



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

Кафедра экспериментальной физики атмосферы

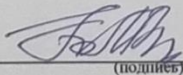
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Исследование динамики временных рядов концентраций
загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга по данным
автоматических станций мониторинга»

Исполнитель Корневич Егор Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Крюкова Светлана Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой


(подпись)

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

Восканян Карина Левановна

«28» июня 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

Содержание

Введение.....	3
1 Атмосфера и ее загрязнение.....	5
1.1 Физико-химические свойства атмосферы	5
1.2 Загрязнение атмосферы	6
1.3 Классификация и виды загрязняющих веществ атмосферы	7
1.4 Нормы загрязнения атмосферного воздуха.....	8
1.5 Воздействие метеорологических параметров на распределение концентрации загрязняющих веществ в атмосфере	11
1.6 Основные проблемы экологии на данный момент	12
2 Мониторинг экологической обстановки.....	15
2.1 Сущность и задачи мониторинга окружающей среды.....	15
2.2 Классификация экологического мониторинга.....	16
2.3 Контроль за экологическим мониторингом	17
2.5 Сбор и обработка данных автоматических станций мониторинга	19
2.6 Оценка качества данных и их предварительная обработка.....	20
2.7 Статистический анализ временных рядов концентраций загрязняющих веществ.....	22
3 Мониторинг окружающей среды Санкт-Петербурга	24
3.1 Общие сведения о Санкт-Петербурге	24
3.2 Автоматические станции мониторинга Санкт-Петербурга.....	25
4 Исследование концентраций загрязняющих веществ	33
4.1 Особенности исследуемых районов Санкт-Петербурга	33
4.2 Анализ временных рядов концентраций загрязняющих веществ за зимний и летний период.....	35
4.3 Метеорологические факторы и их влияние на концентрации загрязняющих веществ	45
5 Рекомендации по улучшению качества атмосферного воздуха в Санкт- Петербурге	50
Заключение	52
Список использованных источников	54

Введение

В настоящее время проблема загрязнения атмосферы является одной из наиболее актуальных и значимых вопросов, которые требуют немедленного внимания и решения. Загрязнение атмосферы негативно влияет на здоровье людей, окружающую среду и климатические процессы. Поэтому изучение динамики временных рядов концентраций загрязняющих веществ в атмосфере является важным исследованием, которое позволит оценить текущую ситуацию и разработать рекомендации по улучшению качества атмосферного воздуха.

Целью данной работы является исследование динамики временных рядов концентраций загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга по данным автоматических станций мониторинга. Для достижения этой цели необходимо выполнить следующие *задачи*:

- провести анализ содержания загрязняющих веществ за зимний и летний периоды 2022-2023 г. в г. Санкт-Петербурге;
- изучить динамику временных рядов концентраций загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга;
- проанализировать влияние метеорологических условий на концентрацию загрязняющих веществ;
- оценить влияние загрязняющих веществ на качество атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге.
- предложить рекомендации по улучшению качества атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге.

Исследование динамики временных рядов концентраций загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга по данным автоматических станций мониторинга является крайне актуальным в настоящее время. Санкт-Петербург – один из крупнейших городов России, с высокой плотностью населения и развитой промышленностью, что приводит к значительному выбросу загрязняющих веществ в атмосферу. Изучение динамики

концентраций этих веществ позволяет оценить уровень загрязнения, выявить потенциальные источники выбросов и разработать меры по его снижению. Также, данное исследование имеет важное значение для оценки воздействия загрязнений на здоровье населения и окружающую среду, что позволяет принять необходимые меры для защиты и улучшения качества жизни горожан.

Объектом исследования в работе «Исследование динамики временных рядов концентраций загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга по данным автоматических станций мониторинга» является атмосфера города Санкт-Петербурга, а *предметом исследования* являются данные, полученные с автоматических станций мониторинга № 9 и № 11 по загрязнению воздуха за зимний и летний период (декабрь 2022г., январь, февраль, июнь, июль, август 2023 г.).

В работе проводится анализ динамики изменения концентраций загрязняющих веществ в атмосфере города в различные периоды времени с целью определения трендов и сезонных колебаний. Результаты исследования позволят оценить уровень загрязнения атмосферы города, выявить факторы, влияющие на концентрации веществ, и разработать рекомендации по снижению загрязнения.

Структура выпускной работы включает введение, пять глав с подразделами, заключение и список использованных источников.

В первой главе рассматривается атмосфера Земли и ее основные загрязняющие вещества. Во второй главе представлен обзор экологического мониторинга окружающей среды. Третья глава посвящена мониторингу окружающей среды в Санкт-Петербурге. Четвертая глава содержит анализ концентраций загрязняющих веществ в Санкт-Петербурге. Пятая глава посвящена предложениям по улучшению окружающей среды в Санкт-Петербурге. В заключение работы будет сделан общий анализ показателей концентраций загрязняющих веществ на основе мониторинга станций № 9 и № 11.

1 Атмосфера и ее загрязнение

1.1 Физико-химические свойства атмосферы

Атмосфера Земли — это газовая оболочка, которая окружает нашу планету и обеспечивает условия для жизни. Она состоит из нескольких слоёв, каждый из которых имеет свои особенности.

Атмосфера Земли состоит из нескольких газов. Основные из них:

- азот (78%);
- кислород (21%);
- аргон (0,93%);
- углекислый газ (0,03–0,04%).

Также в атмосфере присутствуют водяной пар, озон, метан, оксиды азота и другие газы.

К основным физическим свойствам атмосферы относятся:

- плотность;
- давление;
- температура;
- влажность.

Плотность атмосферы уменьшается с высотой. На уровне моря она составляет около 1,2 кг/м³. Давление атмосферы также уменьшается с высотой. На уровне моря оно составляет примерно 101,3 кПа. Температура атмосферы также меняется с высотой. В тропосфере она понижается, а в стратосфере повышается. Влажность атмосферы зависит от содержания водяного пара [1].

Атмосфера Земли играет важную роль в химических процессах, происходящих на планете. Она защищает живые организмы от вредного ультрафиолетового излучения Солнца. Озон, который находится в стратосфере, поглощает большую часть этого излучения.

Также атмосфера участвует в круговороте воды и углерода. Водяной пар, который содержится в атмосфере, конденсируется и выпадает в виде осадков. Углекислый газ, который также присутствует в атмосфере, используется растениями для фотосинтеза.

Атмосфера имеет важное значение для жизни на планете. Без нее жизнь на Земле была бы невозможна.

1.2 Загрязнение атмосферы

Загрязнение воздуха на Земле происходит, когда в атмосферу попадают вредные или чрезмерные количества веществ, включая газы, частицы и биологические молекулы.

Это может вызвать болезнь, аллергию и даже смерть, а также нанести вред другим организмам и экосистемам.

Загрязнение воздуха может быть вызвано как деятельностью человека, так и природными процессами.

Основными источниками загрязнения являются транспортные, промышленные и бытовые отходы. Среди основных загрязнителей выделяют:

- диоксид углерода;
- оксиды азота;
- диоксид серы;
- углеводороды;
- тяжелые металлы;
- радиоактивные изотопы [2].

Загрязнение воздуха является одной из главных экологических проблем современности, приводя к преждевременной смерти миллионов людей ежегодно.

Основные источники загрязнения атмосферы могут быть:

— естественные. К естественным относятся пыльные бури, вулканы, лесные пожары, выветривание земных пород и разложение земных организмов;

— антропогенные. Антропогенные источники включают промышленные предприятия, транспорт, теплоэнергетику, отопление жилищ и сельское хозяйство. Среди наиболее активных загрязнителей выделяются соединения серы, азота, фосфора, галогенов, фенолов и формальдегид.

1.3 Классификация и виды загрязняющих веществ атмосферы

Рассмотрим виды загрязняющих веществ, они включают в себя:

— Тропосферный озон. Он образуется в результате химических реакций между оксидами азота и летучими органическими соединениями под воздействием солнечного света.

— Твердые частицы. Они включают в себя пыль, пепел и дым, образующиеся при сжигании ископаемого топлива и могут способствовать образованию смога.

— Оксид углерода (CO). Это газ без цвета и запаха, образующийся при неполном сгорании топлива.

— Диоксид серы (SO₂). Он образуется при сжигании топлива, содержащего серу, и способствует выпадению кислотных дождей.

— Диоксид азота (NO₂). Он образуется при высоких температурах, способствует образованию фотохимического смога [3].

Эти вещества могут быть вредны для здоровья человека и окружающей среды, вызывая респираторные и сердечно-сосудистые заболевания и даже рак.

Классификация загрязнений атмосферы включает несколько аспектов:

1. По происхождению:

— р Природные – вулканические извержения, лесные пожары, пыльца растений.

— Антропогенные – выбросы от транспорта, промышленные отходы, бытовые отходы.

2. По масштабам распространения:

— Местное – высокое содержание загрязнителей на ограниченной территории.

— Региональное – охватывает большие пространства, может влиять на соседние регионы.

— Глобальное – изменения состава атмосферы, влияющие на климат и здоровье населения всей планеты.

3. По агрегатному состоянию:

— Газообразные – оксид серы, диоксид углерода.

— Твердые – свинец, канцерогены.

— Жидкие – кислоты, щелочи.

4. По характеру загрязнения:

— Физические – шумовые, электромагнитные, тепловые колебания.

— Химические – выбросы газов, использование аэрозолей.

— Биологические – микробные загрязнения, вирусы [4].

Эти классификации помогают лучше понять природу и последствия атмосферных загрязнений, а также разработать эффективные меры по их предотвращению и контролю.

1.4 Нормы загрязнения атмосферного воздуха

Во избежание вредного воздействия на здоровье человека и окружающую среду установлены нормативы допустимого воздействия на атмосферный воздух.

Эти стандарты определяют максимальные концентрации загрязняющих веществ, которые могут присутствовать в атмосфере без ущерба для здоровья человека и экосистем.

Существует несколько видов нормативов загрязнения атмосферного воздуха:

- предельно допустимые выбросы (ПДВ) — это максимальные объёмы загрязняющих веществ, которые могут быть выброшены в атмосферу стационарными источниками (например, промышленными предприятиями) в течение определённого периода времени. ПДВ рассчитываются на основе нормативов качества атмосферного воздуха и фоновое уровня загрязнения;

- предельно допустимые нормы физического воздействия на атмосферный воздух – это ограничения по уровню шума, вибрации, электромагнитного излучения и других физических факторов, которые могут оказать негативное воздействие на окружающую среду;

- предельно допустимая концентрация (ПДК) определяет предельно допустимое содержание вредных веществ в атмосферном воздухе, при котором не возникает вредного воздействия на здоровье человека и окружающую среду;

- нормативы технологических выбросов – требования к технологическим процессам и оборудованию, обеспечивающие минимизацию выбросов загрязняющих веществ;

- технические нормы выбросов – требования к конструкции и эксплуатации транспортных средств, направленные на снижение выбросов токсичных веществ.

В России контроль за соблюдением норм загрязнения воздуха осуществляет Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и здоровья человека (Роспотребнадзор) в рамках общества санитарного надзора и эпидемиологии федерального государства [5].

В случае превышения установленных норм, представленные в таблице 1.1., компании должны принять меры по сокращению выбросов загрязняющих веществ.

Соблюдение нормативов загрязнения атмосферного воздуха является важной задачей для обеспечения экологической безопасности и сохранения здоровья населения. Это требует комплексного подхода, включающего внедрение современных технологий, повышение экологической ответственности предприятий и активное участие общественности в контроле за состоянием окружающей среды.

Таблица 1.1 – Допустимые нормы концентрации вредных веществ в воздухе

Загрязняющие вещества	Формула	Предельно допустимая концентрация, мг/м ³		Класс опасности
		Мах разовая	<u>Средне-суточная</u>	
Углекислый газ	CO ₂	3	1	4
Диоксид азота	NO ₂	0,085	0,085	2
Пыль нетоксичная	-	0,5	0,15	3
Сернистый газ	SO ₂	0,5	0,05	3
Сероводород	H ₂ S	0,008	0,008	2
Сажа	C	0,15	0,05	3
Соединения свинца	-	-	0,0007	1
Хлор	Cl ₂	0,1	0,03	2

Нормы ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны определяют четыре класса опасности:

- 1-й класс – вещества чрезвычайно опасные, ПДК меньше 0,1 мг/м³ (например, свинец, ртуть, озон).
- 2-й класс – вещества высокоопасные, ПДК 0,1-1,0 мг/м³ (кислоты серная и соляная, хлор, фенол, едкие щелочи).

— 3-й класс – вещества умеренно опасные, ПДК 1,1-10,0 мг/м³ (винилацетат, толуол, ксилол, спирт метиловый).

— 4-й класс – вещества малоопасные, ПДК больше 10,0 мг/м³ (аммиак, бензин, ацетон, керосин) [6].

Эти классы помогают классифицировать вредные вещества по степени их опасности для здоровья человека и окружающей среды, а также определяют меры безопасности и контроля за их использованием и выбросами.

1.5 Воздействие метеорологических параметров на распределение концентрации загрязняющих веществ в атмосфере

Метеорологические параметры, такие как скорость и направление ветра, температура воздуха, влажность, атмосферное давление и осадки, оказывают существенное влияние на распределение концентраций загрязняющих веществ в атмосфере.

Ветер играет важную роль в переносе загрязняющих веществ от источников выбросов на значительные расстояния, что может привести к их накоплению в других районах [7].

Например, если ветер дует в сторону жилого района, концентрация загрязняющих веществ может значительно увеличиться.

Температура воздуха также оказывает влияние на распределение загрязняющих веществ. При повышении температуры увеличивается интенсивность конвекции, что способствует вертикальному перемешиванию воздушных масс и рассеиванию примесей. Однако при наличии инверсии температуры, когда верхние слои воздуха теплее нижних, загрязняющие вещества могут накапливаться у поверхности земли, что приводит к увеличению их концентрации в приземном слое.

Осадки, такие как дождь и снег, помогают очистить загрязненный воздух, поскольку они удаляют из него примеси, а туман, наоборот, может увеличить накопление загрязняющих веществ, поскольку капли воды в тумане

действуют как центры конденсации загрязняющих веществ, увеличивая их концентрацию в воздухе.

Атмосферное давление влияет на распределение загрязняющих веществ через изменение плотности воздуха. При высоком давлении плотность воздуха увеличивается, что может способствовать накоплению примесей у поверхности земли [8].

Понимание взаимосвязи метеорологических параметров, позволит эффективнее управлять качеством воздуха, а именно разрабатывать планы по снижению уровня загрязнения.

1.6 Основные проблемы экологии на данный момент

В настоящее время в современном мире все чаще обсуждаются экологические проблемы планеты.

Люди и природа тесно взаимосвязаны, и каждый должен быть осторожен, чтобы избежать катастроф.

В настоящее время в мире существуют следующие экологические проблемы:

— Кислотные дожди – это осадки с низким pH, содержащие серную и азотную кислоты, возникающие в результате сжигания угля и нефтепродуктов (рис.1.1).

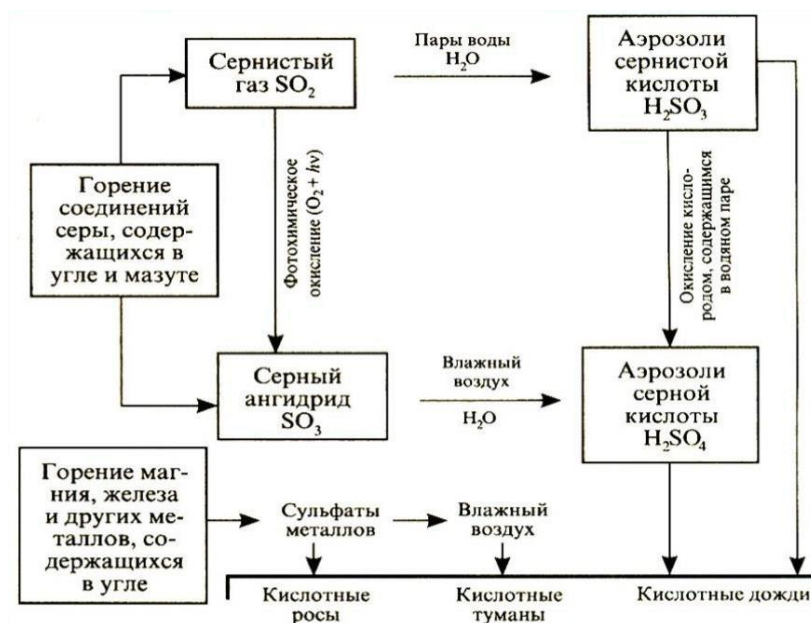


Рисунок 1.1. Схема образования кислотных дождей

— Смог — это загрязненный воздух, содержащий высокие концентрации токсичных газов и пыли, особенно в городских районах, где преобладают автодороги (магистраль), автотранспорт и промышленные предприятия (рис.1.2).

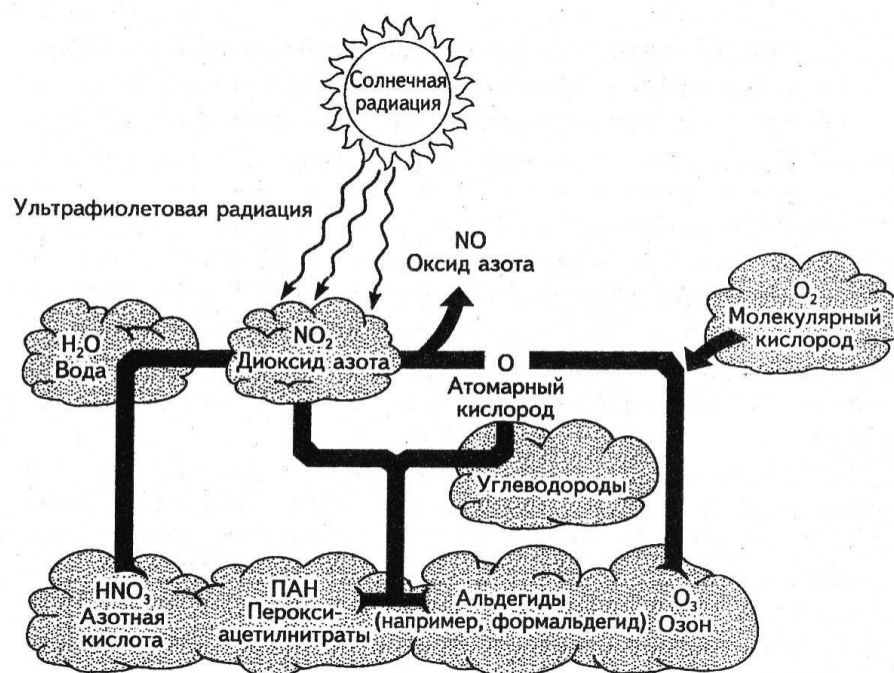


Рисунок 1.2. Схема образования смога

— Неприятные запахи, раздражающие обонятельные рецепторы, вызванные присутствием в воздухе загрязнителей,.

— «Озоновые дыры» – это когда содержания озона на высоте 15-20 км уменьшается, что приводит к увеличению ультрафиолетового излучения, достигающего поверхности Земли (рис. 1.3).

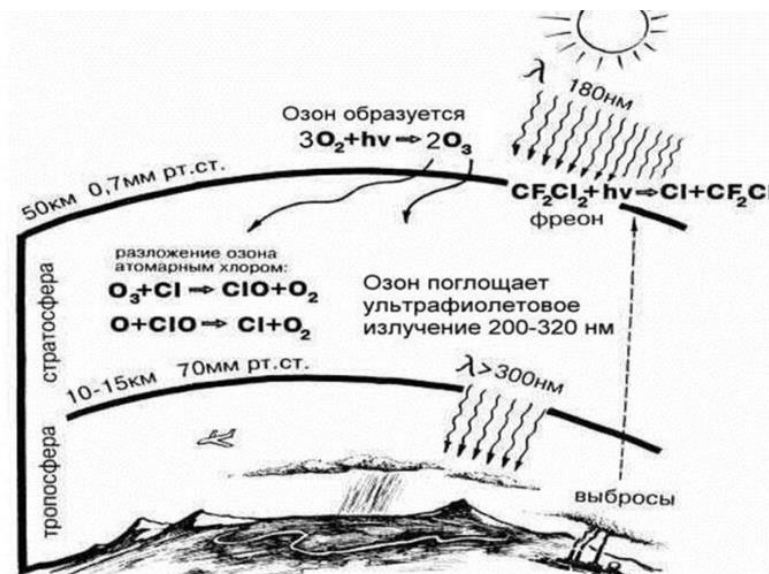


Рисунок 1.3. Схема образования и разрушения озона («озоновые дыры»)

— Парниковый эффект – повышение температуры планеты из-за увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере, что ведет к изменению климата (рис. 1.4) [9].

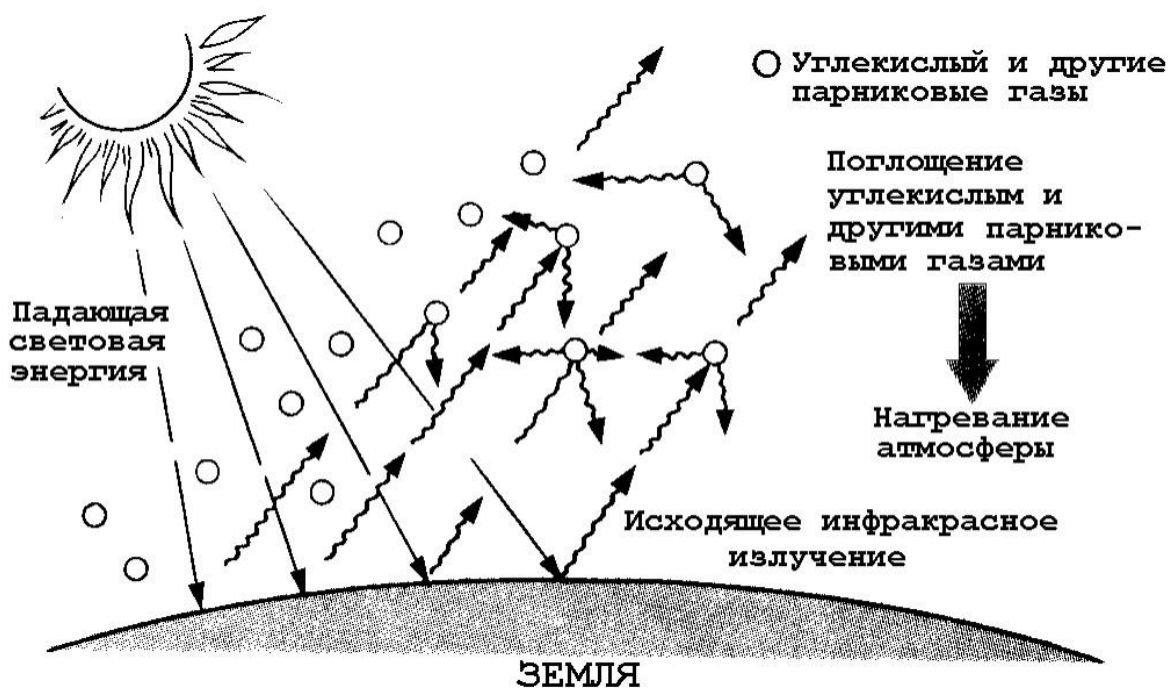


Рисунок 1.4. Схема образования парникового эффекта

Эти проблемы оказывают серьезное воздействие на здоровье человека, окружающую среду и климат планеты.

2 Мониторинг экологической обстановки

2.1 Сущность и задачи мониторинга окружающей среды

Мониторинг окружающей среды – это система наблюдений, оценки и прогнозирования изменений в окружающей среде при воздействии природных и антропогенных факторов. Его основная задача – обеспечение актуальной информацией об изменениях в экосистеме, наблюдение за химическими, биологическими и физическими процессами, а также за антропогенным загрязнением атмосферы, гидросферы и грунтов.

Основные цели экологического мониторинга включают улучшение взаимодействия человека и природы, оптимизацию хозяйственной деятельности для минимизации ущерба природе. Для этого решаются задачи планирования и осуществления наблюдений, выявления источников негативного воздействия на природу, анализа состояния природных ресурсов и построения тенденций изменения состояния окружающей среды.

Экологический мониторинг проводится на разных уровнях: глобальном, национальном, региональном и местном. Он использует разнообразные методы, включая математические, моделирование, геохимические, геофизические, биогеографические, экономические, социологические, а также специальные прикладные методы [10].

Результаты экологического мониторинга предоставляют информацию, которая помогает не только отслеживать текущее состояние окружающей среды, но и анализировать динамику изменений. Это крайне важно для принятия обоснованных решений по охране природы и эффективному использованию природных ресурсов. Блок-схема экологического мониторинга представлена на рисунке 2.1.

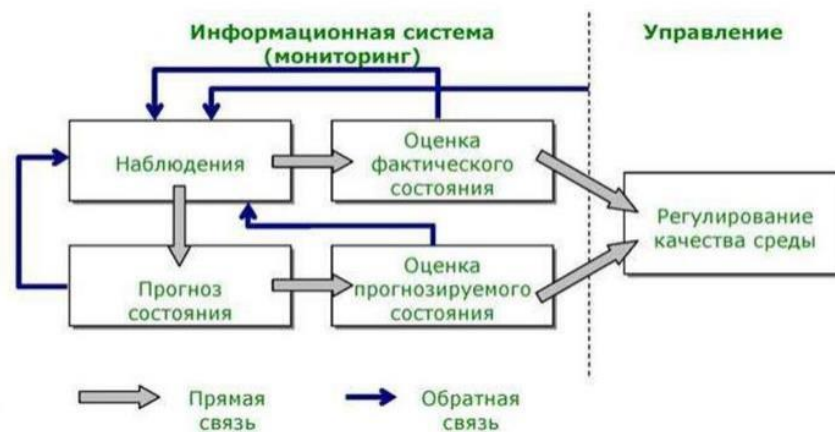


Рисунок 2.1. Блок-схема экологического мониторинга

2.2 Классификация экологического мониторинга

Экологический мониторинг классифицируется по нескольким основным критериям:

1. По масштабу:
 - Глобальный мониторинг охватывает всю биосферу Земли.
 - Национальный мониторинг проводится в пределах одной страны.
 - Региональный мониторинг сосредоточен на одном регионе.
 - Локальный мониторинг направлен на конкретный объект или территорию.
2. По уровню воздействия:
 - Фоновый мониторинг изучает общебиосферные изменения, включая состояние озонового слоя.
 - Импактный мониторинг фокусируется на конкретных локальных воздействиях.
3. По объекту мониторинга:
 - Атмосферный мониторинг отслеживает загрязнение воздуха.
 - Гидросферный мониторинг касается загрязнения водных объектов.

- Литосферный мониторинг оценивает состояние земной коры и верхней части мантии.
- Педосферный мониторинг изучает состояние почвы.
- Мониторинг животного мира направлен на оценку состояния среды обитания животных.
- Мониторинг опасных отходов связан с наблюдением за производством и потреблением опасных отходов.
- Радиационный мониторинг отслеживает уровень радиации.
- Социально-гигиенический мониторинг оценивает состояние здоровья населения в изменяющихся условиях жизни [11].

Каждый из этих видов мониторинга имеет свои специфические задачи и методы проведения, что позволяет более точно и эффективно оценивать состояние окружающей среды и принимать меры по её защите и восстановлению.

2.3 Контроль за экологическим мониторингом

Контроль за экологическим мониторингом в России осуществляют различные государственные структуры, такие как Минприроды, Минсельхоз, Росгидромет, Государственная санитарно-эпидемиологическая служба и другие. Они отвечают за проведение наблюдений, анализ полученных данных и прогнозирование возможных изменений в окружающей среде.

Государственный экологический мониторинг включает в себя следующие компоненты:

- наблюдение за состоянием окружающей среды;
- анализ происходящих процессов и явлений;
- прогнозирование возможных будущих изменений.

Основная цель этого мониторинга – своевременная оценка негативных изменений в природе, атмосфере и акватории, а также принятие мер по их предотвращению или минимизации.

Результаты экологического мониторинга включаются в отчеты по улучшению экологической ситуации. Эти отчеты используются для планирования и проведения мероприятий по охране природы, направленных на уменьшение негативного воздействия на окружающую среду.

В соответствии с ГОСТ 17.2.3.01 86 Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов, проводится организация наблюдений за уровнем загрязнения воздуха в городах и населенных пунктах. Наблюдения производятся на посту, который представляет собой заранее выбранное для этой цели место (точку местности), на нем размещается павильон или автомобиль, оборудованный соответствующими приборами. Посты наблюдений устанавливаются трех категорий: стационарные, маршрутные и передвижные (подфакельные).

Стационарный пост наблюдения – это специальный павильон, оснащенный специальным оборудованием для непрерывной регистрации содержания загрязняющих веществ и метеорологических параметров. Он устанавливается в местах, выбранных после обязательного предварительного исследования загрязнения воздушной среды. Обычно стационарные посты устанавливаются в местах постоянного пребывания людей, то есть в городах.

Маршрутный пост наблюдения предназначен для отбора проб в определенной точке местности, где нет необходимости проводить постоянный мониторинг или нет возможности установить стационарный пост. Наблюдения проводятся с помощью специализированной передвижной аппаратуры, порядок обхода выбранных маршрутных постов должен быть одинаковым, чтобы определение концентраций примесей проводилось в одинаковые сроки.

Для оценки влияния дымового (газового) факела на окружающую среду используется передвижной (подфакельный) пост наблюдения. Пробы берутся на разном расстоянии от источника. Полученные данные используются для составления информационных сводок, прогнозов и карт, которые передаются

в природоохранные службы и ведомства, а также распространяются средствами массовой информации среди населения.

2.5 Сбор и обработка данных автоматических станций мониторинга

В современном городе, где промышленность, автотранспорт и бытовая деятельность оказывают значительное воздействие на окружающую среду, мониторинг и анализ качества воздуха становятся неотъемлемой частью экологической политики и мероприятий по охране окружающей среды. Для сбора и обработки данных о концентрациях загрязняющих веществ в атмосфере используются автоматические станции мониторинга. Эти станции размещены в различных районах города и предназначены для постоянного измерения уровней загрязнения воздуха. Они оснащены специализированными приборами, такими как газоанализаторы, пылевые мониторы и метеорологические датчики, которые позволяют получать надежные и точные данные о составе атмосферного воздуха.

Сбор данных происходит автоматически с определенной периодичностью, что позволяет получить информацию о динамике временных рядов концентраций загрязняющих веществ. Эти данные затем передаются на центральный сервер, где происходит их обработка и анализ. Для обработки данных используются специализированные программные инструменты, которые позволяют проводить статистический анализ, визуализацию и моделирование временных рядов [12].

Одним из основных задач анализа данных является определение трендов и сезонных колебаний концентраций загрязняющих веществ. Тренды позволяют выявить общую динамику изменения загрязнения воздуха в течение длительного периода времени, в то время как сезонные колебания позволяют выявить периодические изменения, связанные с сезонными факторами, такими как погода, сезонность промышленной деятельности и транспортного потока.

Для анализа трендов и сезонных колебаний используются различные методы и модели, такие как метод скользящего среднего, экспоненциальное сглаживание, регрессионный анализ и спектральный анализ. Эти методы позволяют выявить основные закономерности и характеристики временных рядов концентраций загрязняющих веществ.

Кроме того, анализ позволяет выявить причины и источники загрязнения воздуха. Для этого проводится корреляционный анализ, который позволяет определить степень взаимосвязи между концентрацией загрязняющих веществ и различными факторами, такими как промышленность, автотранспорт, метеорологические условия и т.д. Это позволяет выявить основные источники загрязнения и разработать эффективные меры по его снижению.

Также анализ данных о концентрациях позволяет оценить качество воздуха и его соответствие нормативным требованиям. Для этого используются стандарты и нормативы, установленные законодательством. Анализ данных позволяет определить степень превышения или соблюдения этих нормативов и принять соответствующие меры для улучшения качества воздуха.

2.6 Оценка качества данных и их предварительная обработка

Для начала необходимо оценить качество данных, собранных автоматическими станциями мониторинга. Важно учитывать, что данные могут содержать ошибки, пропуски, выбросы и другие аномалии, которые могут исказить результаты анализа. Поэтому важно провести проверку на наличие таких аномалий и принять меры для их устранения.

Одним из первых шагов в оценке качества данных является анализ пропущенных значений. Пропуски могут возникать по различным причинам, например, из-за сбоев в работе оборудования или ошибок при передаче данных. Для определения количества пропущенных значений можно

использовать различные статистические методы, например, подсчет пропусков в каждом временном ряду или анализ временных интервалов между пропусками [13].

Также важно провести анализ выбросов, которые могут возникать из-за ошибок измерений или других аномалий. Для этого можно использовать статистические методы, например, подсчет среднего значения и стандартного отклонения в каждом временном ряду и определение границ выбросов на основе этих параметров.

После оценки качества данных необходимо провести их предварительную обработку. Одним из важных шагов является заполнение пропущенных значений. Для этого можно использовать различные методы, например, интерполяцию или заполнение средними значениями. Выбор метода зависит от характера данных и особенностей временных рядов.

Другим важным этапом предварительной обработки данных является сглаживание временных рядов. Сглаживание позволяет уменьшить шумы и аномалии в данных, что упрощает их анализ. Для сглаживания можно использовать различные методы, такие как скользящее среднее или экспоненциальное сглаживание.

Также важно провести нормализацию данных, чтобы привести их к одному масштабу. Нормализация позволяет сравнивать и анализировать данные, имеющие различные единицы измерения. Для нормализации можно использовать различные методы, например, минимаксное масштабирование или стандартизацию.

Важным этапом предварительной обработки данных является также удаление выбросов. Выбросы могут исказить результаты анализа и влиять на получаемые выводы. Для удаления выбросов можно использовать различные методы, например, методы, основанные на статистических критериях или методы, основанные на межквартильном размахе.

Кроме того, при предварительной обработке данных можно провести фильтрацию шумов. Шумы могут возникать из-за различных факторов, таких

как электромагнитные помехи или ошибки измерений. Для фильтрации шумов можно использовать различные методы, такие как фильтр Калмана или фильтр скользящего среднего.

Таким образом, анализ данных о концентрациях загрязняющих веществ в атмосфере требует оценки качества данных и их предварительной обработки. Оценка качества данных включает анализ пропущенных значений и выбросов, а предварительная обработка данных включает заполнение пропущенных значений, сглаживание временных рядов, нормализацию данных, удаление выбросов и фильтрацию шумов. Эти шаги помогают получить надежные и точные результаты анализа динамики временных рядов концентраций загрязняющих веществ в атмосфере.

2.7 Статистический анализ временных рядов концентраций загрязняющих веществ

Перед проведением анализа данных необходимо ознакомиться с самими данными и их структурой. Для этого мы получим доступ к базе данных автоматических станций мониторинга, где хранятся измерения концентраций загрязняющих веществ на протяжении определенного времени. Данные могут быть представлены в виде таблицы, где каждая строка соответствует определенному моменту времени, а каждый столбец - концентрации различных загрязняющих веществ [14].

После получения данных мы проведем их предварительную обработку. Это включает в себя удаление выбросов и пропущенных значений, а также преобразование данных в удобный для анализа формат. Затем мы приступим к анализу временных рядов концентраций загрязняющих веществ.

Одним из первых шагов анализа является визуализация данных. Мы построим графики, на которых будет отображена динамика концентраций загрязняющих веществ в атмосфере на протяжении ряда лет. Это позволит нам

увидеть общую тенденцию изменения концентраций и выявить возможные сезонные или годовые циклы.

Далее мы приступим к статистическому анализу временных рядов. Мы проведем различные статистические тесты, такие как тест на наличие тренда, тест на наличие сезонности и тест на стационарность. Эти тесты позволят нам определить, есть ли статистически значимые изменения во временных рядах и выявить их особенности.

Кроме того, мы проведем корреляционный анализ, чтобы выявить связи между различными загрязняющими веществами. Это позволит нам понять, какие вещества влияют друг на друга и какие факторы могут быть ответственны за изменение концентраций.

Также мы проведем анализ аномалий в данных. Это позволит нам выявить необычные события или выбросы, которые могут быть связаны с экологическими или техническими проблемами. Анализ аномалий поможет нам понять, какие факторы могут влиять на концентрации загрязняющих веществ и какие меры можно предпринять для их снижения.

3 Мониторинг окружающей среды Санкт-Петербурга

3.1 Общие сведения о Санкт-Петербурге

Санкт-Петербург – город федерального значения, административный центр Северо-Западного федерального округа.

Санкт-Петербург расположен у восточной оконечности Финского залива Балтийского моря. Географические координаты центра города – 59°57' северной широты и 30°19' восточной долготы. Санкт-Петербург, находящийся в центре пересечения морских, речных путей и наземных магистралей, является европейскими воротами России, ее стратегическим центром, наиболее приближенным к странам Европейского Сообщества. Внутренние воды занимают около 10% территории города. Санкт-Петербург – административный центр Северо-Западного федерального округа, который обладает значительным природно-ресурсным потенциалом, высокоразвитой промышленностью, густой транспортной сетью, и через морские порты Балтики и Северного Ледовитого океана обеспечивает связи Российской Федерации с внешним миром.

В соответствии с Законом Санкт-Петербурга от 25.07.2005 № 411-68 "О территориальном устройстве Санкт-Петербурга" административно-территориальными единицами Санкт-Петербурга являются 18 районов Санкт-Петербурга: Адмиралтейский, Василеостровский, Выборгский, Калининский, Кировский, Колпинский, Красногвардейский, Красносельский, Кронштадтский, Курортный, Московский, Невский, Петроградский, Петродворцовый, Приморский, Пушкинский, Фрунзенский, Центральный.

Внутригородскими муниципальными образованиями Санкт-Петербурга являются муниципальные округа, города и поселки (внутригородские территории города федерального значения Санкт-Петербурга).

По данным Комитета имущественных отношений Санкт-Петербурга, на 1 января 2023 года площадь города составляет 144 715,42 га. Согласно

оперативным данным Росстата, на 1 марта 2023 года численность населения Санкт-Петербурга составляет 5 600 044 человек. В 2021 году валовой региональный продукт (валовая добавленная стоимость в основных ценах) Санкт-Петербурга, по данным Петростата, составил 9 440 411,1 млрд. рублей[15].

Как самостоятельный субъект Российской Федерации, Санкт-Петербург осуществляет региональные и переданные федеральные полномочия, а также государственные функции в области природопользования, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности.

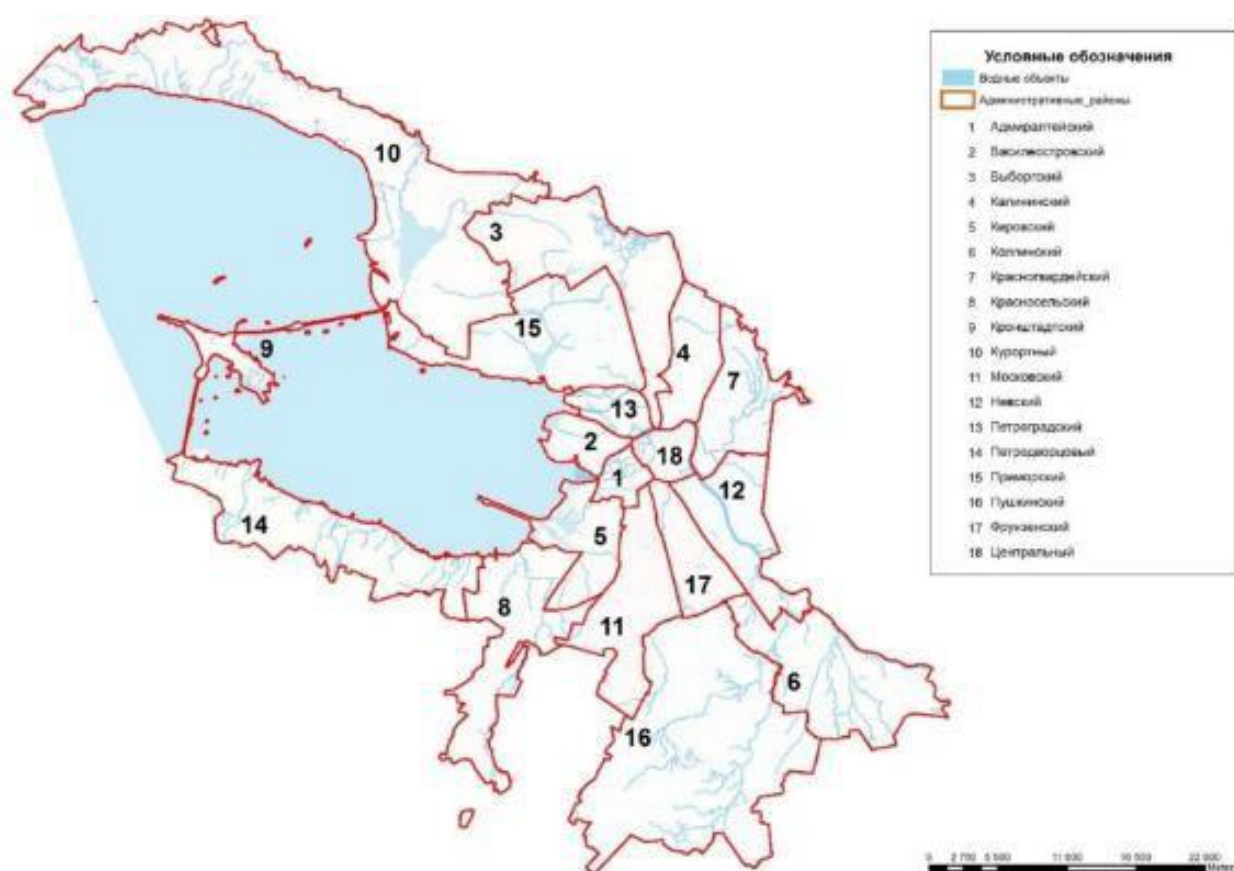


Рисунок 3.1. Схема территориального устройства Санкт-Петербурга

3.2 Автоматические станции мониторинга Санкт-Петербурга

Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности участвует в осуществлении государственного экологического мониторинга в соответствии с

законодательством Российской Федерации. Комитет имеет возможность формировать и поддерживать функционирование региональных систем контроля за состоянием окружающей среды, которые входят в состав единой системы государственного экологического мониторинга.

Комитет осуществляет мониторинг атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге с помощью автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха (АСМ-АВ). Эта система представляет собой комплекс технических и программных средств, организационных процедур и услуг, необходимых для проведения государственного экологического мониторинга атмосферного воздуха в городе.

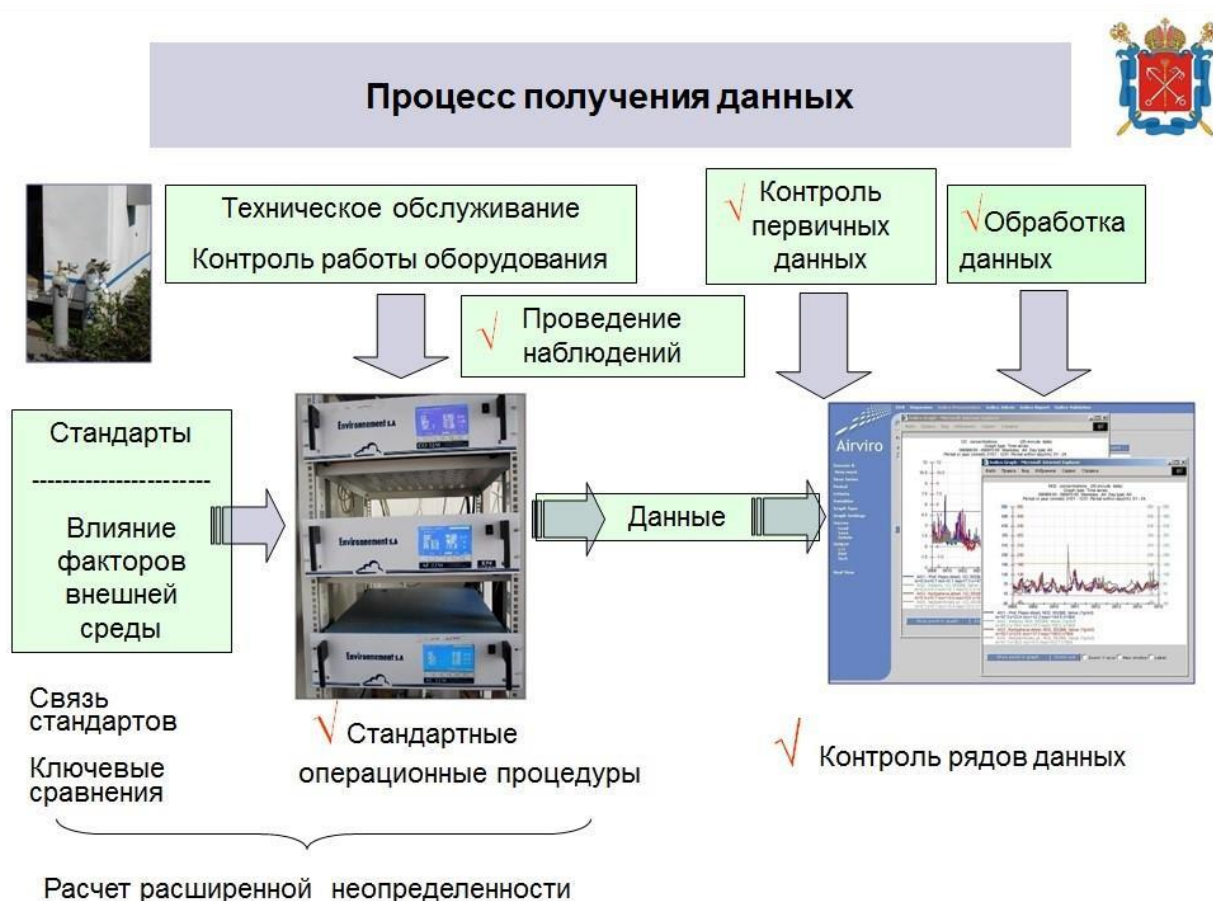


Рисунок 3.2. Схема организации сбора данных АСМ-АВ г. Санкт-Петербурга

Автоматизированная система мониторинга была разработана Администрацией Санкт-Петербурга на основе технического задания

"Автоматизированная система контроля и управления качеством атмосферного воздуха Санкт-Петербурга" 1996 года.

«Система УКВ», функционировавшая под этим названием до 2006 года, активно развивалась после 1996 года. Количество установленных станций увеличивалось, например, в 1999 году в системе было всего четыре станции, а в настоящее время в АСМ-АВ уже 25 автоматических станций, которые расположены во всех районах города. Покрытие территории Санкт-Петербурга АСМ-АВ составляет 100% [16].

При разработке системы мониторинга качества воздуха в Санкт-Петербурге основное внимание было уделено выбору технологий измерения приоритетных загрязняющих веществ с учетом их временного разрешения, соответствующего длительности их воздействия на здоровье. Измерения проводятся автоматически на станциях ежедневно, круглосуточно с интервалом в 20 минут, что обеспечивает получение оперативной информации о уровне загрязнения атмосферного воздуха города. Всего за год проводится 26 280 измерений для каждого загрязняющего вещества, что позволяет собирать и анализировать данные о составе воздуха и его загрязнении.

Структура АСМ-АВ состоит из двух уровней:

1. измерительной части;
2. информационно-технического сервиса.

Измерительная часть АСМ-АВ включает в себя:

- испытательную лабораторию, объединенную с центром сбора, хранения и обработки данных мониторинга и управлением работой станций;
- измерительную сеть: автоматические станции мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и интегрированные в составе станций автоматические посты контроля за радиационной обстановкой (АСКРО);
- автоматические устройства отбора проб;
- автоматические метеорологические станции;
- передвижные лаборатории мониторинга загрязнения атмосферного воздуха.

В настоящее время в состав АСМ-АВ входят испытательная лаборатория, 25 автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, три передвижные лаборатории мониторинга атмосферного воздуха, дежурная служба, передвижные метрологическая и технические лаборатории.

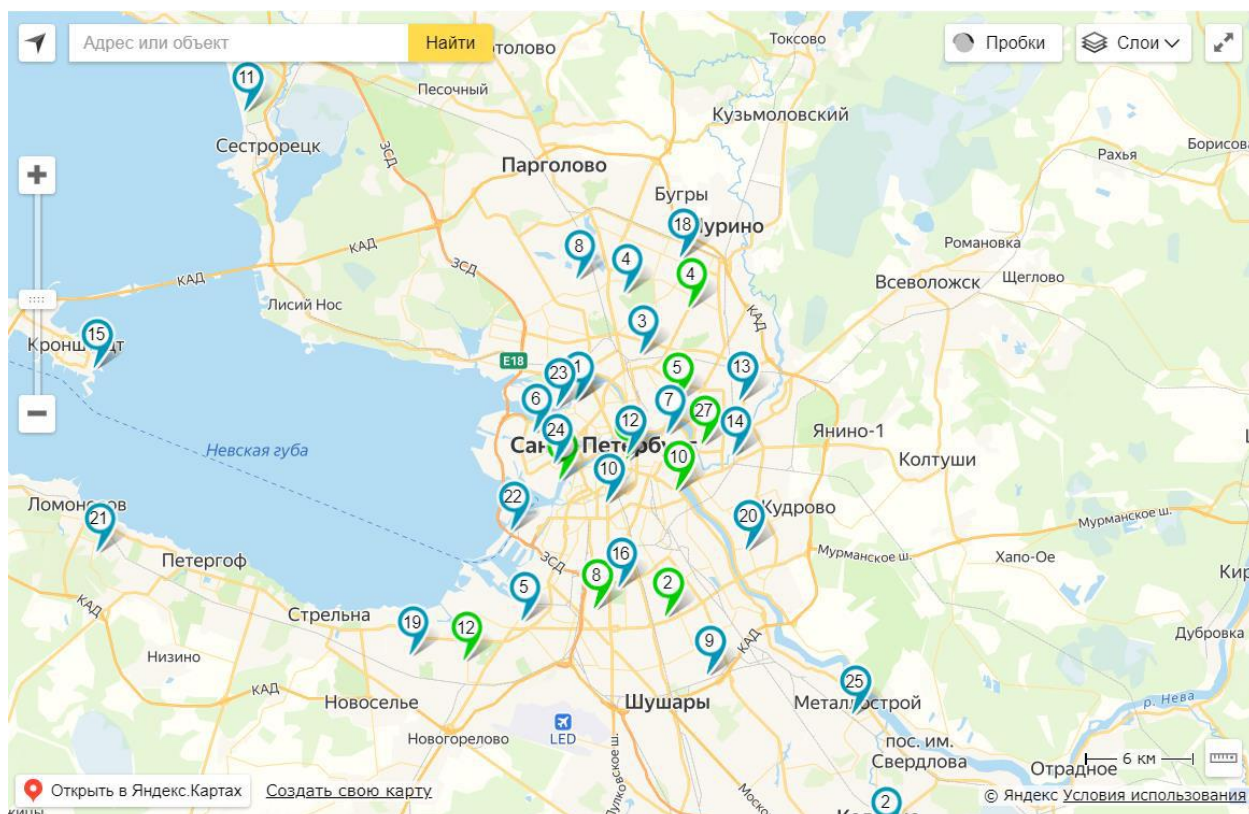


Рисунок 3.3. Схема расположения станций экологического мониторинга

 - автоматическая станция мониторинга загрязнения атмосферного воздуха Комитета

 - стационарный пост наблюдений за состоянием загрязнённости атмосферного воздуха (ПНЗ) ФГБУ «Северо-Западное УГМС»

Адреса расположения автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в г. Санкт-Петербург:

- № 1 – ул. Проф. Попова, д. 48;
- № 2 – г. Колпино, ул. Красная д. 1А;

- № 3 – ул. Карбышева, д. 7;
- № 4 – Малоохтинский пр., д. 98;
- № 5 – пр. Маршала Жукова, д. 30, корп. 3;
- № 6 – В.О. ул. Весельная, д. 6;
- № 7 – ул. Шпалерная, д. 56;
- № 8 – ул. Королева, д. 36, корп. 8;
- № 9 – Малая Балканская ул., д. 54;
- № 10 – Московский пр., д. 19;
- № 11 – г. Сестрорецк, ул. М. Горького, д. 2;
- № 12 – ул. Пестеля, д.1;
- № 13 – шоссе Революции, д. 84;
- № 14 – г. Зеленогорск, пляж «Золотой», д. 1;
- № 15 – г. Кронштадт, ул. Ильмянинова, д.4;
- № 16 – ул. Севастьянова, д. 11;
- № 17 – г. Пушкин, Тиньков пер., д. 4;
- № 18 – ул. Ольги Форш, д. 6;
- № 19 – пр. Маршала Жукова, д. 55;
- № 20 – ул. Тельмана, д. 24;
- № 21 – г. Ломоносов, ул. Федюнинского, д.3;
- № 22 – Канонерский остров, д.21, строение 1;
- № 23 – пр. Динамо, 44;
- № 24 – В.О., Средний пр., д.74;
- № 25 – пос. Металлострой, ул. Железнодорожная, д.13/1 [17].

В марте 2020 года была создана дежурная служба лаборатории экологического мониторинга СПб ГБУ «Минерал». Её задачей является проведение круглосуточных оперативных и маршрутных наблюдений для определения уровня загрязнения атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге. Для этого используются передвижные лаборатории мониторинга атмосферного воздуха.

Лаборатории проводят измерения концентрации 30 загрязняющих веществ (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Концентрации загрязняющих веществ, измеряемые лабораторией

Бензол	Бутиловый спирт (Бутан-1-ол)	Этилбензол	Пентан (Н-пентан)	Аммиак
Толуол (Метилбензол);	Изобутиловый Спирт (2-Метил- Пропан-1-Ол)	Метилен хлористый (Дихлорметан)	Формальдегид	Сероводород
1,3- Диметилбензол (М-ксилол)	Смесь ксилолов (М-, П-, О- ксилол)	Стирол	Оксид углерода	Озон
1,4- Диметилбензол (П-ксилол)	Окись этилена (Эпоксипропан)	Этанол (Этиловый спирт)	Оксид азота	PM ₁₀ (Частицы взвешенных веществ размером 10 мкм и менее)
1,2- Диметилбензол (О-ксилол)	Пропиловый спирт (Пропан-1-Ол)	Этиловый эфир	Диоксид азота	PM _{2,5} (Частицы взвешенных веществ размером 2,5 мкм и менее)
Ацетон (Пропан-2-он)	Фенол (Гидроксибензол)	Аллиловый спирт	Диоксид серы	Пыль общая

В 2022 году было выполнено 630 выездов для измерения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Из них 485 были оперативными, а 145 - маршрутными. Инженеры-операторы передвижной лаборатории провели 1695 часов (это эквивалентно 70 полным дням или почти 2,5 месяцам) на отбор проб.

Система экологического мониторинга в Санкт-Петербурге была создана на основе документов Росгидромета. Требования к размещению стационарных пунктов наблюдений были учтены в соответствии с нормативными документами, такими как ГОСТ 17.2.3.01-86, РД 52.04.186-89 и РД 52.04.107-86.

Пункты наблюдений были размещены после предварительного исследования загрязнения воздуха города различными источниками выбросов. Они расположены в различных зонах города, учитывая особенности

застройки, плотность населения, интенсивность движения транспорта и промышленное развитие.

Число и расположение пунктов наблюдения определены с учетом численности населения, площади населенного пункта, рельефа местности, уровня развития промышленности и транспортной инфраструктуры, а также распределения зон отдыха и курортных зон [19].

В настоящее время в соответствии с решениями Экологического совета при губернаторе Санкт-Петербурга планируется развитие комплексной территориальной системы мониторинга до 2030 года. К 2026 году предусмотрена полная модернизация системы, включающая замену всех станций мониторинга и увеличение их количества до 30.

В 2023 году в городе было приобретено девять новых станций мониторинга, спроектированных и изготовленных на основе предварительного детального исследования атмосферного воздуха во всех районах города. Целью исследования было определение перечня загрязняющих веществ, которые необходимо контролировать в Санкт-Петербурге.

Среди новых станций есть уникальная автоматическая демонстрационная станция мониторинга атмосферного воздуха с стенами из стекла. Жители Санкт-Петербурга смогут наблюдать за работой станции и в реальном времени видеть показатели качества атмосферного воздуха. Это способствует экологическому просвещению и формированию экологической культуры у подрастающего поколения, а также бережному отношению к природе.

Демонстрационная станция имеет особенность - подсветку стеклянных элементов в режиме светофора (зеленый - желтый - красный). Если анализируемый воздух соответствует гигиеническим нормативам, установленным в Российской Федерации, подсветка будет зеленой. Если концентрация хотя бы одного измеряемого вещества превысила установленные предельно допустимые концентрации (но менее чем в 2 раза) –

подсветка будет желтой. Если будет зафиксировано сильное загрязнение атмосферного воздуха (более чем в 2 раза), подсветка будет красной.

Новые станции мониторинга соответствуют требованиям Росстандарта. Они имеют свидетельство об утверждении типа средств измерений как для всей станции, так и для всех измерительных каналов. Кроме того, у них есть действующие свидетельства о поверке.

4 Исследование концентраций загрязняющих веществ

Для проведения исследования использовались данные двух станций мониторинга атмосферного воздуха - № 9 и № 11. Они расположены во Фрунзенском районе и в курортной зоне г. Сестрорецк. Исследование охватывало периоды декабря 2022 года, января и февраля 2023 года, а также летний период 2023 года. Данные о среднесуточных концентрациях загрязняющих веществ в долях ПДК_{СС} доступны на сайте экологического портала Санкт-Петербурга.

В выбранных данных содержатся среднесуточные концентрации оксида углерода (CO), диоксида азота (NO₂), озона (O₃), твердые примеси (PM₁₀) в долях ПДК_{СС}.

Метеорологические параметры, такие как скорость и направление ветра, а также относительная влажность воздуха, находятся в архиве погоды города Санкт-Петербург [20].

4.1 Особенности исследуемых районов Санкт-Петербурга

Для проведения исследования были выбраны две станции, которые находятся в разных частях города. Станция № 9 расположена на южной окраине города, а станция № 11 находится в курортной зоне г. Сестрорецк. Местоположение этих станций можно увидеть на рисунке 4.1 и рисунке 4.2.

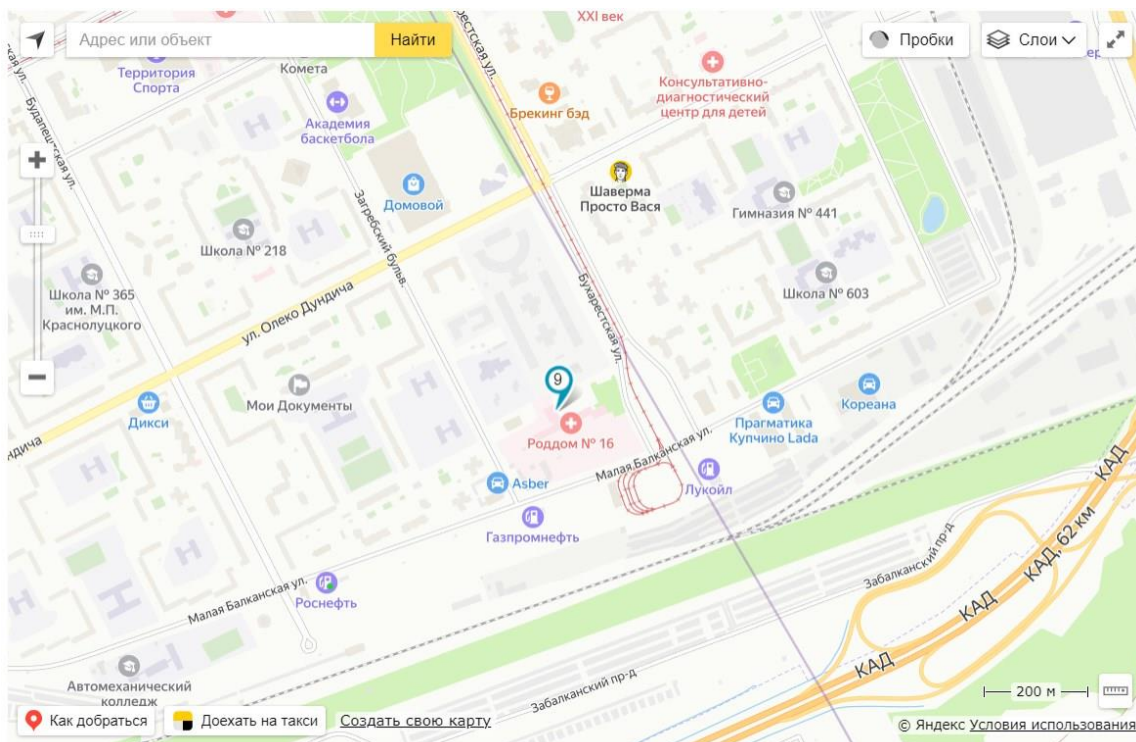


Рисунок 4.1. Расположение станции № 9

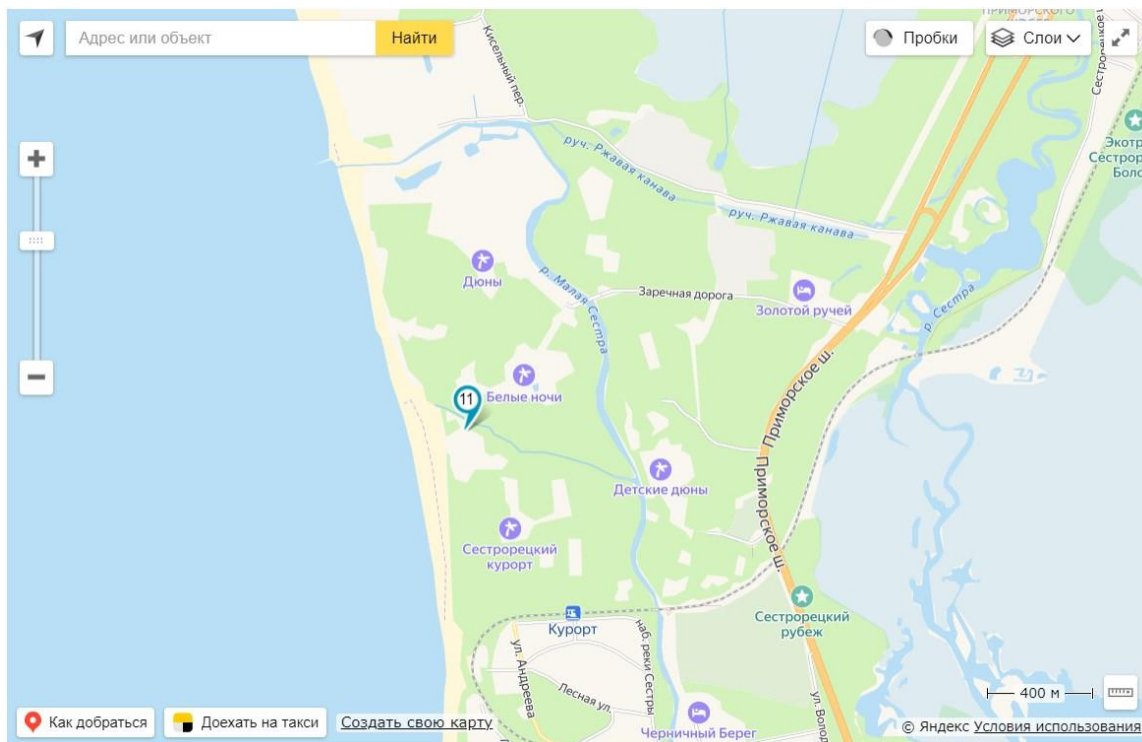


Рисунок 4.2. Расположение станции № 11

Станция № 9 расположена по адресу ул. Малая Балканская, д.54, неподалеку от заправочной станции, автомагистрали (КАД) и железной дороги, что приводит к значительным выбросам в районе. Кроме того, к югу от станции находится промышленная зона Шушары.

Станция № 11 по адресу г. Сестрорецк, ул. М. Горького, д. 2 располагается в курортной зоне, недалеко от Финского залива [21].

4.2 Анализ временных рядов концентраций загрязняющих веществ за зимний и летний период

Исследование динамики временных рядов концентраций загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга является важным и актуальным заданием, которое позволяет оценить состояние окружающей среды в городе и выявить тенденции и сезонность в динамике концентраций загрязняющих веществ [22].

Для проведения исследования использовались данные автоматических станций мониторинга № 9 и № 11, которые предоставляют информацию о концентрациях различных загрязняющих веществ в атмосфере. Эти станции расположены на разных территориях города и регулярно измеряют уровни загрязнения воздуха.

Одним из основных аспектов исследования является анализ тенденций в динамике концентраций загрязняющих веществ. Для этого были использованы методы статистического анализа, такие как расчет средних значений, стандартного отклонения, корреляционного анализа и построение графиков.

По данным станций № 9 и № 11 были построены графики (Рис. 4.3 – 4.14) среднесуточного хода концентраций загрязняющих веществ CO , SO_2 , O_3 , NO_2 и PM_{10} ($\text{PM}_{2,5}$) в долях ПДК_{сс} для каждого месяца отдельно (за зимний период 2022-2023 года – декабрь, январь, февраль) и летний период 2023 года – июнь, июль август) Данные, полученные со станций, уже были осредненными за сутки.

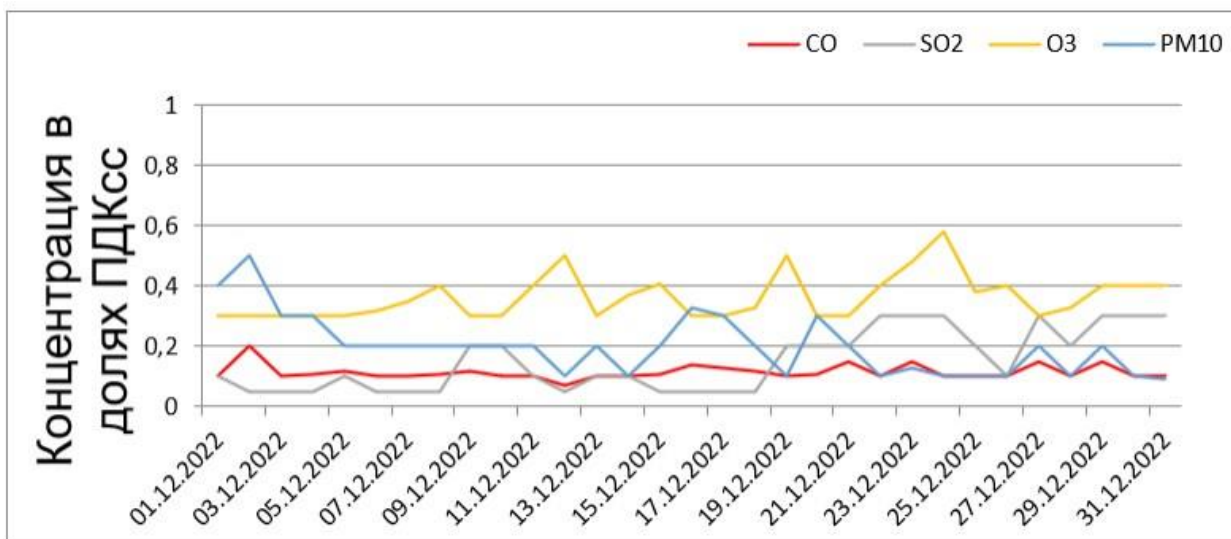


Рисунок 4.3. График концентрации загрязняющих веществ в долях ПДК_{сс} за декабрь 2022 года (данные станции № 9)

Из графика видно, что в декабре концентрация CO не превышала 0,2 ПДК_{сс}, концентрация SO₂ не превышала 0,3 ПДК_{сс}, но тем не менее во второй половине месяца она была выше, чем в первой, концентрация PM₁₀ достигала 0,5 ПДК_{сс} в самом начале месяца, а концентрация O₃ достигала значений 0,6 ПДК_{сс} во второй половине месяца.

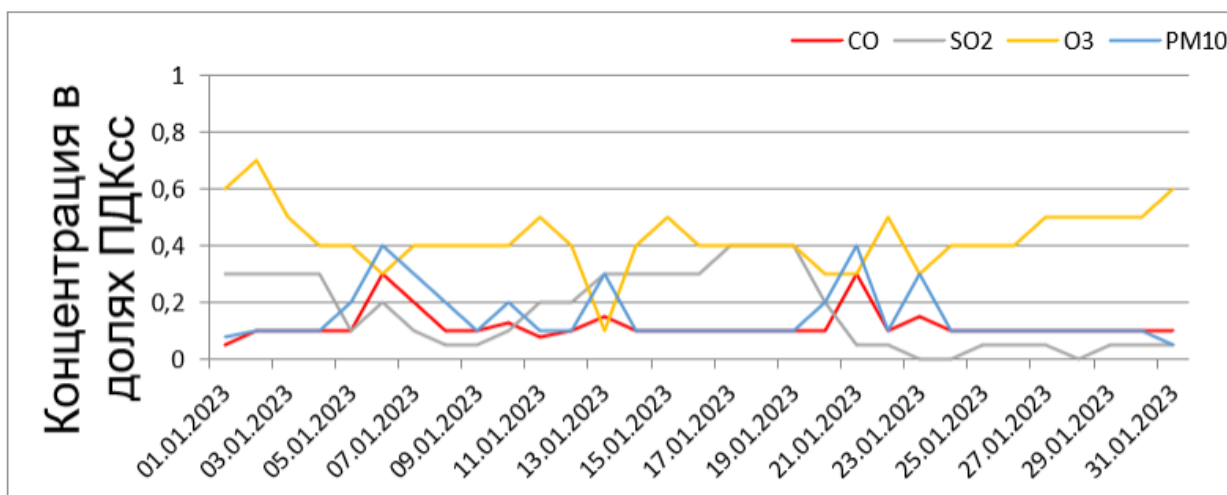


Рисунок 4.4. График концентрации загрязняющих веществ в долях ПДК_{сс} за январь 2023 года (данные станции № 9)

В январе концентрация CO, PM₁₀ практически была постоянна, за исключением некоторых скачков, оставаясь в пределах примерно 0,1 ПДК_{сс}, концентрация SO₂ к середине месяца увеличилась до 0,4 ПДК_{сс}, затем

наблюдалось её уменьшение во второй половине месяца, концентрация O_3 в январе была довольно не постоянна, колеблясь от 0,7 до 0,1 ПДК_{СС}.

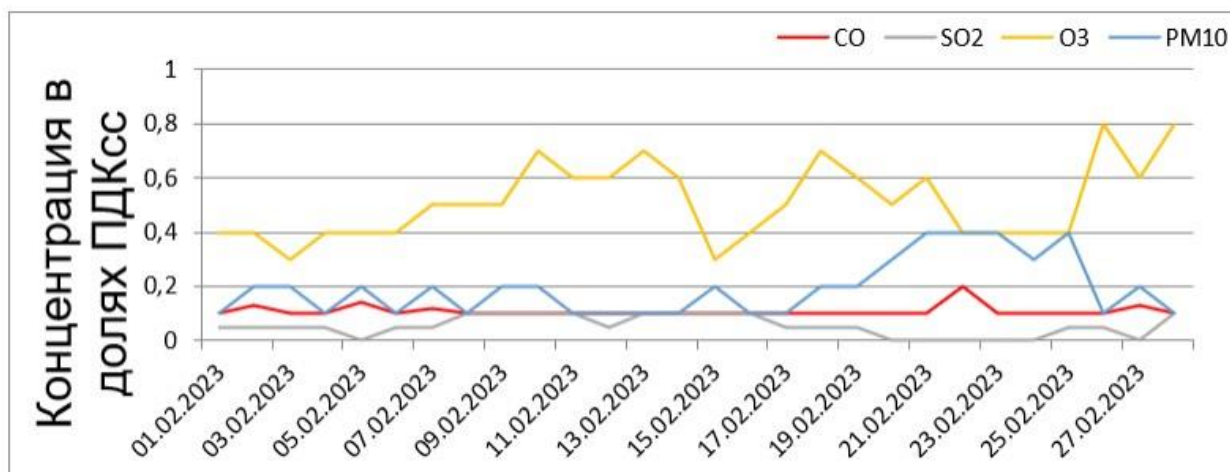


Рисунок 4.5. График концентрации загрязняющих веществ в долях ПДК_{СС} за февраль 2023 года (данные станции № 9)

В феврале концентрации CO и SO₂ остались неизменными – максимум до 0,1 ПДК_{СС}, при этом концентрация O₃ в начале месяца была более-менее на том же уровне, затем мы наблюдали всплеск и концентрация увеличилась до 0,8 ПДК_{СС} в конце месяца, концентрация PM₁₀ на протяжении большей части месяца была от 0,1 до 0,2 ПДК_{СС}, за исключением скачка до 0,4 ПДК_{СС} в 20-х числах месяца.

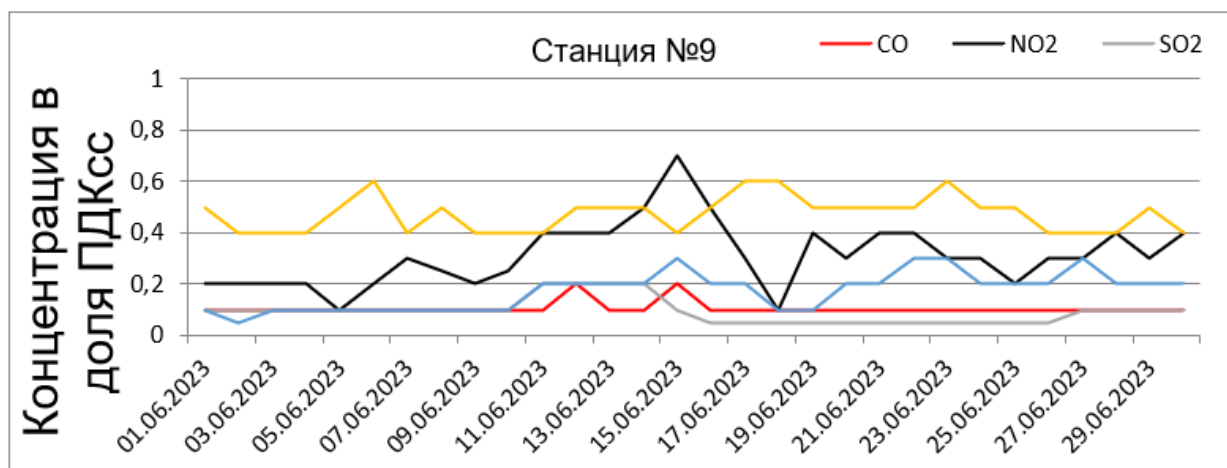


Рисунок 4.6. График концентрации загрязняющих веществ в долях ПДК_{СС} за июнь 2023 года (данные станции № 9)

Как видно на графике концентрация CO и SO₂ была практически неизменна, и была примерно на уровне 0,1 ПДК_{СС}, что не скажешь о

концентрации NO_2 , которая в начале месяца была 0,2 ПДК_{сс}, в середине месяца был скачок до 0,7 ПДК_{сс}, потом резкое падение, и к концу месяца она была на уровне 0,4 ПДК_{сс}.

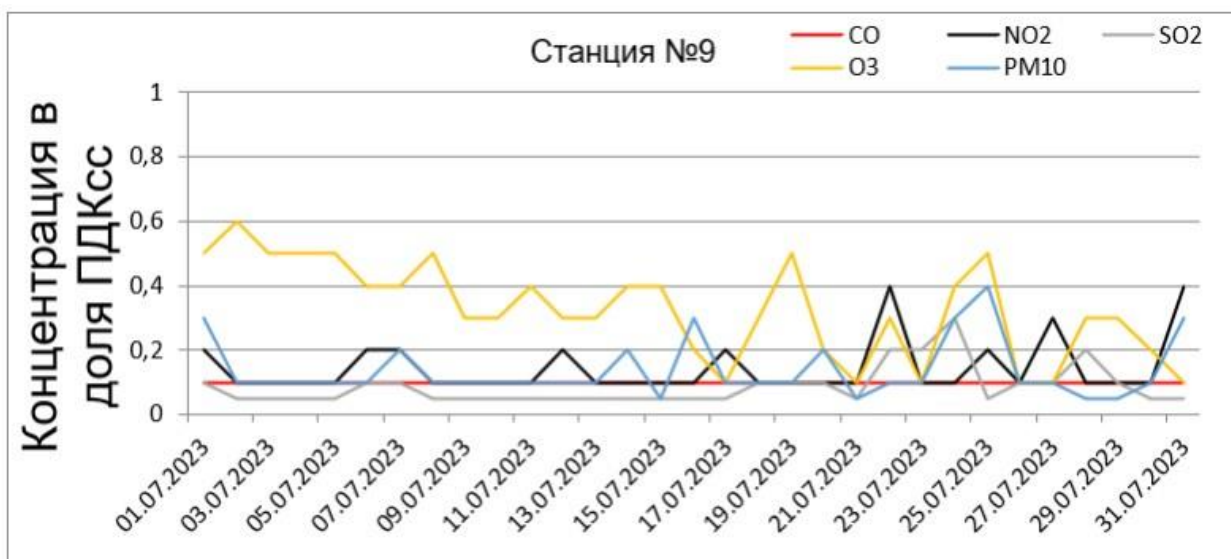


Рисунок 4.7. График концентрации загрязняющих веществ в долях ПДК_{сс} за июль 2023 года (данные станции № 9)

За июль мы видим примерно ту же ситуацию, что и за июнь, это что касается концентрации CO и SO_2 , а вот что касается концентрации SO_2 , то скачком таких сильных не наблюдалось, за исключением в двадцатых числах месяца и максимально достигало значений 0,4 ПДК_{сс}.

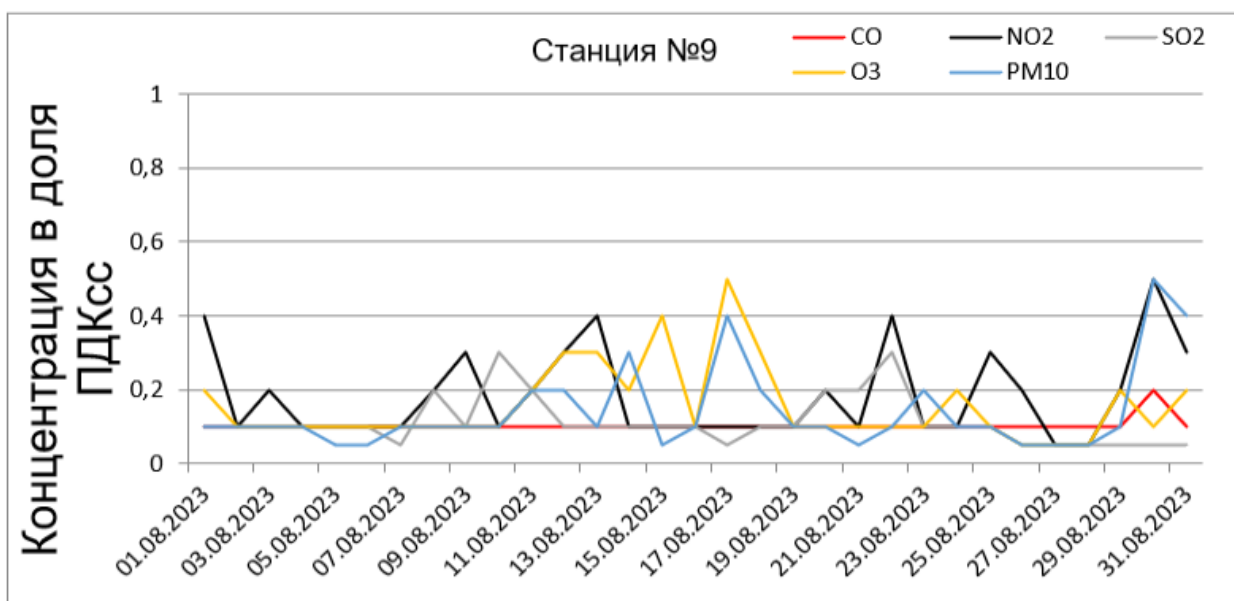


Рисунок 4.8. График концентрации загрязняющих веществ в долях ПДК_{сс} за август 2023 года (данные станции № 9)

Про август можно сказать следующее, что концентрация CO и SO₂ была практически неизменна в течение всего месяца и была равна 0,1 ПДК_{СС}, концентрации O₃, NO₂ и PM₁₀ было скачкообразным, самые большие скачки до 0,5 ПДК_{СС} наблюдались в середине месяца.



Рисунок 4.9. График концентрации загрязняющих веществ в долях ПДК_{СС} за декабрь 2022 года (данные станции № 11)

За декабрь 2022 года, можно сказать о концентрации загрязняющих веществ следующее, концентрация NO₂, PM_{2,5}, CO была неизменна, максимальные значения ПДК_{СС} доходили до 0,3, что не скажешь про концентрацию O₃, весь месяц наблюдались скачки от 0,1 до 0,7 ПДК_{СС}.



Рисунок 4.10. График концентрации загрязняющих веществ в долях ПДК_{СС} за январь 2023 года (данные станции № 11)

В январе 2023 г. концентрация СО была постоянна, и равнялась 0,1 ПДК_{СС}, что не скажешь о концентрации О₃, весь месяц скачки были от 0,1 до 0,7 ПДК_{СС}, что касается NO₂, то можно сказать следующее, что в начале месяца ПДК_{СС} достигало 0,3, а к середине месяце и до конца месяца наблюдается выравнивание в пределах 0,1 ПДК_{СС}.



Рисунок 4.11. График концентрации загрязняющих веществ в долях ПДК_{СС} за февраль 2023 года (данные станции № 11)

Смотря график, можно сказать следующее, что ситуация с концентрацией СО и О₃ наблюдается такая же, как и в предыдущем месяце, но концентрация NO₂ весь месяц была 0,1 ПДК_{СС}.

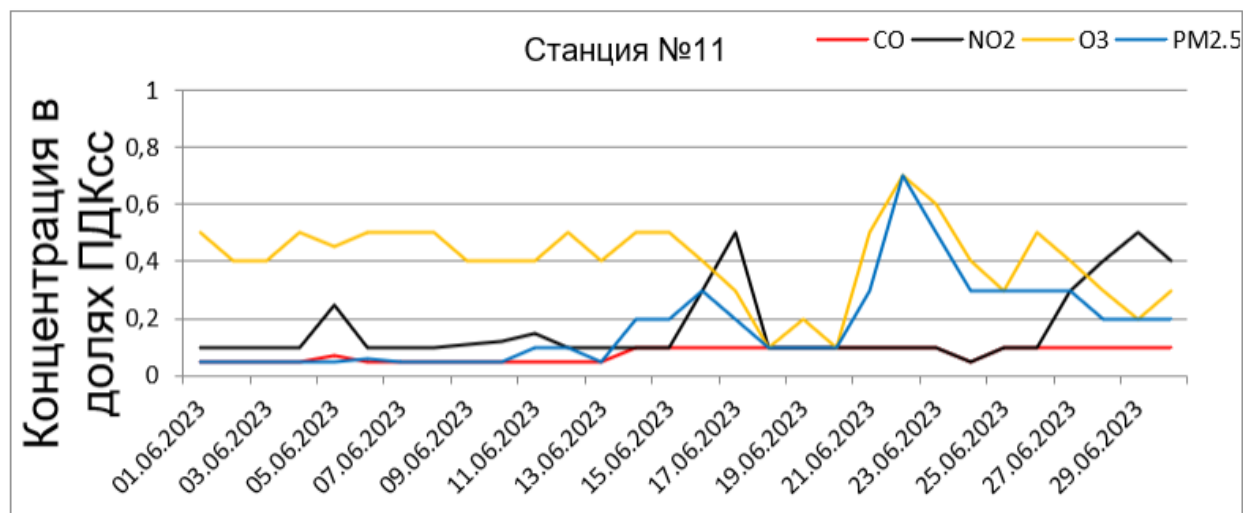


Рисунок 4.12. График концентрации загрязняющих веществ в долях ПДК_{СС} за июнь 2023 года (данные станции № 11)

Проанализировав зимний период, перейдем к летнему, а именно к июню, и что мы видим, что концентрация СО неизменна и равна 0,1 ПДК_{СС}, концентрация О₃ колеблется от 0,1 до 0,5 ПДК_{СС}, концентрация NO₂ к концу месяца выросла и стала 0,5 ПДК_{СС}, что касается концентрации PM_{2,5}, то в начале месяца она была практически неизменна, как в двадцатых числах произошел скачок до 0,7 ПДК_{СС}.

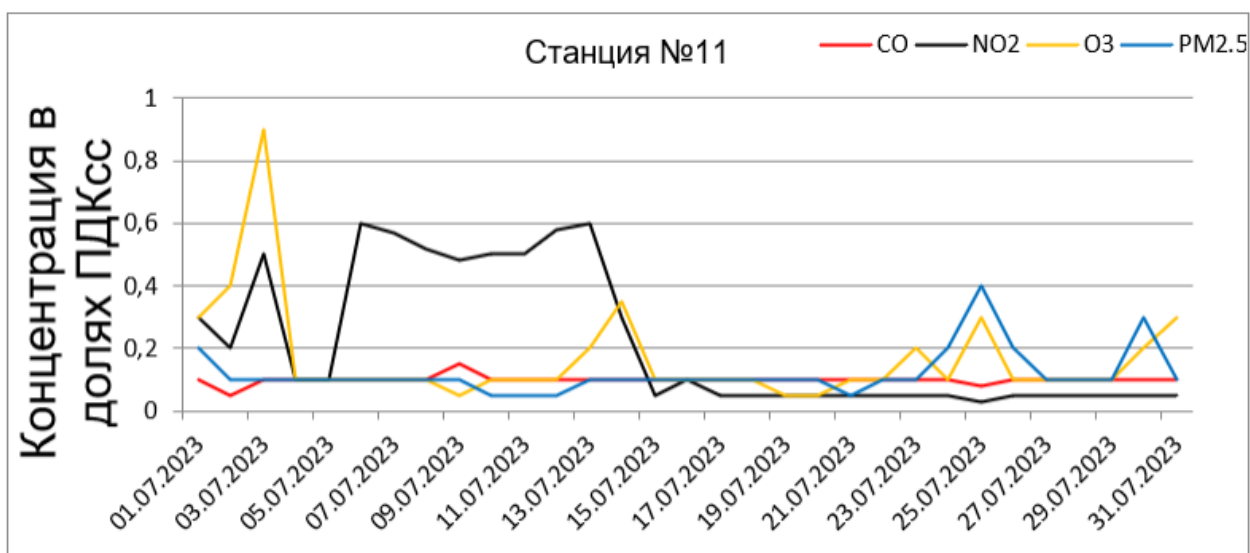


Рисунок 4.13. График концентрации загрязняющих веществ в долях ПДК_{СС} за июль 2023 года (данные станции № 11)

Рассмотрим график за июль, тут можно сказать о том что, концентрация NO₂ до середины месяца достигала порядка 0,6 ПДК_{СС}, но после уменьшилась до 0,1 ПДК_{СС} и была постоянна, концентрации СО и PM_{2,5} были равны весь месяц 0,1 ПДК_{СС}, концентрация О₃ в начале месяца достигала 0,9 ПДК_{СС}, но к 5 июля концентрация выровнялась до 0,1 ПДК_{СС}.



Рисунок 4.14. График концентрации загрязняющих веществ в долях ПДК_{сс} за август 2023 года (данные станции № 11)

Про август хотелось бы добавить, смотря на график, что концентрация CO и NO₂ весь месяц были сведены практически к 0,1 ПДК_{сс}, что не скажешь про O₃, концентрация O₃ была непостоянна, колеблясь от 0,1 до 0,8 ПДК_{сс}, что касается PM_{2,5}, то концентрация была от 0,1 до 0,4 ПДК_{сс}.

Проанализируем, сведем в общие графики данные за месяца, сравним и сделаем выводы по загрязняющим веществам за зимний и летний периоды станций № 9 и № 11.



Рисунок 4.15. Сводный график за зимний период (2022-2023 г.) станции № 9

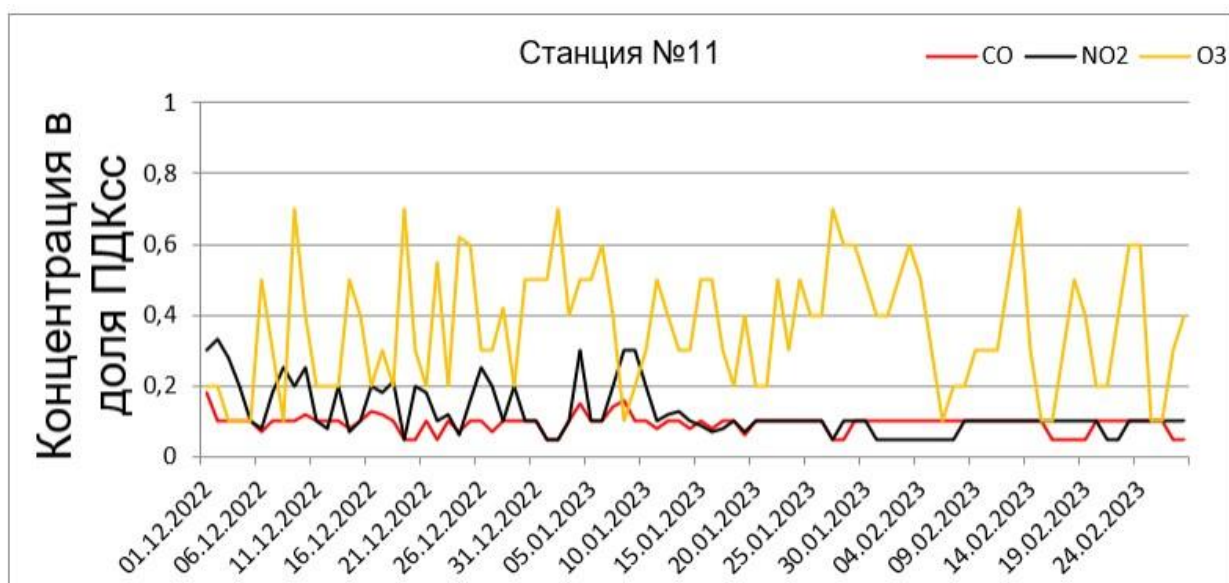


Рисунок 4.16. Сводный график за зимний период (2022-2023 г.) станции № 11

Вывод: проанализировав сводные графики за зимний период станций № 9 и № 11, можно сказать следующее, что концентрация O_3 за зимний период примерно одинакова, за исключением конца февраля на станции № 9, где ПДК_{сс} дошло до отметки 0,8, что касается концентрации CO, то на станции №11 наблюдается более постоянное значение ПДК_{сс} равное 0,1, в то время как на станции № 9, наблюдаются в январе скачки до 0,3 ПДК_{сс} – это обуславливается тем, что станция № 11, находится в курортной зоне, а станция № 9, находится вблизи автодорог и предприятий.

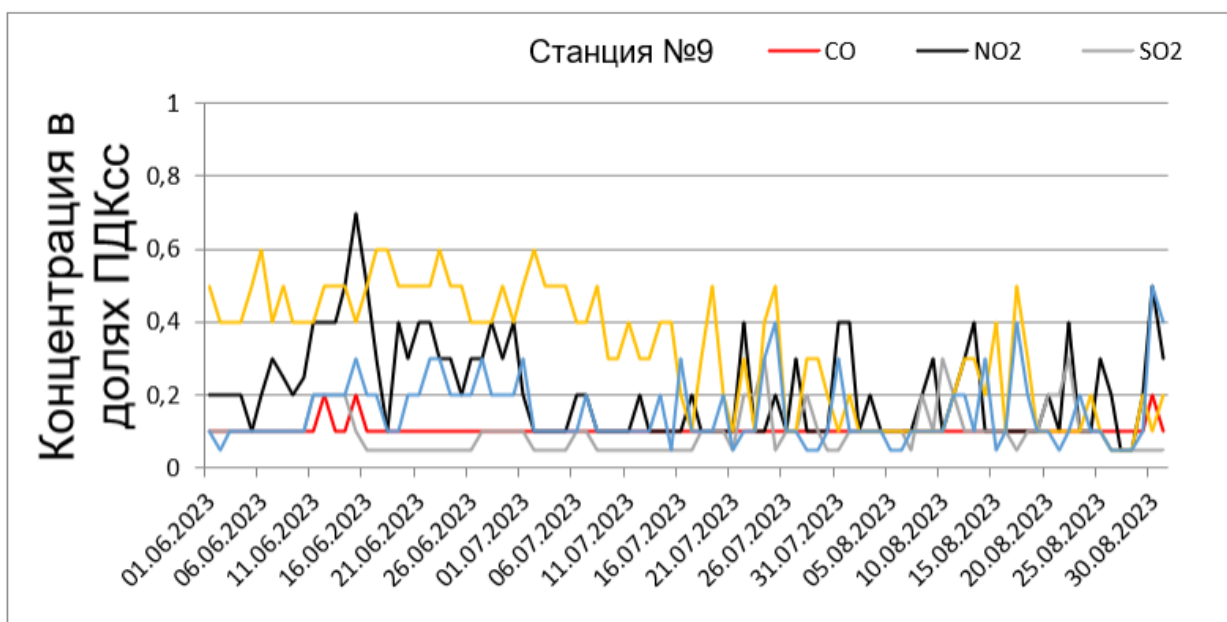


Рисунок 4.17. Сводный график за летний период (2023 г.) станции № 9

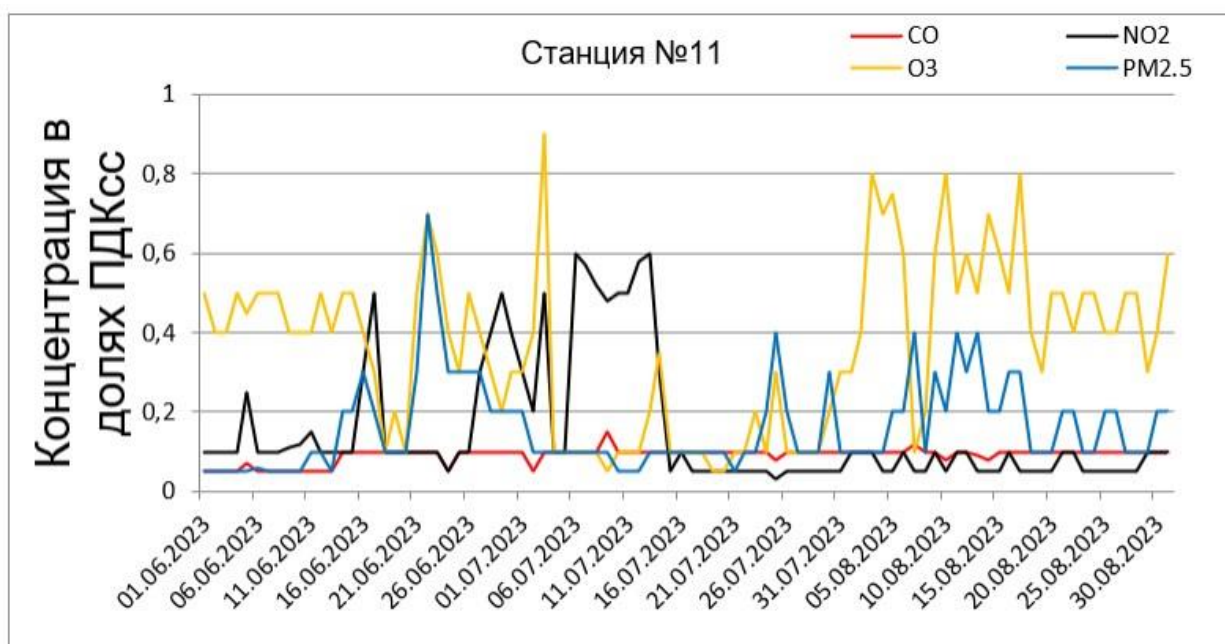


Рисунок 4.18. Сводный график за летний период (2023 г.) станции № 11

Вывод: проанализировав графики за летний период станций №9 и №11, можно сказать следующее, что концентрация CO одинаковая, постоянная, не больше 0,1 ПДК_{СС}, что касается NO₂, то на станции № 9 наблюдается в июне повышение концентрации до 0,7 ПДК_{СС}, далее до конца лета ПДК_{СС} доходит до 0,4, на станции № 11, наблюдается резкое повышение ПДК_{СС} в начале июля до 0,6, а потом резкое падение до конца лета, где ПДК_{СС} равен 0,1.

В результате анализа было выявлено, что концентрации загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга имеют определенные тенденции. Например, наблюдается увеличение концентраций веществ, связанных с промышленными выбросами, в периоды повышенной активности производства. Также выявлено, что концентрации некоторых веществ, например, диоксида азота, имеют сезонную зависимость, с пиками в зимний период.

Важным аспектом исследования является также анализ сезонности в динамике концентраций загрязняющих веществ. Сезонность описывает периодические колебания концентраций веществ в зависимости от времени года. Для анализа сезонности были использованы методы временных рядов,

такие как сезонное декомпозиционное моделирование и построение сезонных графиков.

Анализ сезонности позволил выявить, что концентрации загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга имеют ярко выраженную сезонную зависимость. Например, концентрации веществ, связанных с автотранспортом, достигают максимума в периоды повышенной транспортной активности, таких как летний сезон и рабочие дни. В то же время, концентрации веществ, связанных с промышленными выбросами, могут иметь пики в зимний период, когда происходит повышенное отопление.

4.3 Метеорологические факторы и их влияние на концентрации загрязняющих веществ

Для анализа максимумов и минимумов в летний и зимний периоды (2022-2023 годы), необходимо сопоставить их с метеорологическими условиями. На основе полученных данных были построены графики, отражающие распределение относительной влажности воздуха, скорости и направления ветра, а также температуры воздуха.

Рассмотрим относительную влажность воздуха: на рис. 4.19-4.20 можем наблюдать распределение относительной влажности.

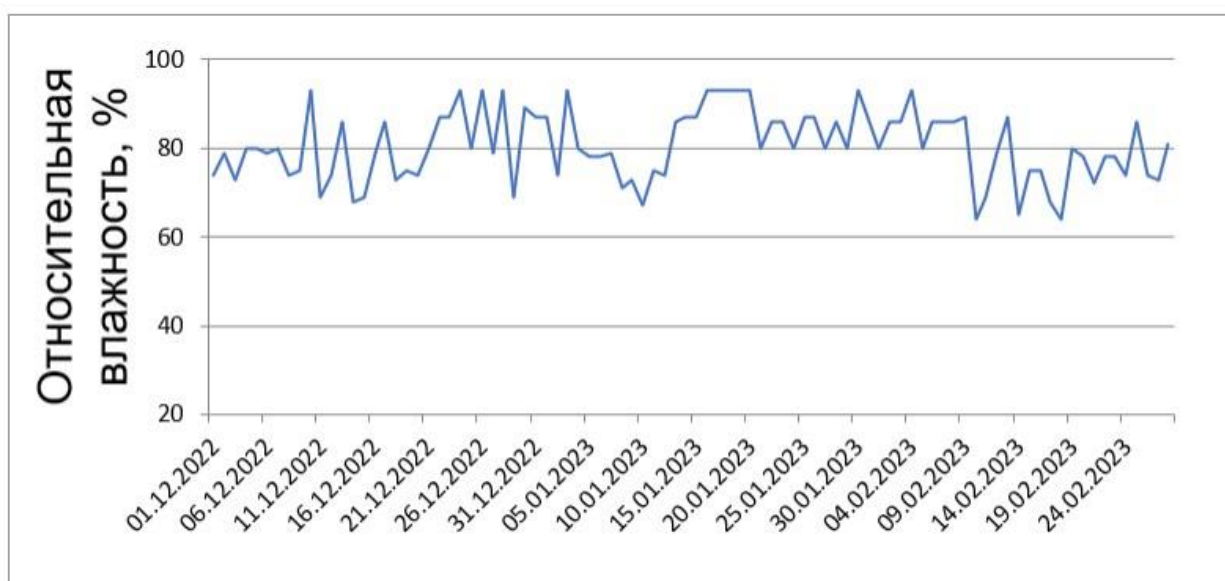


Рисунок 4.19. Распределение относительной влажности за зимний период
(2022-2023 г.)

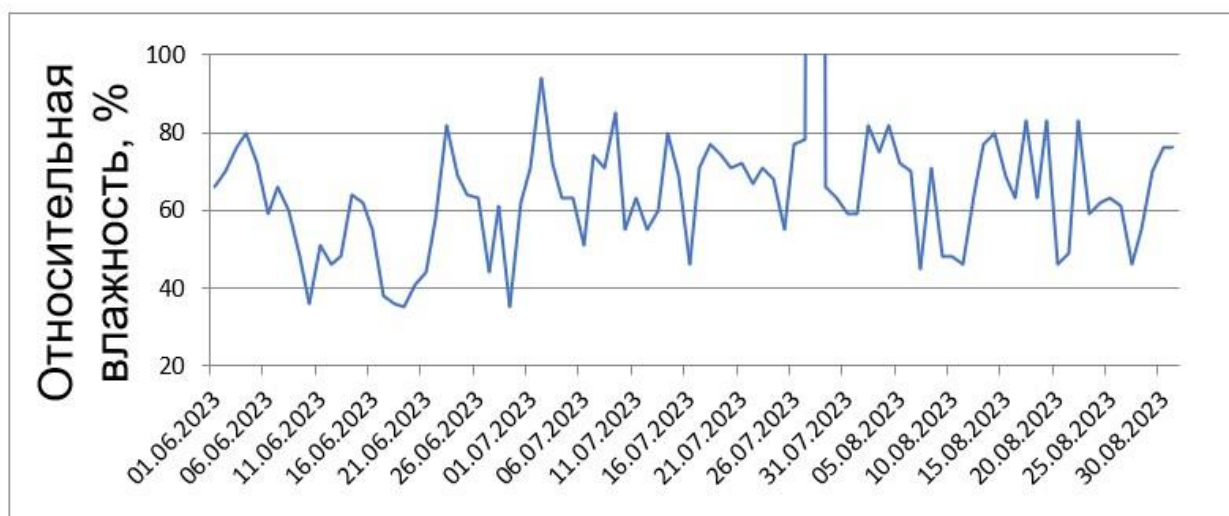


Рисунок 4.20. Распределение относительной влажности за летний период
(2023 г.)

В Санкт-Петербурге относительная влажность сильно влияет на концентрацию загрязняющих веществ. При повышенной влажности загрязнители накапливаются в воздухе, особенно при слабом ветре или температурных инверсиях. Это происходит потому, что капли тумана могут поглощать примеси не только с близлежащих поверхностей, но и из более загрязненных слоев воздуха выше. В результате концентрация примесей сильно возрастает в тумане и уменьшается выше него. Растворение сернистого газа в каплях приводит к образованию серной кислоты, что еще больше ухудшает качество воздуха. Таким образом, высокая относительная влажность вместе с другими неблагоприятными метеорологическими условиями может значительно увеличивать загрязнение воздуха в городе. Это особенно заметно зимой, когда относительная влажность значительно выше, чем летом. Однако даже летом в Санкт-Петербурге относительная влажность выше, чем в других городах России.

Ветер играет ключевую роль в распространении загрязняющих веществ в атмосфере. Его скорость и направление существенно влияют на концентрацию загрязнителей в воздухе. Когда ветер слабый, загрязняющие

вещества могут собираться в нижних слоях атмосферы, что увеличивает опасность их воздействия на здоровье людей и окружающую среду. В таких ситуациях необходимо предпринимать меры для снижения выбросов и улучшения качества воздуха.

Сильный ветер способствует рассеиванию загрязняющих веществ, уменьшая их концентрацию в воздухе. Это происходит благодаря перемешиванию воздушных масс и переносу загрязнителей на большие расстояния. Однако, если источник загрязнения находится на высоком месте, сильный ветер может привести к увеличению концентрации загрязняющих веществ в низинных районах из-за эффекта "воздушного течения".

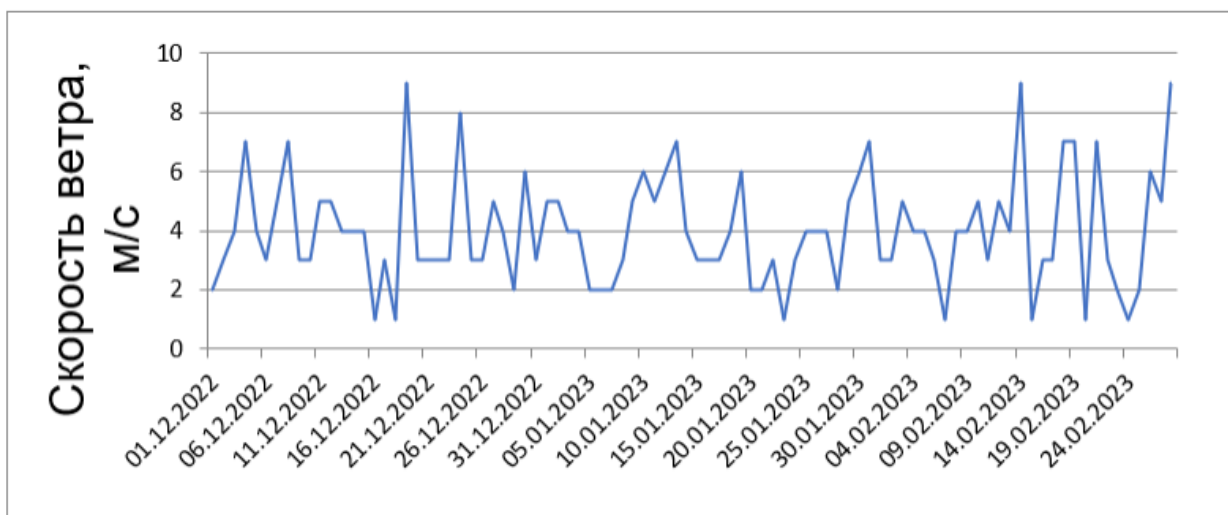


Рисунок 4.21. График распределения скорости ветра в зимний период (2022-2023 г.)

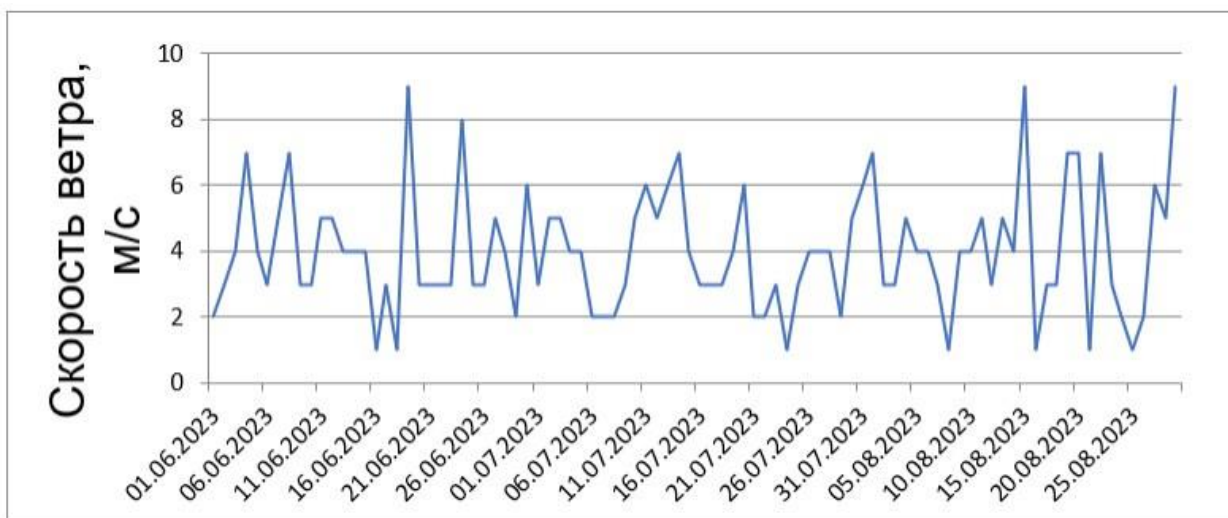


Рисунок 4.22. График распределения скорости ветра в летний период

(2023 г.)

Как известно, в Санкт-Петербурге очень ветрено, что мы и видим по графикам распределения, ветер в среднем колеблется 4-6 м/с, но бывали дни когда ветер поднимался и до 10 м/с, но все зависит от местонахождения станции, если брать станцию № 9, то от ветра зависит очень многое, например, рядом со станцией расположены заводы и автомагистраль, где при сильном ветре увеличивается концентрация вредных веществ, а если брать станцию № 11, то при даже сильном ветре, концентрация вредных веществ критично не изменится, так как станция находится внутри курортной зоны на берегу Финского залива, где предприятий в радиусе 15-20 км нет, и быть не может.

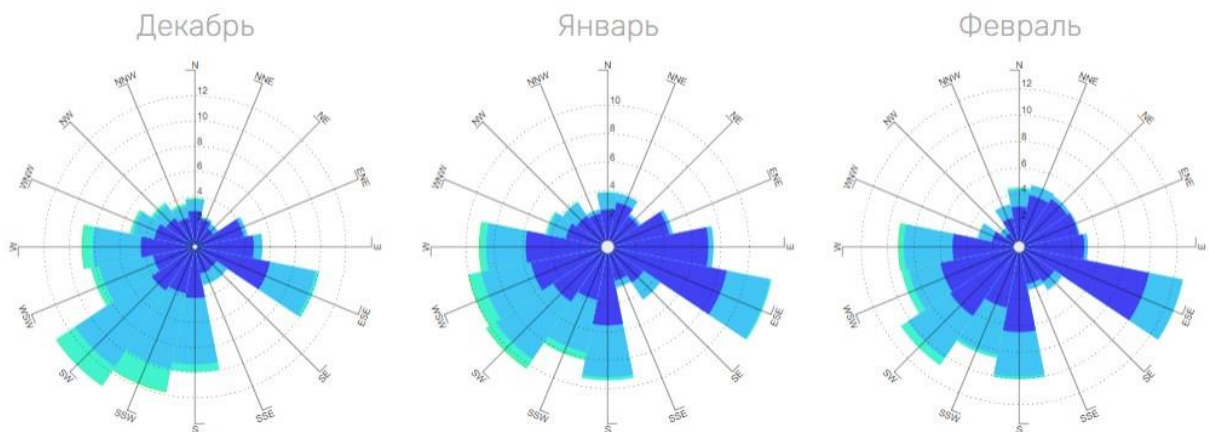


Рисунок 4.23. Роза ветров за зимний период (2022-2023 г.)

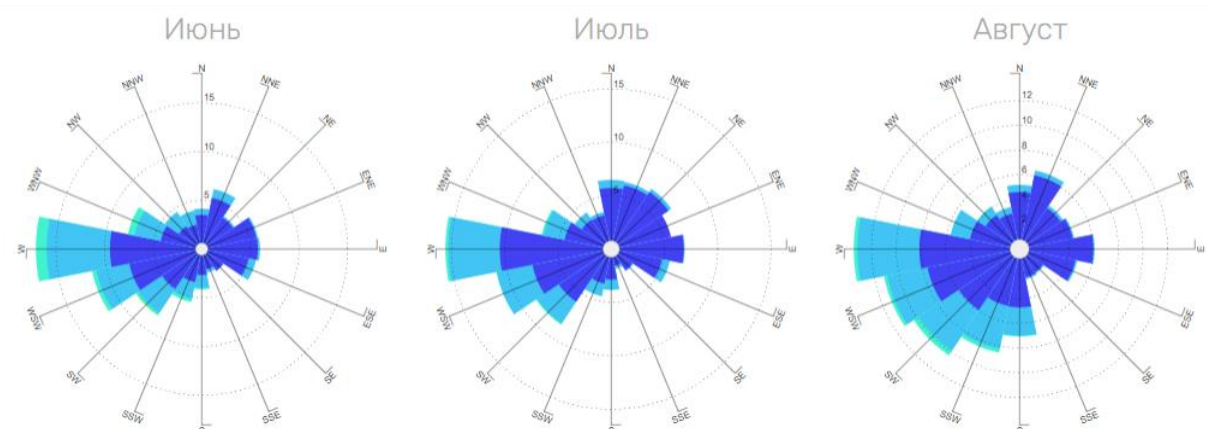


Рисунок 4.24. Роза ветров за летний период (2023 г.)

Направление ветра также важно. Устойчивый ветер, дующий в одном направлении, может способствовать накоплению загрязняющих веществ в

определенной зоне, тогда как переменчивый ветер способствует их рассеиванию.

Как мы можем наблюдать, в зимний период преобладает юго-западный ветер. Направление ветра влияло на концентрацию примесей в атмосфере, так как на юго-западе от станции №9 расположены предприятия и автодорога (КАД).

Летом наблюдалась другая картина: в июне и июле преобладал восточный ветер, а в августе - восточный и юго-восточный. В дни, когда дул юго-восточный ветер, концентрация загрязняющих веществ была высокой, так как источники загрязнения находились именно в этих направлениях.

5 Рекомендации по улучшению качества атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге

Одним из основных источников загрязнения атмосферы в городе является транспорт. Автомобили, грузовики и общественный транспорт являются основными источниками выбросов вредных веществ, таких как оксиды азота, углеводороды, твердые частицы и др. Воздействие транспорта на качество воздуха в Санкт-Петербурге значительно усиливается в условиях пробок, которые образуются на дорогах города в часы пик [23].

Еще одним источником загрязнения атмосферы являются промышленные предприятия. В Санкт-Петербурге находится большое количество промышленных объектов, которые выбрасывают в атмосферу различные вредные вещества, такие как сернистый ангидрид, оксиды азота, тяжелые металлы и др. Некоторые из этих веществ являются канцерогенами и могут негативно влиять на здоровье населения.

Также стоит отметить, что загрязнение атмосферы в Санкт-Петербурге связано с отоплением жилых и коммерческих зданий. В зимний период времени многие жители города используют отопительные системы, которые работают на твердом топливе, таком как уголь или дрова. Сгорание этих видов топлива приводит к выбросу вредных веществ, включая твердые частицы, диоксид серы и др.

Для решения проблемы загрязнения атмосферы в Санкт-Петербурге необходимо принять комплекс мер, направленных на снижение выбросов вредных веществ. В первую очередь, необходимо разработать и внедрить строгие нормативы по выбросам для промышленных предприятий и транспорта. Это позволит снизить количество выбросов вредных веществ и улучшить качество воздуха в городе.

Также важно проводить мониторинг качества воздуха в Санкт-Петербурге с использованием автоматических станций мониторинга. Это позволит отслеживать динамику временных рядов концентраций

загрязняющих веществ в атмосфере города и оценивать эффективность принимаемых мер. Результаты мониторинга должны быть доступны широкой общественности, чтобы каждый житель города мог оценить уровень загрязнения воздуха и принять необходимые меры для защиты своего здоровья.

Для снижения загрязнения атмосферы в Санкт-Петербурге также необходимо поощрять использование экологически чистых источников энергии. Например, город может предоставлять льготы и субсидии для установки солнечных панелей на крышах зданий или использования электромобилей. Это позволит снизить зависимость от традиционных источников энергии и уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу.

Также необходимо проводить информационную работу среди населения о проблеме загрязнения атмосферы и его воздействии на здоровье. Жители города должны быть осведомлены о том, какие действия они могут предпринять для уменьшения своего вклада в загрязнение атмосферы, например, использование общественного транспорта или установка фильтров на дымоходы отопительных систем.

Заключение

Город Санкт-Петербург – является одним из крупнейших и населенных городов в России. Город также очень развит. Все эти факторы сильно влияют на качество атмосферного воздуха и, следовательно, на здоровье петербуржцев. Для того чтобы предотвратить ухудшение состояния атмосферы, необходимо постоянно контролировать состояние окружающей среды.

В данной работе был проведен анализ качества воздуха на основе данных станций автоматического экологического мониторинга в двух районах города Санкт-Петербурга (Фрунзенский и г. Сестрорецк) в зимний и летний периоды 2022-2023 года. Также было изучено влияние метеорологических параметров на качество воздуха.

В результате исследования можно сказать следующее:

— атмосферный воздух наиболее загрязнен в районе АСМ № 9, чем в районе АСМ № 11, так как АСМ №9 находится в промышленном районе вблизи железных и автомобильных дорог, в то время, АСМ № 11 находится в курортной зоне, где выбросы минимальны;

— метеорологические факторы оказывают влияние на концентрацию загрязняющих веществ, только во Фрунзенском районе, то есть вблизи АСМ № 9, и в том случае если дует юго-западный ветер, так как на юго-западе находятся различные предприятия.

Вывод можно сделать такой, что концентрация загрязняющих веществ не превышала нормативных значений. Автоматические станции мониторинга окружающего воздуха, расположенные ближе к центральной части оживленного города, более подвержены загрязнению воздуха, чем те, что находятся дальше от него. Это связано с тем, что в крупных городах существует большое количество факторов, способствующих загрязнению воздуха.

Теперь сравним концентрации загрязняющих веществ по сезонам:

— в зимний период концентрация озона выше, чем в летний период, особенно в феврале когда ПДК_{СС} достигала 0,8 – это что касается района АСМ №9, а в районе АСМ №11 все в точности, но наоборот в летний период концентрация озона выше, чем в зимний;

— концентрации оксида азота на станции №9 и №11 намного выше в летний период, нежели в зимний – это обуславливается обильными осадками зимой (снегом);

— концентрации монооксида углерода что на станции №9, что на станции №11, и в зимний и в летний период была практически одинакова 0,1-0,2 ПДК_{СС}.

Экологическая обстановка на двух станциях за летний и зимний сезоны была благоприятной, поскольку количество дней с максимальным уровнем загрязнения было невелико (при этом максимальный уровень загрязнения не превышал предельно допустимую среднесуточную концентрацию).

Для того чтобы, воздух в Санкт-Петербурге стал чище нужно:

— необходимо разработать и внедрить строгие нормативы по выбросам для промышленных предприятий и транспорта;

— результаты мониторинга должны быть доступны каждому петербуржцу, чтобы он мог оценить уровень загрязнения воздуха и принять какие-либо меры по улучшению качества воздуха;

— необходимо поощрять использование экологически чистых источников энергии;

— необходимо проводить информационную работу среди населения о проблеме загрязнения атмосферы и его воздействии на здоровье.

Таким образом данные рекомендации могут быть использованы в работе городских властей и экологических организаций для принятия мер по снижению загрязнения атмосферы и улучшению качества воздуха в Санкт-Петербурге.

Список использованных источников

1. Александров Э. Л., Израэль Ю. А., Кароль И. Л., Хргиан А. Х. Озонный щит Земли. – Л: Гидрометеиздат. 1992. – С. 6-7.
2. Марлынов С.В., Середа Н.В. Исследование содержания окиси углерода в воздухе на некоторых улицах г. Чебоксары. в сборнике: Студенческая наука - первый шаг к цифровизации сельского хозяйства. Материалы II Всероссийской студенческой научно-практической конференции. Чебоксары, 2022. С. 30-33.
3. С. В. Меркулова, Б. И. Кочуров, П. И. Меркулов Влияние метеорологических условий на содержание оксидов азота в приземной атмосфере города Саранска // Экология урбанизированных территорий. 2019. №1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-meteorologicheskikh-usloviy-na-soderzhanie-oksidov-azota-v-prizemnoy-atmosfere-goroda-saranska> (дата обращения: 22.05.2024).
4. Хуриганова О. И., Оболкин В. А., Голобокова Л. П., Ходжер Т. В., Потемкин В. Л. Озон, оксиды серы и азота в приземной атмосфере на Байкальской природной территории // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2018. №. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ozon-oksidy-sery-i-azota-v-prizemnoy-atmosfere-na-baykalskoy-prirodnoy-territorii> (дата обращения: 29.05.2024).
5. Ахтиманкина А. В., Лопаткина О. А. Исследование динамики концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Иркутска // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2014. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-dinamiki-kontsentratsiy-zagryaznyayuschih-veschestv-v-atmosfernom-vozdue-g-irkutska> (дата обращения: 26.05.2024).

6. Грабар В. А., Лытов В. М. Атмосферные выбросы парниковых газов от транспорта // ББК 26.23 М77. – 2023. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_55000348_30354592.pdf#page=104 (дата обращения: 29.05.2024).
7. Леженин А. А., Рапута В. Ф. Влияние ветрового режима на загрязнения атмосферы г. Санкт-Петербурга // интерэкспо гео-сибирь. 2022. №. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vetrovogo-rezhima-na-zagryazneniya-atmosfery> (дата обращения: 29.05.2024).
8. Крюкова С.В., Симакина Т.Е. Оценка влияния метеорологических параметров на концентрации загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. №5-2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-meteorologicheskikh-parametrov-na-kontsentratsii-zagryaznyayuschih-veschestv-v-atmosfere-sankt-peterburga> (дата обращения: 29.05.2024).
9. Невмержицкий Н. В. Методика оценки и прогнозирования экстремального загрязнения воздуха на автомагистралях мелкодисперсными взвешенными частицами PM10 и PM2. 5 // СПб.: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dsosvet.igps.ru/wp-content/uploads/2016/12/Diss1.pdf> (дата обращения: 23.05.2024).
10. Кинеббас А. К. Совершенствование системы контроля и мониторинга качества воды в условиях современного мегаполиса // Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург. – 2007. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://static.freereferats.ru/_avtoreferats/01003353469.pdf (дата обращения: 29.05.2024).

11. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Костяной А. Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. – 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_28411972_92255685.pdf (дата обращения: 29.05.2024).
12. Александрович С.В. R/S - анализ температурных временных рядов // Инновации и инвестиции. 2020. №2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/r-s-analiz-temperaturnyh-vremennyh-ryadov> (дата обращения: 20.05.2024).
13. Алексеев В. И. Анализ и прогнозирование циклических временных рядов с использованием вейвлетов и нейросетевых нечетких правил вывода // Вестник ЮГУ. 2013. №3 (30). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-i-prognozirovanie-tsiklicheskih-vremennyh-ryadov-s-ispolzovaniem-veyvletov-i-neyrosetevyh-nechetkih-pravil-vyvoda> (дата обращения: 21.05.2024).
14. Устинова И. Г., Бондаренко С. Л., Рожкова О. В. Анализ тригонометрических составляющих временных рядов данных мониторинга окружающей среды // Известия ТПУ. 2020. №10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-trigonometricheskih-sostavlyayuschih-vremennyh-ryadov-dannyh-monitoringa-okruzhayuschey-sredy> (дата обращения: 29.05.2024).
15. Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gov.spb.ru/> (дата обращения 20.06.2024).
16. Панарин В. М., Маслова А. А., Гришаков К. В., Гришакова О. В., Логунов Д. А. Обзор станций автоматического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха // Известия ТулГУ. Технические науки. 2022. №7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-stantsiy-avtomaticheskogo-monitoringa-zagryazneniya-atmosfernogo-vozduha> (дата обращения: 22.05.2024).

17. Ахтиманкина А. В. Исследование динамики концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Шелехова // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2015. №. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-dinamiki-kontsentratsiy-zagryaznyayuschih-veschestv-v-atmosfernom-vozdueh-g-shelehova> (дата обращения: 29.05.2024).

18. Экологический портал Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.infoeco.ru/index.php?id=23> (дата обращения: 29.05.2024).

19. Клейн С. В., Попова Е.В. Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха г. Санкт-Петербурга - Приоритетной территории федерального проекта \Чистый воздух// ЗНиСО. 2020. №12 (333). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/gigienicheskaya-otsenka-kachestva-atmosfernogo-vozduha-g-prioritetnoy-territorii-federalnogo-proekta-chisty-vozduh> (дата обращения: 29.05.2024).

20. Архив погоды г. Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arhivpogodi.ru/arhiv/sankt-peterburg> (дата обращения: 20.06.2024).

21. Мовчан В. Н., Зубкова П. С., Калинина И. К., Кузнецова М. А., Шейнерман Н. А. Оценка и прогноз экологической ситуации в Санкт-Петербурге по показателям загрязнения атмосферного воздуха и изменения здоровья населения // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2018. №2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-i-prognoz-ekologicheskoy-situatsii-v-sankt-peterburge-po-pokazatelyam-zagryazneniya-atmosfernogo-vozduha-i-izmeneniya-zdorovya> (дата обращения: 20.05.2024).

22. Пузырев В. Г., Щерба Е. В., Васильева И. В., Бондаренко В. В. Гигиеническая оценка атмосферного воздуха и его влияние на здоровье

детского и подросткового населения Санкт-Петербурга // Медицина и организация здравоохранения. 2019. №4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/gigienicheskaya-otsenka-atmosfernogo-vozduha-i-ego-vliyanie-na-zdorovie-detskogo-i-podrostkovogo-naseleniya-sankt-peterburga> (дата обращения: 21.05.2024).

23. Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Валиев В.С., Григорьева И.Г., Кузнецова О.Н. Разработка моделей прогноза концентраций примесей в приземном слое атмосферного воздуха на основании значимых метеорологических параметров // Вестник Казанского технологического университета. 2016. №22. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-modeley-prognoza-kontsentratsiy-primesey-v-prizemnom-sloe-atmosfernogo-vozduha-na-osnovanii-znachimyh-meteorologicheskikh> (дата обращения: 29.05.2024).