%. Соответственно, на 7% сократился объем выхлопных газов. А, следовательно, воздух стал более чище[19].

Загрязнение воздуха является серьезной проблемой в крупных городских районах. Исследования показывают, что около 78 процентов загрязнения воздуха в целом города из-за выхлопных газов дорожных или внедорожных транспортных средств. Различные исследования были сделаны для мониторинга и контроля уровня загрязнения, выделяемого транспортными средствами. В данном исследовании мы предлагаем беспроводное сенсорное сетевое решение для мониторинга выбросов загрязняющих веществ выхлопных систем автомобилей[35].

Мониторинг состояния окружающей среды города Саламанка. Широкая сеть датчиков качества воздуха для экологически чистого городского управления трафиком (RESCATAME) - это проект, финансируемый Европейским Союзом в рамках программы LIFE. Консорциум состоит из следующих членов: CARTIF, Европейской сети VIC, мэрии Саламанки и исследовательской консультативной группы R&G. Его основная цель - обеспечить устойчивое управление трафиком в городе Саламанка с использованием двух ключевых элементов: повсеместной сети датчиков качества воздуха, а также моделей прогнозирования.

Проект собирает данные, чтобы доказать, что, используя данные, собранные с датчиков, расположенных по всему городу, обеспечивая полное и географическое покрытие по низким ценам, муниципалитеты

могут эффективно достичь пути улучшения управления городским движением в крупных европейских городах[20].

Мониторингом окружающей среды в Индии занимается компания Techregis которая изобрела датчик Polludrone. Polludrone - это недорогое решение для контроля качества окружающего воздуха с встроенными и дополнительными возможностями солнечной энергии. Компактная конструкция, точные сенсорные системы, непрерывная передача данных, удобное программное обеспечение для облаков, интеллектуальные отчеты, энергоэффективность благодаря солнечной энергии являются одними из ключевых USP продуктов. Благодаря точной сенсорной системе и запатентованной технологии Polludrone может измерять различные параметры, такие как окружающие, токсичные и опасные газы, частицы, неприятные запахи, окружающий шум, радиоволны и многое другое. Мониторинг параметров - PM1, PM2.5, PM10, NO_x, CO, CO₂, O₃, SO₂, H₂S, NH₃, 4CH₃SH, TVOC, CH₄, CH₂O, Шум, Окружающий свет - Li, UV, IR, Lv, Температура, влажность, барометрическое давление, осадки, скорость ветра и направление. Программное обеспечение и мониторинг доступны в Интернете, а также мобильных платформах для удобства доступа[21].

Сопровождая быструю урбанизацию, многие развивающиеся страны страдают от серьезной проблемы загрязнения воздуха. Спрос для прогнозирования качества воздуха в будущем становится все более и более важно для политики правительства и решения людей изготовление.

В данном исследовании мы прогнозируем качество воздуха следующих 48 часов для каждой станции мониторинга, учитывая данные о качестве воздуха, метеорологические данные и данные прогноза погоды. На основании домена знания о загрязнении воздуха, мы предлагаем глубокие нейронные сетевой (DNN) подход (под названием DeepAir), который состоит из компонента пространственного преобразования и глубоко распределенного сеть слияния. Учитывая пространственные корреляции загрязнителей воздуха, первый компонент преобразует пространственное разреженное качество воздуха данные в последовательный вход для моделирования источников загрязнения. Последняя сеть принимает нейронную распределенную архитектуру для предохранитель разнородных городских данных для одновременного

захвата факторы, влияющие на качество воздуха, например метеорологические условия.

DeerAir развернута в нашей системе AirPollutionPrediction, предоставляя прогнозы качества мелкозернистого воздуха для 300+ китайских городов каждый час. Экспериментальные результаты по данным трехлетних девяти китайских городов демонстрируют преимущества DeerAir за пределами 10 базовых методов. Повышение относительной точности на 63,2% в краткосрочной, долгосрочной перспективе и прогноз внезапных изменений соответственно[33].

Компания Vaisala поставляет современные датчики качества воздуха для интеллектуальной городской сети ICE Gateway в Праге. Это первый проект такого рода в Чешской Республике, который включает в себя множество датчиков, таких как датчики качества воздуха Vaisala, устойчивое освещение, данные о трафике и маркетинговые услуги. Цель состоит в том, чтобы обеспечить городу Праге комплексную и гибкую интеллектуальную городскую инфраструктуру для предоставления услуг передачи данных городу и его гражданам. Vaisala вносит свой вклад в проект, предоставляя датчики качества воздуха и CO₂, которые помогают понять локальные условия качества воздуха и планировать действия по улучшению качества воздуха[24].

Бельгийская компания Qweriу специализируется на производстве интеллектуальных облачных контрольно-измерительных приборов IoT. iNose - сеть газовых сенсоров IoT. Данные датчики обнаруживают и идентифицируют более 30 видов газов на широкой территории. Эти датчики применяются в разных отраслях таких как порты, химическая индустрия, огонь и бедствия, переработка отходов и воды, контейнерные и газовые терминалы, экологичность: коричневое поле - санитария - сельское хозяйство.

Каждая система iNose оснащена внутренним GPS и подключением к данным для простоты развертывания. При желании, система iNose может быть оснащена (автоматизированным) сэмплером, если требуются юридические доказательства или проверка.

Atlantis, онлайн-облачная платформа, в реальном времени визуализирует обнаружение газа, отслеживает события и генерирует предупреждения для клиентов. Кроме того, платформа способна добавлять

дополнительные данные (погода, отслеживание корабля AIS, ...) через веб-службы[25].

Одним из вариантов применения датчиков компании Cisco является решение проблемы экологической обстановки. Для этого нужны датчики мониторинга окружающей среды и сетевая инфраструктура для удаленного управления и мониторинга. В итоге мы получаем сбор данных для анализа текущей ситуации и построения прогноза. Такие датчики уже установлены в Амстердаме (Нидерланды) и Ривас-Васиамадрид (Испания). Компания подсчитала, что улучшение экологической ситуации и повышение уровня комфорта и качества жизни: снижение времени поиска парковки на 3 минуты приводят к уменьшению выбросов CO₂ на 481 тонн в день, а то улучшает качество воздуха. А также показательным примером работы датчиков компании Cisco может служить город Сонгдо. Уже 7 лет идет строительство «города будущего» В Южной Корее. Это один из самых масштабных и ярких проектов в мире в последние годы. Сонгдо возводится на искусственном острове, примерно в 60 км от Сеула и будет представлять собой интеллектуальный город, в котором с помощью Интернета будут связаны между собой и люди и объекты.

Практически в каждый метр пространства города, улицы, тротуары, дома и коммуникации подключен к сети с помощью сенсоров компании Cisco. Датчики будут передавать непрерывный поток данных о состоянии зданий, улиц и ситуации на дорогах, температуре снаружи и внутри, потребности в энергии в центральный узел управления[27,28].

Столица Дании заняла верхнюю строчку в рейтинге EasyPark. Здесь развитая инфраструктура для велосипедного транспорта, благодаря которой Копенгаген носит неофициальный титул самого велосипедного города Европы. В 2017 году стартовал проект по оснащению велосипедов датчиками, которые будут сообщать об уровне загрязнения и пробках на дорогах[30,31].

На основании рассмотренного теоретического материала по системам мониторинга качества воздуха в разных странах было установлено следующее.

Основным источником загрязнений в городах является транспорт. На сегодняшний день существует много различных датчиков для мониторинга качества воздуха. Ими усеяны города разных стран для сбора и обработки данных. Уменьшение загрязнений воздуха является одной из важнейших задач для каждой страны. Также странах есть онлайн - сервисы на которых можно через приложение просмотреть состояние качества воздуха.

3.3. Здравоохранение в системе мониторинга качества воздуха

Согласно оценкам Всемирной организации здравоохранения, загрязнение воздуха отвечает за причинение или ускорения примерно 7 миллионов смертей каждый год. Загрязнение воздуха вызвано различными газами и химическими веществами в атмосфере, который накапливается всё больше и больше с каждым годом.

Smart Sense противостоит этому апокалиптического сценарию, где чистый воздух это роскошь и газ, который является обязательным при условии выходе на улицу.

С помощью этого руководящего принципа мы разработали Smart AirQ - интеллектуальную сенсорную платформу для мониторинга нескольких параметров воздуха на уровне улицы и города. От относительной влажности, температуры и атмосферного давления до CO, NO, SO₂, O₃ и частиц, находящихся в воздухе, мы предлагаем понимание качества воздуха вокруг нас. И теперь у нас есть дюжина станции мониторинга воздуха, установленных в четырех разных странах на двух разных континентах: в Хорватии, в Германии, Греции и Саудовской Аравии[22].

Чистый воздух считается основным требованием для здоровья человека и благополучия. Несмотря на внедрение более чистых технологий в промышленности, производство энергии и транспорт, загрязнение воздуха остается серьезной угрозой для здоровья. Недавние эпидемиологические исследования предоставили доказательства того, что

в Европе сотни тысяч преждевременных смертей связаны с загрязнением воздуха. Всемирная организация здравоохранения занимается вопросами загрязнения воздуха и его воздействие на здоровье человека более 40 лет. В 1987 году эта деятельность кульминацией стала публикация первого издания Руководства по качеству воздуха для европы. Целью руководящих принципов было обеспечение основы для защиты здоровье населения от неблагоприятных воздействий загрязнителей воздуха, чтобы устранить или уменьшить воздействие опасных загрязнителей воздуха, а также для руководства национальных и местных органов власти в своих решениях по управлению рисками. Руководства были получены с большой энтузиазм и нашел широкое применение в принятии экологических решений в Европейском регионе, а также в других частях мира[34].

На основании рассмотренного теоретического материала по здравоохранению в системе мониторинга качества воздуха было установлено следующее.

Чистый воздух считается основным требованием для здоровья человека. Загрязнение воздуха отвечает за причинение или ускорения миллионов смертей ежегодно. Загрязнение воздуха вызвано различными газами и химическими веществами в атмосфере. Поэтому необходимо следить за качество воздуха.

В данной главе были рассмотрены сенсорные сети мониторинга качества воздуха. Данное изучение позволило сделать ряд выводов.

Загрязнение воздуха является серьезной проблемой. Основным источником загрязнений в городах является транспорт. Последние достижения в области сенсорных и коммуникационных технологий сделали целесообразным беспроводные экологические сенсорные сети. Множество различных датчиков для мониторинга качества воздуха установлены в различных странах для выявления источников загрязнений и их уменьшения. Различные сервисы помогают следить за качеством атмосферного воздуха не выходя из дома.

4. АНАЛИЗ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

4.1. Математический аппарат анализа статистических характеристик метеорологических полей

Задание:

1. Нужно рассчитать автокорреляционную функцию для каждого поста.
2. Определить время корреляции.
3. Определить СКО поля РМ2.5 и РМ10 (естественную изменчивость).
4. Рассчитать парные коэффициенты корреляции полей РМ2.5 и РМ10.
5. Рассчитать расстояния между постами.
6. Построить по этим данным график пространственной корреляционной функции.

Даны данные мониторинга качества воздуха. Данные предоставлены Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга по 5 постам мониторинга:

- Малоохтинский проспект, 98
- Маршала Жукова, 30
- проспект КИМа, 26
- Таврическая улица, 10
- проспект Королева 36/8

Среднее арифметическое или также называемое средним значением для набора данных является центральным значением дискретного набора чисел: в частности, сумма значений, деленная на количество значений.

Среднее квадратичное отклонение — это квадратный корень из среднего арифметического всех квадратов разностей между данными величинами и их средним арифметическим.

Корреляция - это статистическая взаимосвязь двух или нескольких случайных величин. При этом изменения значений одной или нескольких из этих величин сопутствуют систематическому изменению значений другой или других величин.

Пространственная корреляционная функция характеризуется изменением флуктуаций величин в пространстве.

Автокорреляционная функция — зависимость взаимосвязи между функцией и её сдвинутой копией от величины временного сдвига.

Распределение масс аэрозольных частиц по постам мониторинга качества воздуха.

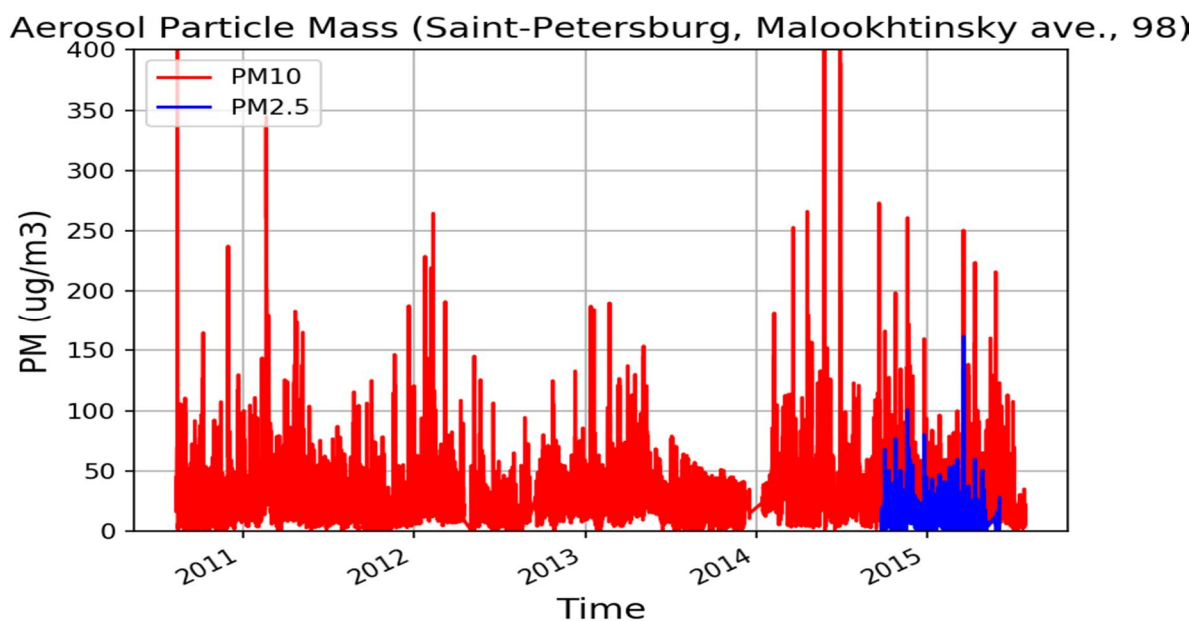


рис.1. Масса аэрозольных частиц по адресу Малоохтинская набережная, 98

Из рис.1. видно что преобладают частицы PM10. Прослеживается тенденция ежегодных пиковых значений частиц PM10. А также прослеживается взаимосвязь пиковых значений PM10 и PM25.

Aerosol Particle Mass (Saint-Petersburg, Marshal Zhukov pr.,30)

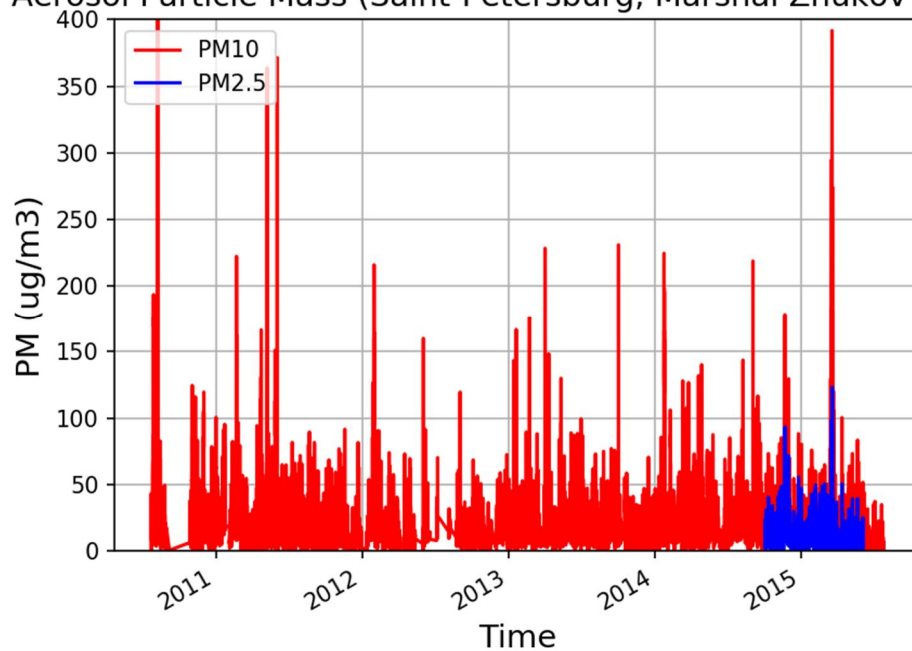


рис.2. Масса аэрозольных частиц по адресу Маршала Жукова, 30

Из рис.2. видно что преобладают частицы PM10. Прослеживается тенденция ежегодных пиковых значений частиц PM10.

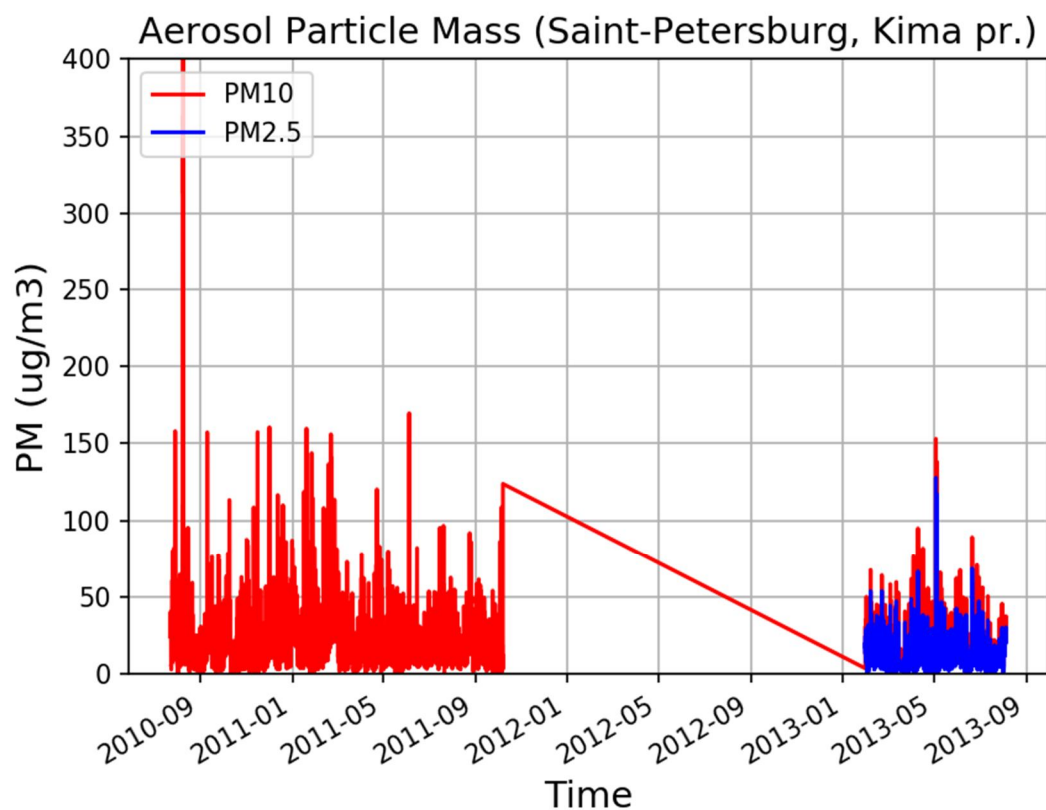


рис.3. Масса аэрозольных частиц по адресу КИМа, 26

Из рис.3. видно что преобладали частицы PM10. Потом мониторинг качества воздуха не проводился почти 2 года. После повторного включения мониторинга видно, что частицы PM25 не уступают в количестве частицам PM10.

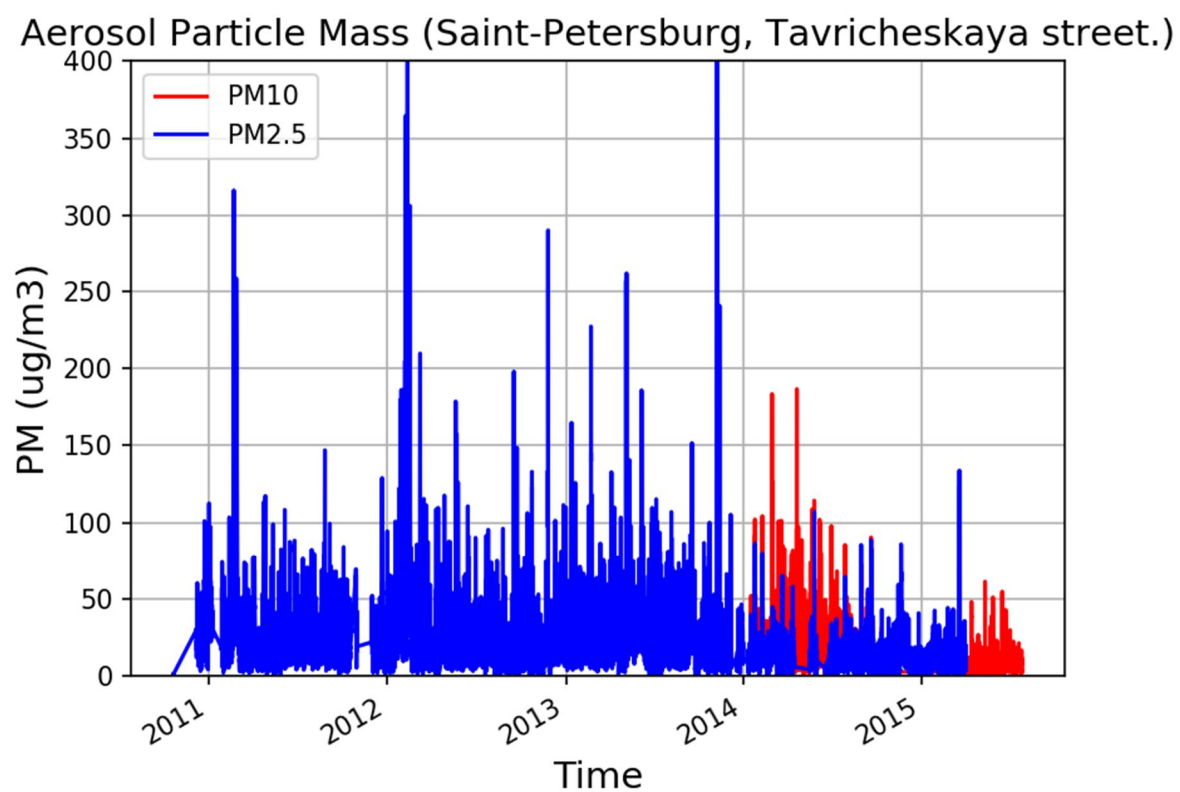


рис.4. Масса аэрозольных частиц по адресу Таврическая улица, 10

Из рис.4. видно что преобладали частицы PM25. Прослеживается тенденция ежегодных пиковых значений частиц PM25.

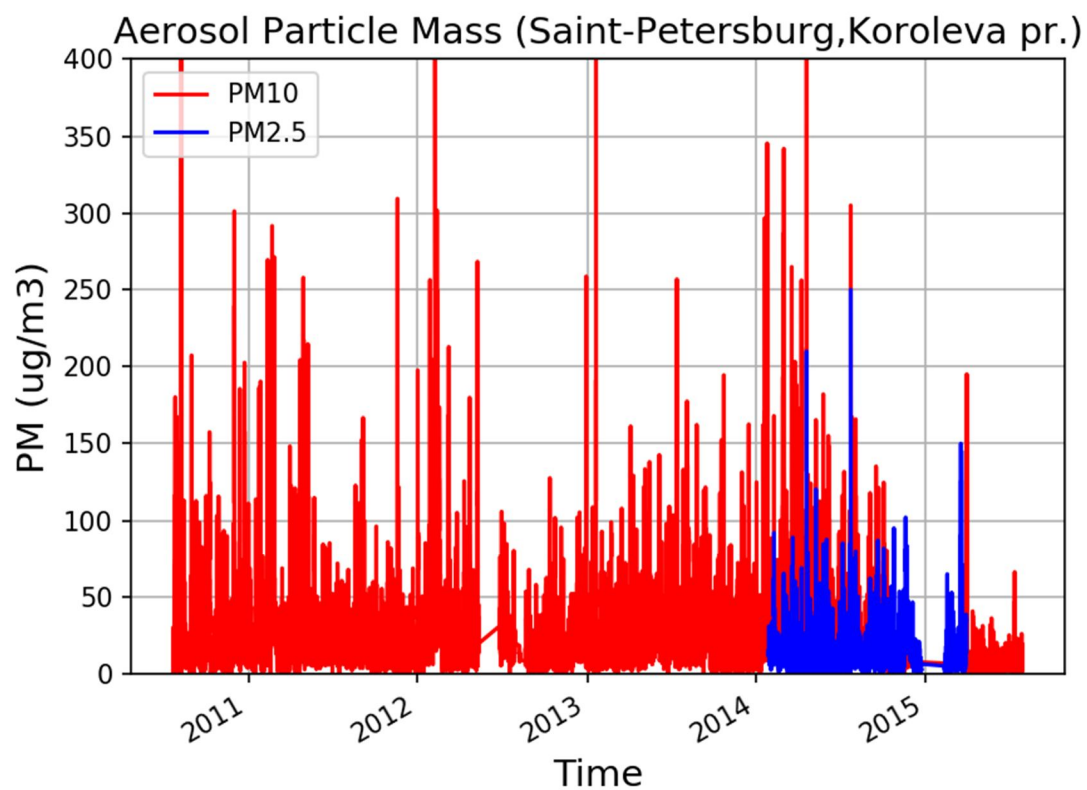


рис.5. Масса аэрозольных частиц по адресу проспект Королева, 36/8

Из рис.5. видно что преобладают частицы PM10. Прослеживается тенденция ежегодных пиковых значений частиц PM10. А также прослеживается взаимосвязь пиковых значений PM10 и PM25.

4.2 Статистические характеристики поля массовой концентрации PM2.5

номер 1 станции	номер 2 станции	расстояние	корреляция	длина ряда
Мал.Охт пр	пр. Жукова	12000	0,89	14236
Мал.Охт пр	пр.КИМа	9800	-	-
Мал.Охт пр	Таврическая ул.	3500	0,94	12622
Мал.Охт пр	пр.Королева	13000	0,90	9079
пр. Жукова	пр.КИМа	11000	-	-
пр. Жукова	Таврическая ул.	13000	-	-
пр. Жукова	пр.Королева	18000	0,89	8881
пр.КИМа	Таврическая ул.	7500	0,91	13180
пр.КИМа	пр.Королева	6900	-	-
пр.Королева	Таврическая ул.	9800	0,92	23038

табл.1. Данные для пространственной корреляционной функции поля концентрации PM25

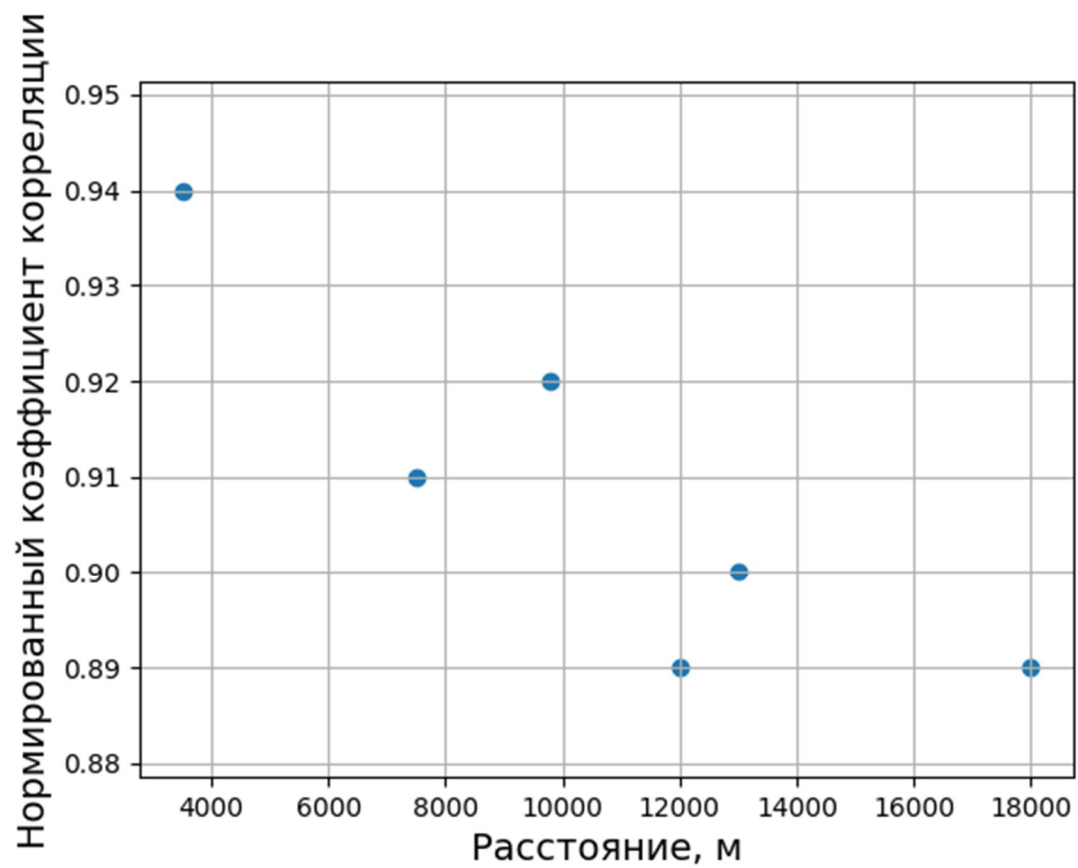


рис.6. Пространственная корреляционная функция поля концентрации PM25

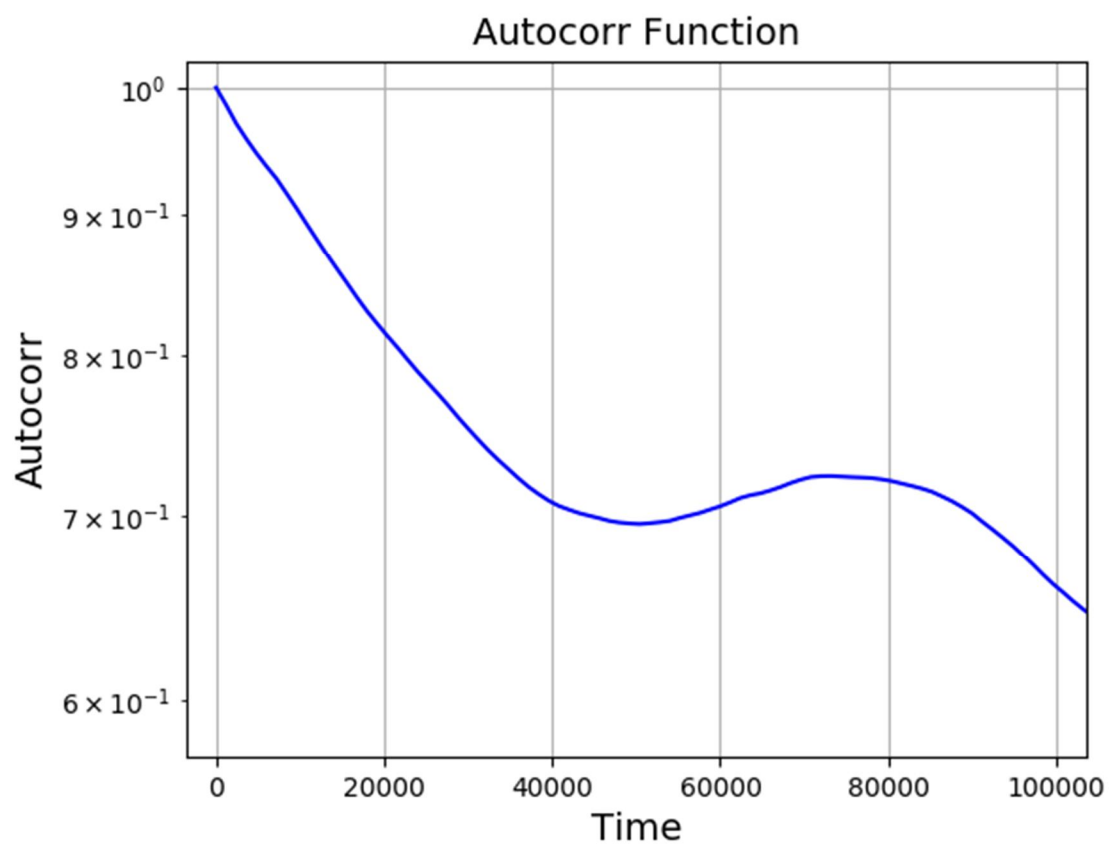


рис.?. Автокорреляционная функция по данным с поста по адресу
Малоохтинская набережная, 98

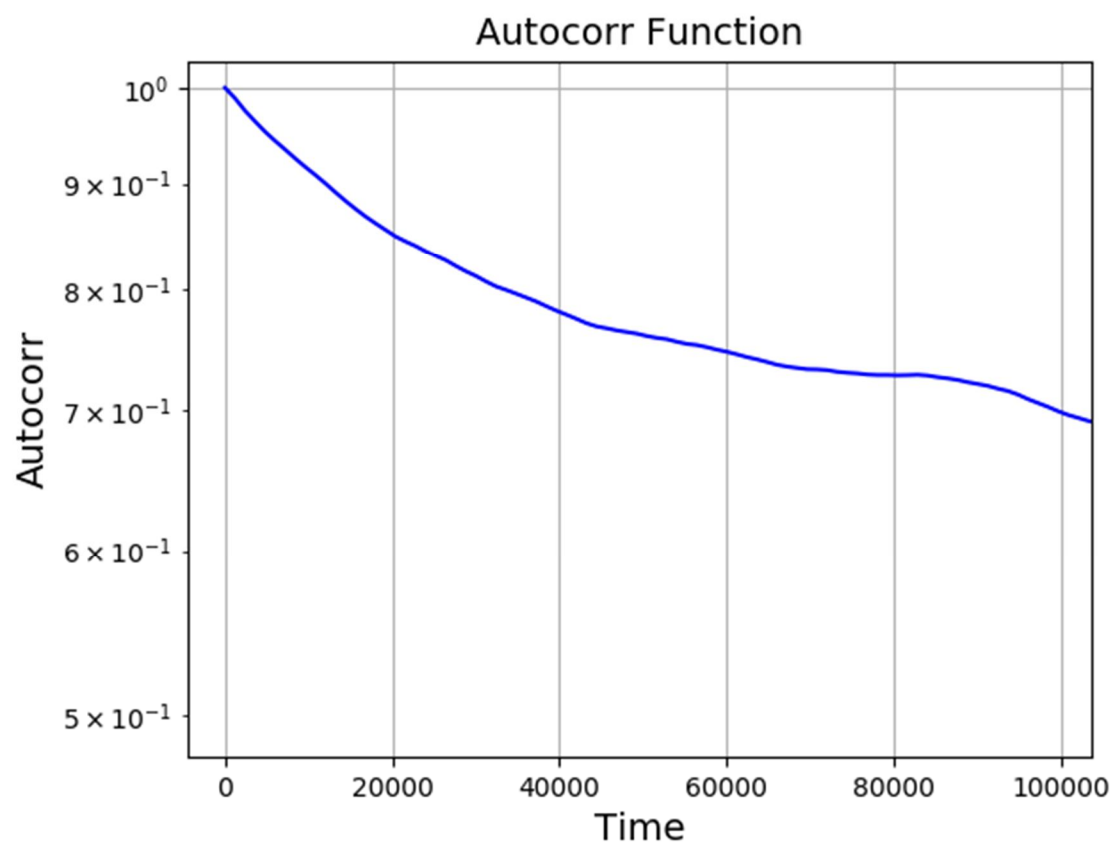


рис.7. Автокорреляционная функция по данным с поста по адресу
Маршала Жукова, 30

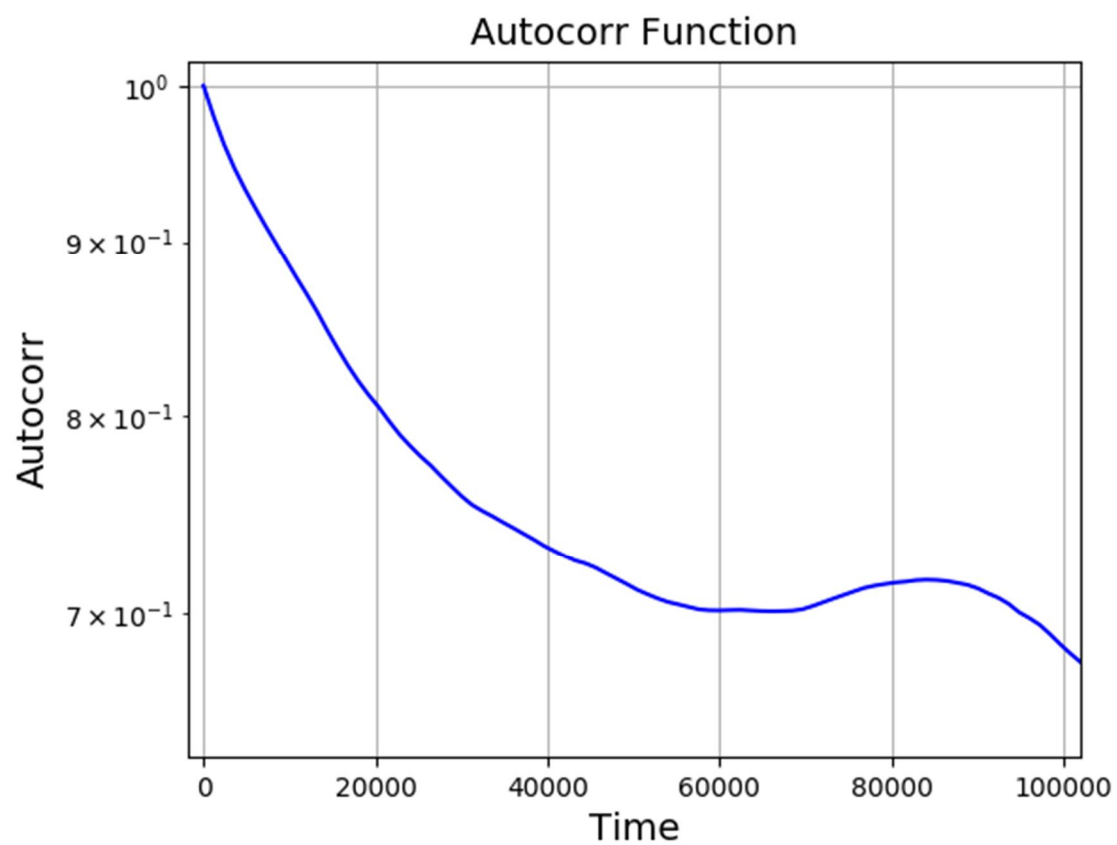


рис.8. Автокорреляционная функция по данным с поста по адресу
проспект Королева, 36/8

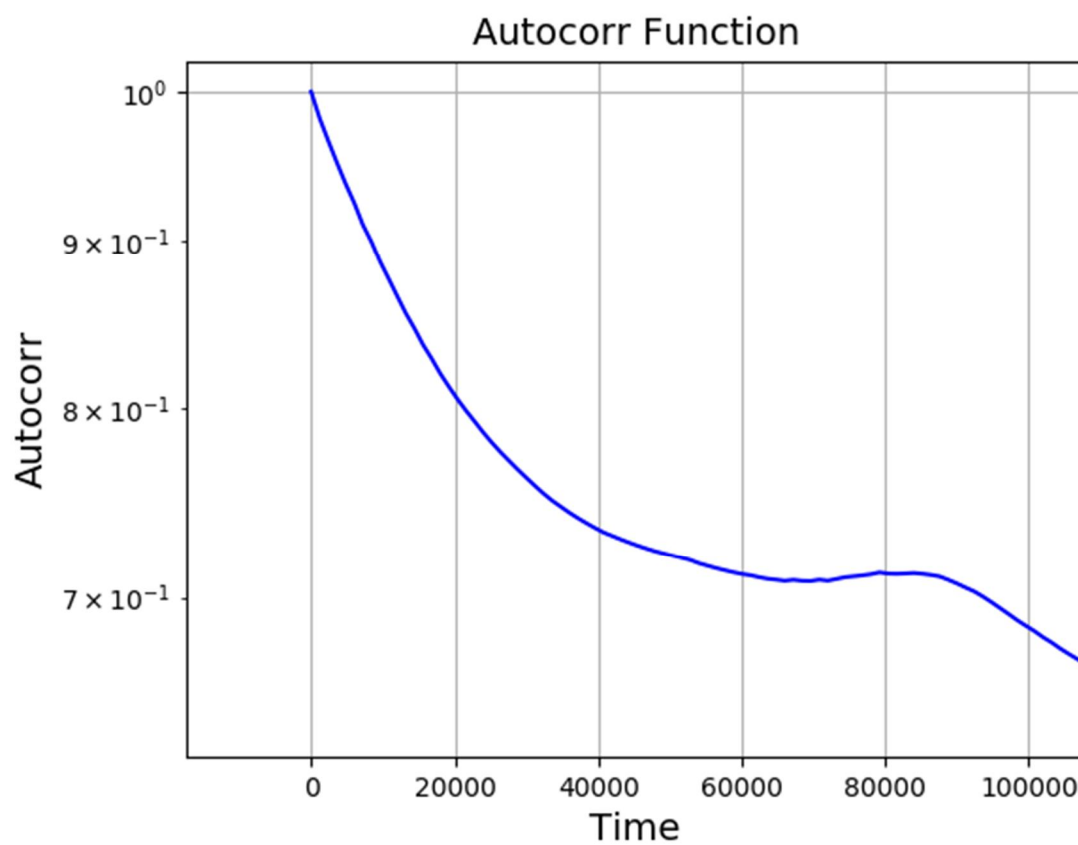


рис.9. Автокорреляционная функция по данным с поста по адресу улица Таврическая, 10

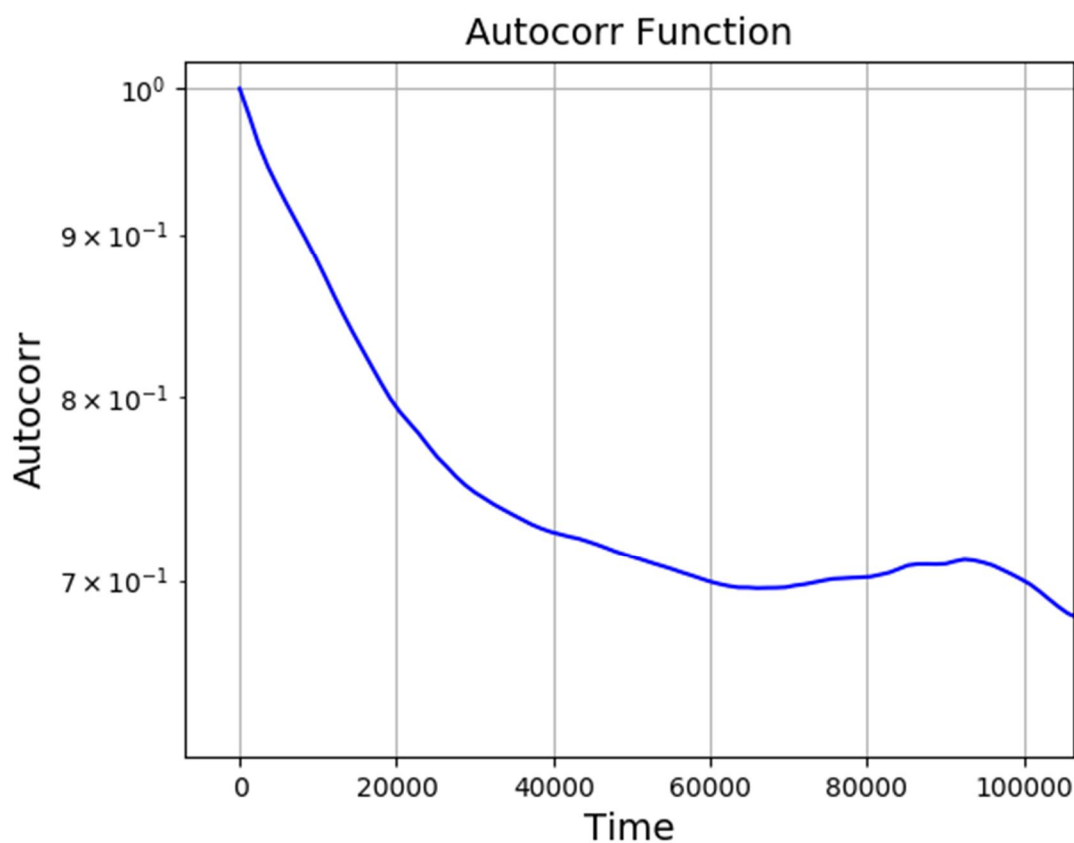


рис.10. Автокорреляционная функция по данным с поста по адресу проспект КИМа, 26

4.3 Статистические характеристики поля массовой концентрации PM10

номер 1 станции	номер 2 станции	расстояние	корреляция	длина ряда
Мал.Охт пр	пр. Жукова	12000	0,84	100246
Мал.Охт пр	пр.КИМа	9800	0,87	41410
Мал.Охт пр	Таврическая ул.	3500	0,84	26987

Мал.Охт пр	пр.Королева	13000	0,81	104142
пр. Жукова	пр.КИМа	11000	0,90	35518
пр. Жукова	Таврическая ул.	13000	0,82	27577
пр. Жукова	пр.Королева	18000	0,82	96549
пр.КИМа	пр.Королева	6900	0,90	41869
пр.Королева	Таврическая ул.	9800	0,85	28529

табл.2. Данные для пространственной корреляционной функция поля концентрации PM10

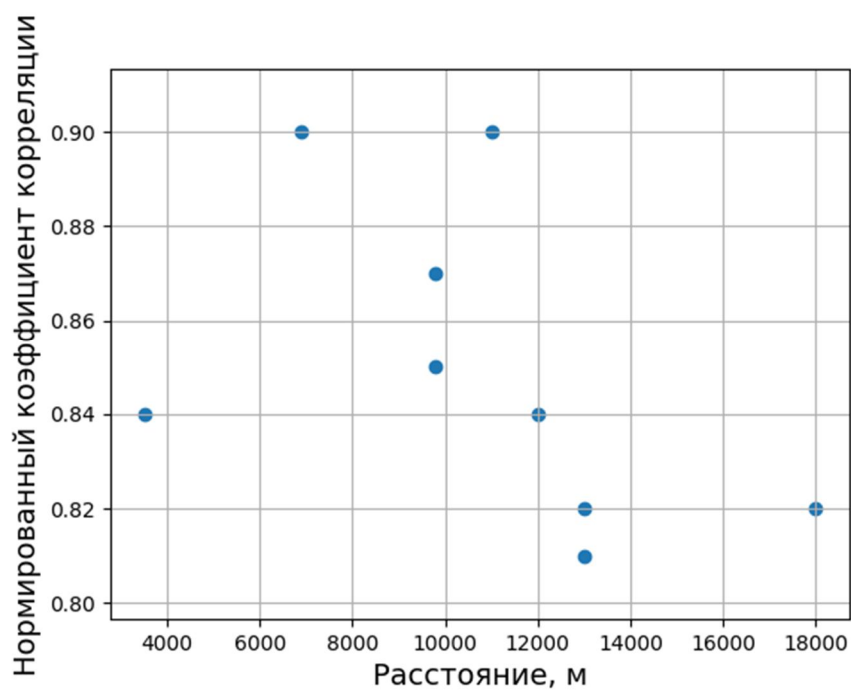


рис.11. Пространственная корреляционная функция поля концентрации PM10

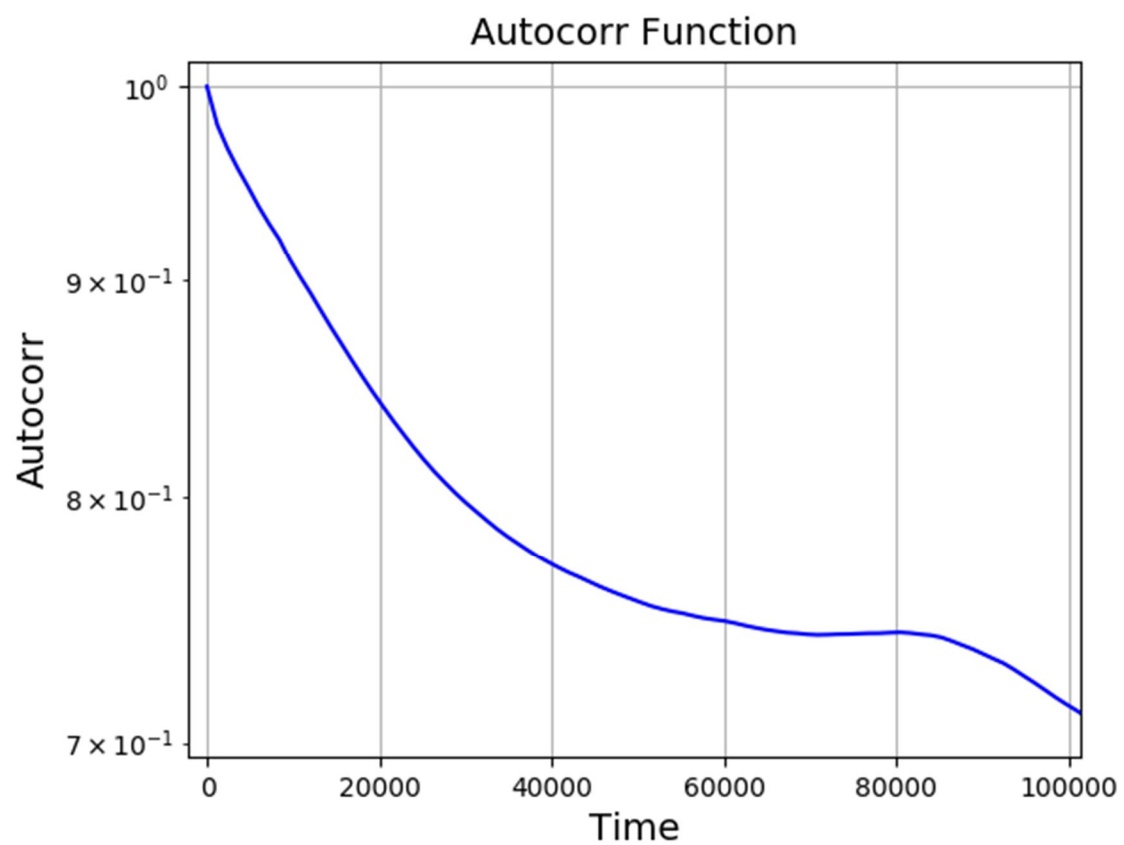


рис.12. Автокорреляционная функция по данным с поста по адресу Малоохтинская набережная, 98

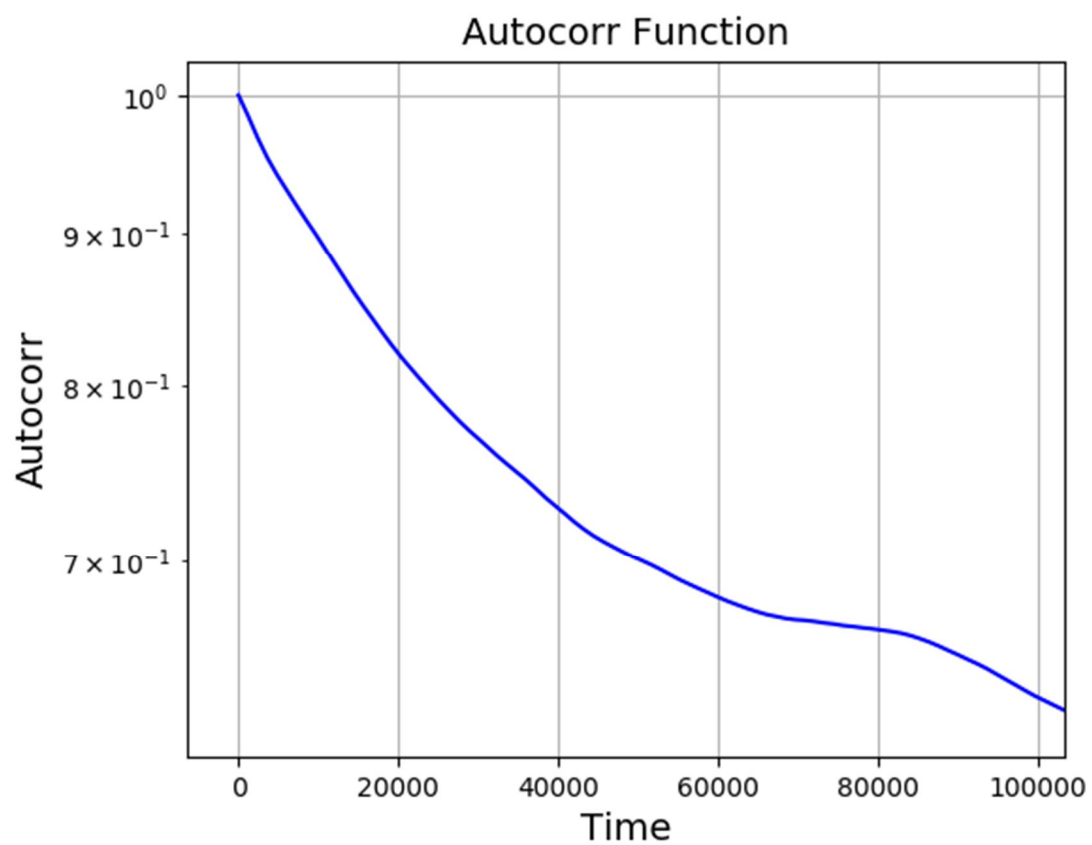


рис.13. Автокорреляционная функция по данным с поста по адресу
Маршала Жукова, 30

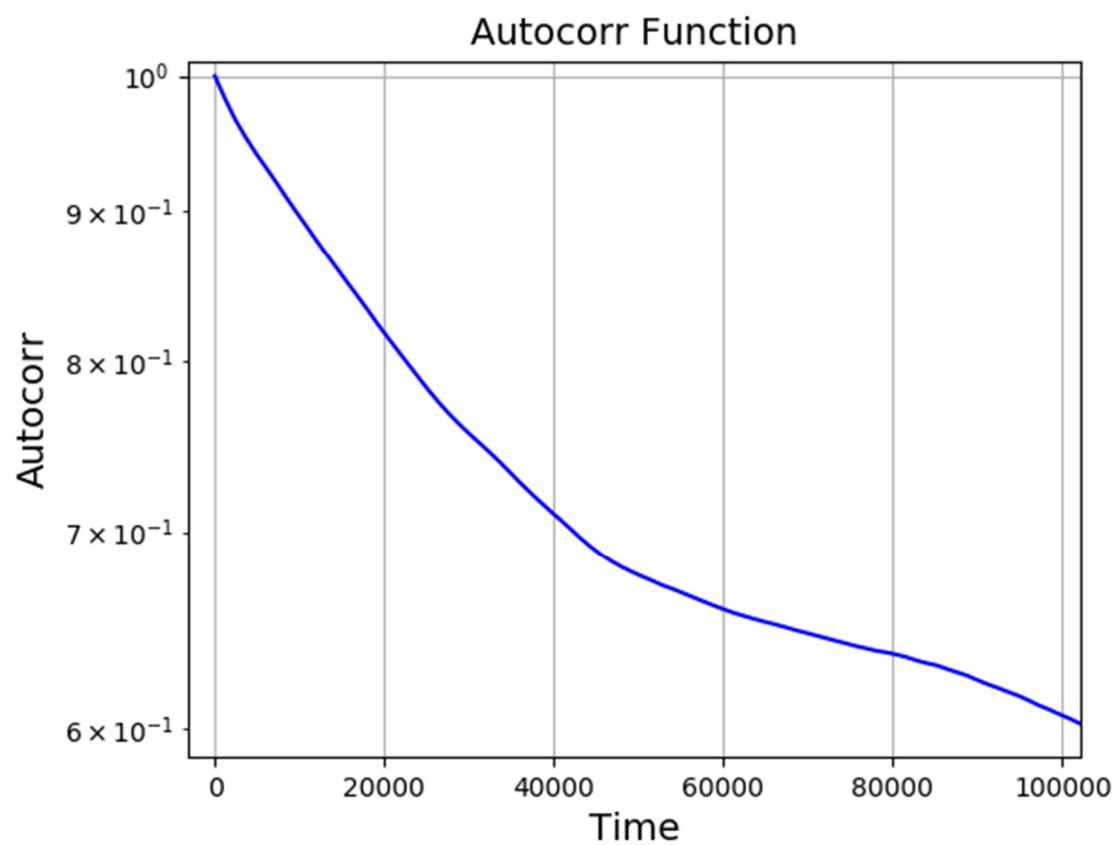


рис.14. Автокорреляционная функция по данным с поста по адресу
проспект КИМа, 26

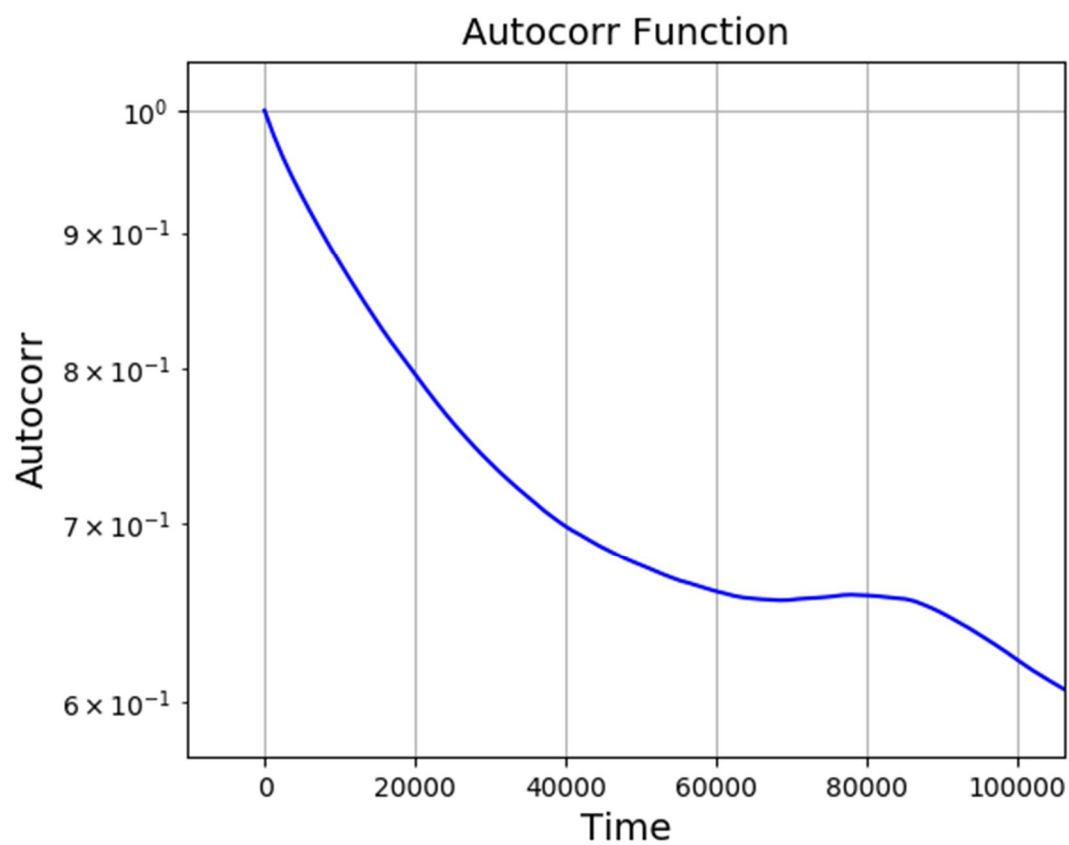


рис.15. Автокорреляционная функция по данным с поста по адресу
проспект Королева, 36/8

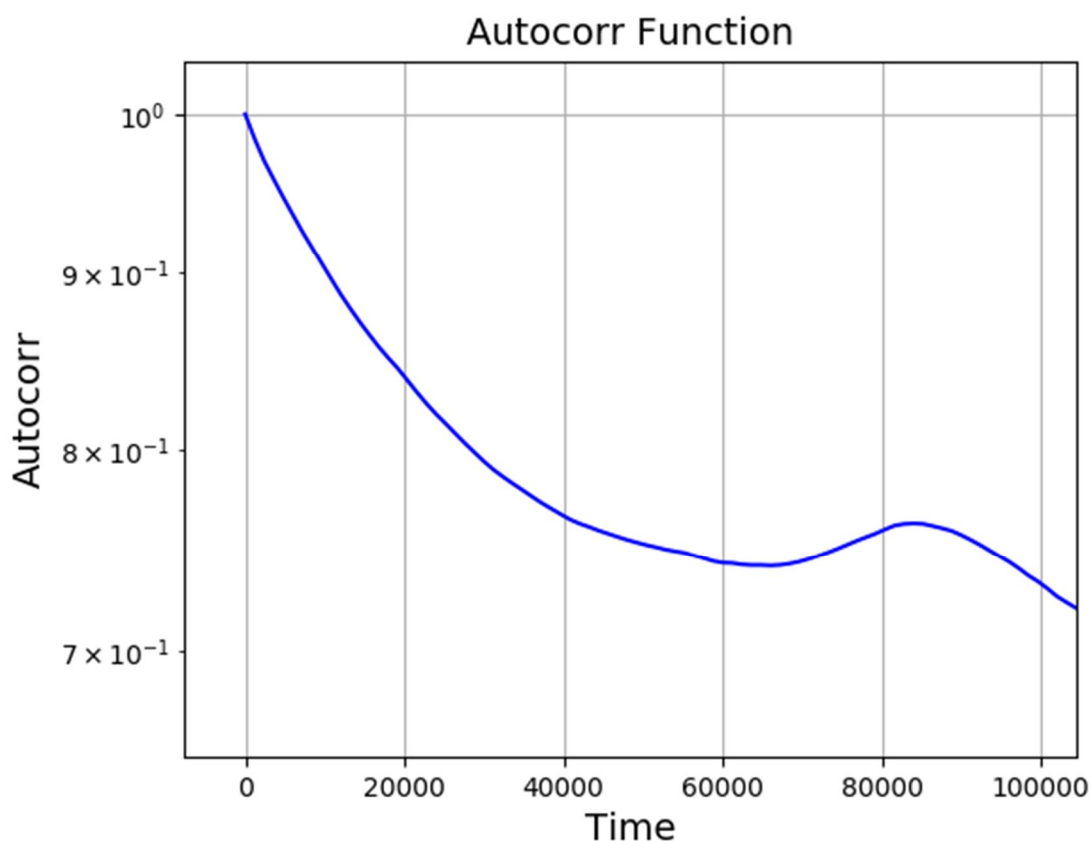


рис.16. Автокорреляционная функция по данным с поста по адресу улица Таврическая, 10

Заключение.

На основании проведенного исследования можно сделать вывод о том, что крайне необходим мониторинг качества атмосферного воздуха. Проблемы экологического состояния атмосферы, мониторинга качества атмосферного воздуха и его улучшения, на данный момент являются одними из сложных для решения задач и должны находиться в сфере особого внимания.

При выполнении работы, проведённой в рамках выпускной квалификационной работы, все поставленные задачи были выполнены:

1. Были получены теоретические знания об основах аэрозолей и их характеристик, влияние метеорологических параметров;

2. Были получены теоретические знания об основы Умных городов, их системы и преимущества;
3. Были получены теоретические знания об основы систем мониторинга качества воздуха, изучить датчики качества воздуха;
4. Произведен анализ теоретических данных, и разработать рекомендации по совершенствованию систем мониторинга качества воздуха;
5. Произведен анализ данных на основе мониторинга качества воздуха в городе Санкт-Петербурге.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

1. M. J. Ruzmyn Vilcassim, George D. Thurston, Richard E. Peltier, Terry Gordon. Black Carbon and Particulate Matter (PM_{2.5}) Concentrations in New York City's Subway Stations. *Environmental Science and Technology*, 2014, 48, 14738–14745. DOI:10.1021/es504295h.
2. Jyrki Viidanojaa, Markus Sillanpa, Jaakko Laakiaa, Veli-Matti Kerminena, Risto Hillamo, Paivi Aarnio, Tarja Koskentalo. Organic and black carbon in PM_{2.5} and PM₁₀: 1 year of data from an urban site in Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment* 36, 2002, 3183–3193.
3. Park SS, Lee KH. Characterization and sources of black carbon in PM(2.5) at a site close to a roadway in Gwangju, Korea, during winter. *Environ Sci Process Impacts*. 2015,17(10):1794-805. Doi: 10.1039/c5em00225g.
4. Santoso M, Lestiani DD, Hopke PK. Atmospheric black carbon in PM_{2.5} in Indonesian cities. *J Air Waste Manag Assoc*. 2013 Sep;63(9):1022-5. PMID: 24151677.
5. M. Dall'Osto, D.C.S. Beddows, J. Pey, S. Rodriguez, A. Alastuey, Roy M. Harrison and X. Querol. Urban aerosol size distributions over the Mediterranean city of Barcelona, NE Spain. *Atmospheric Chemistry Physics*, 12, 10693–10707, 2012. DOI:10.5194/acp-12-10693-2012
6. Noemi Perez, Jorge Pey, Michael Cusack, Cristina Reche, Xavier Querol, Andres Alastuey, and Mar Viana. Variability of Particle Number, Black Carbon, and PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ Levels and Speciation: Influence of Road Traffic Emissions on Urban Air Quality. *Aerosol Science and Technology*, 44:487–499, 2010. DOI: 10.1080/02786821003758286
7. Jeffrey R. Brook, Tom F. Dann, Richard T. Burnett. The Relationship Among TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, and Inorganic Constituents of Atmospheric Particulate Matter at Multiple Canadian Locations, *Journal of the Air and Waste Management Association*, 1997, 47:1, 2-19, DOI: 10.1080/10473289.1997.10464407.

8. S. C. Lee , Y. Cheng , K. F. Ho , J. J. Cao , P. K.-K. Louie , J. C. Chow, J. G. Watson. PM1.0 and PM2.5 Characteristics in the Roadside Environment of Hong Kong, *Aerosol Science and Technology*, 2006, 40:3, 157-165, DOI: 10.1080/02786820500494544
9. Grahame TJ. Does improved exposure information for PM2.5 constituents explain differing results among epidemiological studies? *Inhal Toxicol*. 2009 Apr;21(5):381-93.
Doi: 10.1080/08958370802380495.
10. Masao Uchida, Hidetoshi Kumata, Yasuyo Koike, Mikio Tsuzuki, Tatsuya Uchida, Kitao Fujiwara, Yasuyuki Shibata. Radiocarbon-based source apportionment of black carbon (BC) in PM10 aerosols from residential area of suburban Tokyo. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. Volume 268, Issues 7–8, April 2010, Pages 1120-1124.
11. Tianran Zhang, Martin J. Wooster, David C. Green, Bruce Main. New field-based agricultural biomass burning trace gas, PM2.5, and black carbon emission ratios and factors measured in situ at crop residue fires in Eastern China. *Atmospheric Environment*, Volume 121, November 2015, Pages 22-34.
12. Barbara J. Turpin and Ho-Jin Lim. Species Contributions to PM2.5 Mass Concentrations: Revisiting Common Assumptions for Estimating Organic Mass. *Aerosol Science and Technology*, 2001, 35:1, 602-610.
Doi: 10.1080/02786820119445.
13. Maria Teresa Limon-Sanchez, Patricia Carbajal-Romero, Leonel Hernandez-Mena, Hugo Saldarriaga-Norena, Alberto Lopez-Lopez, Ricardo Cosio-Ramirez, Jose Luis Arriaga-Colina, Winston Smith. Black carbon in PM2.5, data from two urban sites in Guadalajara, Mexico during 2008. *Atmospheric Pollution Research* 2, 2011, 358-365. Doi: 10.5094/APR.2011.040.
14. Qing Li, Xinghua Li, Jingkun Jiang, Lei Duan, Su Ge, Qi Zhang, Jianguo Deng, Shuxiao Wang, Jiming Hao. Semi-coke briquettes: towards reducing emissions of primary PM2.5, particulate carbon, and carbon monoxide from household coal combustion in China. *Scientific Reports*, 2016, 6:19306, 308.

- 15.Александр Титов. Aerostate: качество воздуха как новая погода. 2016. [Электронный ресурс]. URL:<http://climaterussia.ru/chistye-tehnologii/aerostate-kachestvo-vozduha-kak-novaya-pogoda> (Дата обращения: 10.10.2018)
- 16.Дмитрий Титов. Smart Cities предлагают включить в стратегии развития территорий. Экономика и жизнь №25 (9741) 2018.
- 17.Чистый форум 2018. Альберта Капитал Воздух. [Электронный ресурс]. URL: <https://capitalairshed.ca>. (Дата обращения:23.11.2018)
- 18.Город Святого Альберта. Св. Альберт устанавливает станцию контроля качества воздуха. Умный Город Альянс. 2015. [Электронный ресурс]. URL:<https://smartcityalliance.ca/news/alberta-now-home-to-world-class-rfid-tag-testing-lab/> (Дата обращения:23.11.2018)
- 19.Наиль Байназаров. 5 самых «умных» городов мира. Rusbase, 2016.
- 20.Альберто Биелса. Проект «Умный город» в Саламанке для мониторинга качества воздуха и городского движения. Libelium World, 2011.
- 21.Решения для мониторинга окружающей среды. Датчик Polludrone Smart. [Электронный ресурс]. (Дата обращения:27.02.2019)
URL:<http://www.techregis.com/environmental-monitoring/>
- 22.Смарт-чувство. Умный город. Мониторинг качества наружного воздуха. [Электронный ресурс]. (Дата обращения: 23.02.2019)
URL:http://www.smart-sense.hr/smart-city#first_page
- 23.Роботы разумные. Умный город - концепции, технологии, перспективы развития. [Электронный ресурс]. URL:<https://robo-sapiens.ru/stati/umnyi-gorod/> (Дата обращения: 23.02.2019)
- 24.Компания Vaisala - современные датчики качества воздуха для интеллектуальной городской сети ICE Gateway в Праге. [Электронный ресурс].
URL:<https://www.vaisala.com/en/press-releases/2018-06/vaisala-provides-real-time-air-quality-data-part-pragues-smart-city-approach>. (Дата обращения:27.02.2019)

- 25.Бельгийская компания Qweriu. Сеть сенсоров iNose. [Электронный ресурс]. URL:<https://www.inose.eu/> (Дата обращения:27.02.2019)
- 26.Алексей Пятницких. Технологии IoT на службе умного города. Обзор/Технологии, СТА 4/2015, 6-11.
- 27.В Южной Корее строят Умный город. [Электронный ресурс]. URL: <https://econet.ru/articles/125848-v-yuzhnoy-koree-stroyat-umnyy-gorod> (Дата обращения:23.02.2019)
- 28.Игорь Гиркин. Концепция умных городов и ее реализация. Опыт компании Cisco. Cisco Public, 2015. 1-25.
- 29.Михаил Найденов. В Подмосковье внедрят “умный город” по аналогии с Сеулом. Ради дома Про, 2017.
- 30.<https://robo-hunter.com/news/5-samih-umnih-gorodov-mira-i-smart-tehnologii-kotorie-oni-ispolzuyt11521>
- 31.Константин Болотов. Колесо-Копенгаген сделает гибридом любой велосипед. Membrana. Люди. Идеи. Технологии, 2009.
- 32.Said Munir, Martin Mayfield. Monitoring Air Quality in Sheffield. Urban Flows Observatory, 2018.
- 33.Xiuwen Yi, Junbo Zhang, Zhaoyuan Wang, Tianrui Li, Yu Zheng. Deep Distributed Fusion Network for Air Quality Prediction. KDD'18, August 19–23, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1145/3219819.3219822>
- 34.World Health Organization Regional Office for Europe Copenhagen. Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition, 2002. WHO Regional Publications, European Series, No. 91 Second Edition.
- 35.Сейед Пурья Миралавы, Реза Эбрахими Атани, Навид Хошруз. Подход на основе беспроводной сенсорной сети для мониторинга и контроля загрязнения воздуха в крупных городских районах. [Электронный ресурс]. (Дата обращения:11.03.2019)
URL:<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1902/1902.10038.pdf>