



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: «Мониторинг загрязнения воздуха на юге Санкт-Петербурга»

Исполнитель Петрожицкий Артём Анатольевич
(фамилия, имя, отчество)

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

Симакина Татьяна Евгеньевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой


(подпись)

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

Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

«11» июня 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

Содержание

Введение.....	3
1. Общая характеристика мониторинга загрязнения окружающей среды.....	5
1.1 Мониторинг окружающей среды.....	5
1.1.1 Основы экологического мониторинга.....	5
1.1.2 Мониторинг атмосферы.....	7
1.2 Загрязняющие вещества.....	9
1.2.1 Загрязняющие вещества в городском воздухе.....	9
1.2.2 ПДК. Классы опасности.....	17
1.2.3 Влияние метеорологических условий на загрязнение воздуха.....	20
2. Исходные данные и методика исследования.....	25
2.1 Климатическая и физико-топографическая характеристика района исследования.....	25
2.2 Экологические станции: местоположение, состав.....	28
2.3 Формирование базы данных наблюдений	33
2.4 Статистика данных наблюдений.....	35
2.5 Показатель загрязнения воздуха.....	42
3. Результаты и анализ данных.....	44
3.1. Обнаружение эпизодов повышения уровня загрязнения в теплый период.....	44
3.2. Распределение показателя загрязнителей воздуха на юге Санкт- Петербурга.....	44
3.3. Выявление комплекса неблагоприятных погодных условий	49
3.3.1 Идентификация синоптической ситуации во время выявленных эпизодов.....	49
3.3.2 Анализ температурных инверсий во время выявленных эпизодов.....	51
3.4. Рекомендации по улучшению экологической ситуации на юге города...	53
Заключение.....	55
Список использованных источников.....	56

Введение

Значимость вопроса о загрязнении атмосферы в наше время не может быть преуменьшена. Падение качества атмосферного воздуха оказывает непосредственное воздействие на здоровье людей, состояние экосистем и глобальный климат. Мониторинг за уровнем загрязнения воздуха представляет собой важную часть системы экологического контроля, так как он позволяет своевременно выявлять изменения в составе атмосферы и предпринимать необходимые меры для предотвращения негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения.

Особенно важно изучение и контроль за качеством воздуха в городских районах, таких как юг Санкт-Петербурга. За последние два столетия антропогенное воздействие привело к увеличению уровня углекислого газа в атмосфере на 30%. Несмотря на это, продолжается интенсивное использование ископаемых видов топлива и вырубка лесов, что усугубляет глобальные экологические проблемы. Атмосферное загрязнение также возникает в результате других человеческих действий. Например, при сжигании топлива на теплоэлектростанциях в воздух выбрасывается двуокись серы, автомобильные выхлопы содержат оксиды азота, а неполное сгорание топлива приводит к образованию угарного газа. Также важно учитывать присутствие мелкодисперсных твердых частиц, таких как сажа и пыль.

С каждым днем городская среда становится все более наполненной токсичными веществами, которые негативно влияют на здоровье людей и окружающую природу. Поэтому контроль за уровнем загрязнения воздуха в городе является неотъемлемой частью обеспечения здоровья граждан и сохранения экологического баланса. В данном исследовании мы обратимся к методам мониторинга загрязнения воздуха на южной территории города с целью выявления основных источников загрязнения и разработки рекомендаций по его снижению.

Южная часть Санкт-Петербурга, характеризующаяся высокой плотностью населения и интенсивной промышленной деятельностью, сталкивается с серьезными проблемами загрязнения воздуха. Здесь сосредоточено большое количество автомобильных дорог и промышленных предприятий, которые являются основными источниками выбросов вредных веществ. Поэтому мониторинг качества воздуха в этом регионе приобретает особую важность, так как он позволяет оценить реальную экологическую обстановку и разработать эффективные меры по улучшению условий жизни горожан.

Цель исследования:

- Локализация мест наибольшего загрязнения воздуха в Южной части Санкт-Петербурга с мая по август;
- Анализ метеорологических условий, которые способствуют усилению загрязнения воздуха;
- Разработка и предложение набора мероприятий для снижения уровня загрязнения воздуха и предотвращения возникновения критических уровней загрязняющих веществ.

1. Общая характеристика мониторинга загрязнения окружающей среды

1.1. Мониторинг окружающей среды

1.1.1. Основы экологического мониторинга

Экологический мониторинг — это процесс систематического и непрерывного отслеживания экологической обстановки, который обеспечивает возможность оценки ее нынешнего и прошлого состояния, а также предсказания будущих изменений. Эти вопросы крайне важны и остаются на повестке дня как для правительственных структур, так и для населения.

Термин "мониторинг" впервые применили в экологическом контексте в преддверии Стокгольмской конференции ООН в 1972 году, и он означает непрерывное наблюдение, измерение и анализ экологического состояния. Этот термин произошел от английского "monitoring" (наблюдение) и латинского "monitor" (предупреждающий, напоминающий).

Сегодня мониторинг стал ключевым элементом экологической политики, позволяя собирать данные о состоянии атмосферы, водоемов, почвы и других аспектов природы. Он способствует выявлению экологически опасных участков и разработке стратегий по их устранению, защищая окружающую среду и здоровье населения. Необходимо подчеркнуть, что для достижения результативности в управлении экологическими рисками, мониторинг должен осуществляться регулярно. В России одним из пионеров в разработке теории экологического мониторинга был Ю.А.Израэль. На иллюстрации 1.1 представлена блок-схема процесса мониторинга.

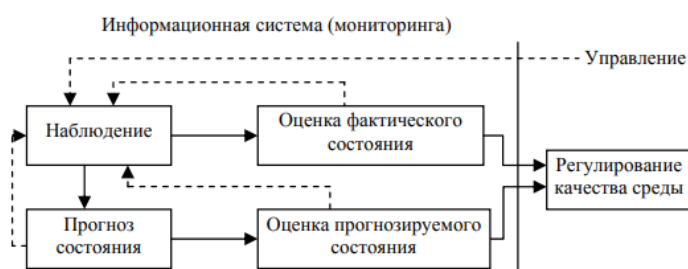


Рисунок 1.1 Блок-схема системы мониторинга

Системы отслеживания экологической обстановки классифицируются на основе множества аспектов, в том числе:

- Объем территориального охвата;
- Объект исследования (как, например, атмосфера, водные объекты, почва, растительный и животный мир, геологическая среда,

разнообразие биологических видов в охраняемых районах и здоровье людей);

- Используемые техники (включая непосредственные измерения при помощи устройств, а также косвенные методы, такие как дистанционное зондирование, применение индикаторов, опросы и систематические записи);
- Тип влияния (охватывающий геофизические, биологические, медико-географические, социально-экономические и общественные аспекты);
- Задачи мониторинга (включают наблюдение за текущим состоянием окружающей среды, исследование процессов, составление краткосрочных прогнозов, повышение экономической результативности исследований и прогнозов, контроль за воздействием на природу и прочее).

Системы мониторинга отличаются по подходам к сбору и обработке информации и могут:

1. Глобальными, охватывающими мониторинг биосферных процессов и предсказание глобальных изменений.
2. Национальными, проводимыми на уровне государства специализированными учреждениями.
3. Региональными, фокусирующимися на территориях с уникальными природными процессами или особенностями, связанными с деятельностью человека.
4. Локальными, ориентированными на наблюдение за районами с центрами загрязнения, которые могут представлять опасность для экологических систем и здоровья людей.

Исследование глобальных систем экологического контроля систем является критически важным, учитывая способность загрязняющих веществ к дальнему переносу — на сотни и даже тысячи километров через атмосферу. Эти вещества мигрируют из зон с высокими уровнями загрязнения в менее загрязненные районы. В 1979 году был заключен международный договор, признающий и регулирующий трансграничный перенос загрязнителей.

Также стоит подчеркнуть значимость фоновый мониторинга. Он направлен на отслеживание состояния экосистем и природных процессов в местах, не затронутых антропогенным воздействием. Фоновый мониторинг необходим для понимания первозданного состояния природы, хотя и не способен дать полную картину из-за влияния загрязнения. Для его проведения

выбираются участки, удаленные от промышленных объектов, такие как биосферные резерваты.

Следует заметить, что развитие систем мониторинга для различных аспектов окружающей среды происходит неравномерно. Наиболее продвинутыми являются системы мониторинга качества атмосферного воздуха, которые учитывают дальний перенос загрязнителей.

1.1.2 Мониторинг атмосферы

Система мониторинга качества атмосферы включает в себя отслеживание уровней загрязнения, состояния атмосферы и различных природных явлений, а также оценку и прогнозирование изменений в атмосфере.

Измерения качества воздуха осуществляются как в зонах с высоким уровнем антропогенного воздействия, так и в местах, удаленных от источников загрязнения, известных как фоновые станции. Основная задача этих наблюдений — определение источников загрязнения, оценка степени загрязнения и прогнозирование его развития.

В процессе мониторинга применяются стационарные пункты наблюдения. Иллюстрация 1.2 демонстрирует автоматизированную станцию для мониторинга в качестве примера.



Рисунок 1.2 - Автоматизированная станция для контроля загрязнения атмосферы

Для изучения состояния воздуха в местах с выбросами дыма и газов применяются передвижные станции мониторинга, что позволяет оценить степень их влияния на уровень загрязнения воздуха. Эти станции, перемещаясь по разным местам, обеспечивают широкий охват территорий,

что способствует получению обширных данных о качестве воздуха. Они могут быть размещены на различных транспортных средствах, включая автомобили, велосипеды и даже беспилотники. На иллюстрации 1.3 представлен пример такой мобильной станции.

Вне зависимости от их типа, станции должны располагаться на открытых, хорошо вентилируемых местах с подходящей поверхностью, не влияющей на точность измерений, например, на асфальте, укатанной земле или на газоне.

Количество станций зависит от количества людей, проживающих в данном регионе. В городах с численностью от 200 до 500 тысяч жителей рекомендуется установка от 3 до 5 станций, тогда как в мегаполисах с населением свыше миллиона — от 10 до 20. Мониторинг может проводиться непрерывно с помощью автоматических анализаторов или в определенные часы — в 1, 7, 13 и 19 часов по местному времени.



Рисунок 1.3 - Передвижная лаборатория экологического контроля

Составление списка контролируемых веществ имеет практическое значение. Этот список создается на основе данных о числе источников выбросов, типах и свойствах загрязнителей, а также о метеорологических условиях, влияющих на их распределение. Такой перечень необходим для

точного определения уровня загрязнения воздуха на основе систематических измерений.

В Санкт-Петербурге систематически выполняются работы по измерению уровня загрязнения атмосферы на специализированных станциях наблюдения (ПНЗ), которые расположены в различных частях города. Эти станции функционируют в соответствии с нормативами, установленными документом РД 52.04.186-89, и на них регулярно собирают пробы воздуха для определения содержания взвешенных частиц, SO₂, CO, NO_x, фенолов, H₂S, NH₃, HCl, формальдегида, бенз(а)пирена, а также ароматических углеводородов, включая бензол, ксилолы, толуол и этилбензол. Выбор контролируемых веществ основывается на данных о численности источников выбросов, свойствах загрязнителей и метеорологических условиях распространения. Такой подход обеспечивает точность оценок степени загрязнения воздуха.

В разных городах обязательный мониторинг загрязнения воздуха осуществляется в соответствии с перечнем веществ, выбранным с учетом местных особенностей. В городах с численностью населения свыше 700 тысяч контролируются растворимые сульфаты, в городах с более чем 500 тысячами жителей — формальдегид и свинцовые соединения, а также бенз(а)пирен в городах с населением свыше 100 тысяч. В местах с металлургическими предприятиями анализируются металлы, а в районах, прилегающих к сельскохозяйственным угодьям, — пестициды. В малых населенных пунктах, где наблюдения проводятся периодически, количество исследований для каждого загрязнителя должно составлять не менее 200 в течение периода мониторинга.

Аэрокосмическая съемка — это эффективный метод для выявления и анализа источников загрязнения атмосферы. Она позволяет не только выявлять основные источники выбросов, но и измерять уровни аэрозолей и химических соединений, таких как оксид углерода, диоксид серы и оксид азота. Аэрокосмическая съемка также способствует определению зон загрязнения на региональном и глобальном уровнях, что особенно важно для крупных городов, где необходимо проводить регулярный контроль за состоянием атмосферного воздуха.

1.2 Загрязнители

1.2.1 Загрязнители в городской атмосфере

Оксид углерода (CO):

Этот бесцветный, не имеющий запаха газ слабо поглощается активированным углем. При горении CO излучает синее пламя и превращается в углекислый газ (CO_2), выделяя энергию в виде тепла. Основной причиной образования CO является неполное сгорание органических видов топлива, таких как древесина, уголь, бумага, масла и бензин, особенно при недостатке кислорода.

Концентрация CO в атмосфере варьируется от 0,01 до 0,9 мг/м³, при этом в северном полушарии она в три раза выше. Примерно 90% CO в атмосфере возникает из-за естественных источников, включая вулканическую и болотную активность, лесные и степные пожары, а также деятельность растений и животных и окисление метана в тропосфере. Человеческая деятельность, такая как использование различных видов транспорта, аварии на газопроводах, металлургические процессы, химическая и угольная промышленность, курение, питание, ксерокопирование, переработка отходов и бытовое сжигание топлива, добавляет сотни миллионов тонн CO в атмосферу каждый год.

Воздействие CO может быть опасным, и его последствия зависят от концентрации газа, продолжительности воздействия, а также от индивидуальных особенностей здоровья человека, включая наличие хронических заболеваний и интенсивность дыхания. К группам риска относятся беременные женщины, курильщики, люди с активной легочной деятельностью, такие как дети и подростки, люди, выполняющие тяжелую физическую работу или работающие в условиях высоких температур, а также лица с сердечно-сосудистыми заболеваниями, гипоксией, анемией и гипертиреозом. Мужчины более подвержены отравлению CO, чем женщины.

Легкие случаи отравления CO могут проходить без потери сознания, сопровождаясь сонливостью, тошнотой и рвотой. Средняя степень отравления характеризуется временной потерей сознания, общей слабостью, возможной амнезией, двигательными расстройствами и судорогами. Тяжелые случаи

включают длительную потерю сознания, судороги, непроизвольное мочеиспускание и дефекацию [1].

Первые симптомы отравления могут возникнуть в течение 5–10 минут при вдыхании концентраций до 1000 мг/м³ [1] и включать чувство давления в голове, головную боль, головокружение, слабость, страх, жажду, одышку, пульсацию в висках, тошноту и рвоту. Долгосрочные последствия острого отравления могут включать хронические головные боли, головокружение, обмороки, энцефалопатии, редко психозы и паркинсонизм, а также постоянные нарушения функций кишечника и мочевого пузыря, расстройства периферической нервной системы, снижение зрения и слуха, нарушения функции вестибулярного аппарата, трофические расстройства кожи, ногтей и волос, поражение органов дыхания, мышц и суставов, нарушение работы сердца, поражение печени, надпочечников и почек, а также уменьшение иммунитета.

Диоксид азота (NO₂)

Этот газ имеет желто-коричневый цвет и резкий запах, который может мешать нормальному дыханию. В холодных условиях NO₂ становится бесцветным. При температуре выше 150°C NO₂ распадается на окись азота и кислород. Газ не поддерживает горение, но может усилить пламя других материалов и при высоких концентрациях в воздухе способен вызвать взрыв. NO₂ активно взаимодействует с неметаллами, выступая окислителем, и при контакте с водой превращается в азотную кислоту, а в щелочной среде — в нитраты и нитриты [2].

Диоксид азота производят путем воздействия концентрированной азотной кислоты на медь или термического разложения нитрата свинца. Он используется в производстве серной и азотной кислот, как окислитель в жидком ракетном топливе и взрывчатых веществах, для очистки нефтепродуктов от сераорганических соединений и в качестве катализатора в процессах окисления органических соединений.

Воздействие диоксида азота на человеческий организм может быть опасным, поскольку NO_2 является высокотоксичным веществом [2]. Основной удар приходится на дыхательную систему, начиная от легкого раздражения слизистых и заканчивая отеком легких. Также NO_2 может вызывать изменения в составе крови, включая снижение уровня гемоглобина.

Даже небольшие концентрации диоксида азота могут привести к проблемам с дыханием и отеку легких. Взаимодействие азотистой кислоты с влагой в дыхательных путях может привести к подавлению центральной нервной системы, образованию метгемоглобина, увеличению кровеносных сосудов и снижению артериального давления. Длительное воздействие NO_2 может вызвать хронические заболевания, такие как воспаление, бронхит, перфорация носовой перегородки, пневмосклероз и изменения слизистой оболочки десен.

Симптомы интоксикации диоксидом азота на ранних стадиях могут быть едва заметны, но при значительном попадании газа в организм появляются головная боль, слабость, кашель, боль в груди, спазмы мышц и судороги, замедленная реакция, нарушение координации и речи, галлюцинации, головокружение и тахикардия. Осложнения интоксикации могут включать высокую температуру, одышку, рвоту, тошноту, усиление боли в груди, ощущение сдавливания в голове, влажный кашель с пенистой мокротой, содержащей кровь, нарушение дыхания и сердечного ритма, отек легких и обморок [2].

Диоксид серы

Диоксид серы (SO_2) представляет собой бесцветный газ с острым и неприятным ароматом, напоминающим запах горелых спичек. Его плотность превышает плотность воздуха в 2,5 раза. Газ не поддерживает горение. При давлении и температуре около 10°C SO_2 способен перейти в жидкое состояние. Он растворяется в воде, этиловом алкоголе и серной кислоте и является одним из основных ингредиентов, содержащихся в вулканических испарениях. [3].

Применение диоксида серы.

Диоксид серы (SO₂) играет ключевую роль в производстве серной кислоты и находит широкое применение не только в химической промышленности, но и в других секторах экономики. В пищевой промышленности SO₂ используется как консервант (Е-220), особенно в производстве слабоалкогольных напитков, и выступает в качестве эффективного антибактериального средства.

Отравление диоксидом серы может произойти в следующих случаях:

- При вдыхании токсичных паров во время горения содержащих серу смесей;
- Во время обработки садов и огородов инсектицидами, содержащими серу;
- При нарушении правил безопасности или в случае аварий на производственных объектах.

Диоксид серы (SO₂) является высокотоксичным веществом, вызывающим раздражение дыхательных путей и слизистых оболочек. Малые дозы этого газа в атмосфере могут привести к раздражению глаз, затруднению дыхания, покраснению слизистых, чувству першения в горле, насморку, кашлю и осиплости голоса. При повышении концентрации SO₂ увеличивается риск воспалительных процессов и ожогов в области носоглотки, глаз, бронхов и трахеи.

Ингаляция высоких уровней SO₂ может спровоцировать спазм голосовых связок, что вызывает ощущение удушья. Контакт жидкого SO₂ с глазами может нанести серьезный ущерб верхним слоям роговицы, угрожая потерей зрения. При воздействии на кожу, пораженные участки могут сначала побледнеть, а затем появляются покраснение и волдыри [3].

СН

СН относится к новому классу аллогенов, раздражающих агентов, которые вызывают сильную болевую реакцию при контакте с кожей или слизистыми оболочками, будь то в жидком или газообразном состоянии.

Особенностью алкогенов является их способность поражать даже тех, кто защищен противогазами. Пары СН оказывают воздействие не только на незащищенные участки тела, но также могут проникать сквозь ткани одежды, вызывая сильную боль, при этом не приводя к ожогам кожи [4].

Воздействие на человека:

Когда пары или раствор СН соприкасаются с кожей, человек испытывает интенсивную боль и красноту, но без образования волдырей. Боль настолько сильная, что человек не может её терпеть более нескольких минут и стремится немедленно покинуть зону воздействия. Жжение в глазах и слезотечение начинаются спустя примерно 40 секунд. Если человек использует противогаз, то воздействие СН проявляется позже: через 15 минут после воздействия паров появляется сильное жжение кожи под одеждой, особенно в области подмышек, в паху и на потных участках. Через 20 минут боль становится невыносимой.

На открытом воздухе слезотечение прекращается в течение нескольких минут, боль уменьшается через 15–20 минут, и краснота кожи исчезает в течение часа. [4].

Сажа

Сажа (С) представляет собой твердые частицы, которые образуются в результате не полного сгорания органических материалов. Эти частицы переносит дым и они оседают на различных поверхностях, формируя темный слой, известный как копоть. Сажа состоит из аморфного углерода, смешанного с зольными частицами, жидкими продуктами дистилляции топлива и влагой. Размер частиц, их внешний вид, теплотворная способность, способность отражать свет и другие характеристики сажи зависят от типа использованного топлива и условий его горения [5].

Формальдегид

Формальдегид обычно существует в виде газа, однако он также присутствует в атмосфере, где образуется в результате фотохимических процессов и трансформации органических соединений, таких как метан и

метиловый спирт. Деятельность человека, включая работу автомобилей, химических заводов, установок для сжигания отходов и деревообрабатывающих предприятий, способствует значительному выбросу формальдегида в воздух [6].

Формальдегид в атмосфере особенно опасен для слизистых оболочек и кожи, вызывая раздражение, зуд и сыпь. Распространенные симптомы воздействия формальдегида, включая те, что исходят от мебели и других предметов, охватывают усталость, головные боли и нарушения сна. Также могут возникать регулярные воспаления глаз и кожные реакции. Поскольку формальдегид классифицирован как канцероген, постоянное воздействие этого вещества значительно повышает риск развития рака. [6].

Бензпирен

Бенз(а)пирен, который также можно встретить в литературе как бензпирен или 3,4-бензпирен [7], классифицируется как вещество первого класса опасности из-за его способности вызывать рак.

Этот канцероген выделяется в ходе процессов сгорания, характерных для энергетических станций, котельных и алюминиевых заводов, а также на свалках, где происходит горение [8].

Бензапирен формируется при сжигании топлива в автомобильных двигателях, что делает автотранспорт значительным источником данного загрязнителя, особенно в крупных городских агломерациях, где он становится основной причиной ухудшения качества воздуха.

Бензпирен привлекает особое внимание среди других канцерогенов по двум ключевым причинам. Во-первых, он имеет способность накапливаться в организме человека, что означает, что даже регулярное воздействие малых доз может привести к высокой концентрации в теле. Во-вторых, бензпирен растворяется в жирах, что позволяет ему легко поглощаться жировыми тканями. Эти характеристики, в сочетании с его широким распространением, делают его одним из наиболее часто встречающихся экотоксинов.

Взвешенные частицы PM10

Термин "взвешенные частицы" используется в метеорологии и атмосферной физике для обозначения твердых частиц, находящихся в воздушной среде. Аббревиатура РМ, обозначающая эти частицы, происходит от английского выражения Particulate Matter. РМ10 обозначает частицы с диаметром до 10 микрометров [8].

Состав этих твердых частиц может включать сажу, а также соединения серы и свинца. Химический состав мелкодисперсной пыли в атмосфере крупных городов варьируется в зависимости от множества факторов, включая расположение дорог, строительных площадок и производств.

Воздействие на здоровье человека

Твердые частицы РМ являются важным индикатором загрязнения воздуха, которое может быть вызвано различными естественными и антропогенными источниками. Из-за способности этих частиц длительное время находиться в воздухе и перемещаться на большие расстояния, они могут стать причиной множества заболеваний, сокращающих продолжительность жизни. Размер частиц напрямую связан с их способностью наносить вред здоровью. К мелким частицам относятся частицы с диаметром от 2,5 до 10 микрометров, а также частицы размером менее 2,5 микрометров. Сложность определения воздействия отдельных источников РМ, таких как дальний перенос загрязнений, делает важным понимание их влияния на здоровье. В статье представлен обзор основных данных о воздействии твердых частиц на здоровье, а также проведен анализ последствий для регулирующих органов, что позволяет разрабатывать более строгие стратегии по снижению уровня загрязнения воздуха и его воздействия на здоровье.

Факторы, влияющие на последствия воздействия тонкодисперсных частиц, включают [8]:

- Химический состав и физические свойства частиц.
- Массовую концентрацию частиц в воздухе.
- Размер частиц, при этом меньшие частицы имеют большую вероятность попадания в легкие.

- Продолжительность воздействия, которая может быть как кратковременной, так и длительной, иногда на протяжении многих лет.

Частицы могут оставаться в воздухе в течение длительного времени, не оседая до тех пор, пока не начнется дождь или снег. Износ шин автомобилей и повреждение дорожного покрытия приводят к образованию мелкой крошки, которая может подниматься в воздух. Некачественные дороги с выбоинами и неровностями способствуют дополнительному измельчению асфальта. Мелкая пыль не ограничивается только дорогами; ветер может уносить ее на большие высоты и расстояния.

1.2.1 ПДК. Классы опасности

Стандарты качества воздуха устанавливают безопасные уровни загрязняющих веществ в атмосфере, чтобы защитить здоровье людей и окружающую среду на длительный срок. В каждой стране существуют свои регламенты, регулирующие пределы концентраций вредных веществ. В России этим занимается Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). Стандарты разработаны для разнообразных загрязнителей, включая оксиды азота, серы, углерода, а также токсичные элементы, такие как свинец, кадмий и марганец. Уровень загрязнения определяется через непрерывный мониторинг, и при превышении установленных норм, регулирующие органы предпринимают меры для снижения загрязнения. Соблюдение этих стандартов необходимо для предотвращения негативного воздействия на здоровье и окружающую среду.

Нормы качества атмосферного воздуха определяются на национальном и международном уровнях и указывают максимально разрешенные концентрации вредных веществ, которые не должны угрожать здоровью населения и состоянию окружающей среды.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) определяет уровень присутствия загрязняющих веществ в воздухе, который считается безопасным для здоровья человека на протяжении всей жизни, не уменьшает трудоспособность и не ухудшает качество жизни. Этот показатель измеряется в миллиграммах на кубический метр (мг/м^3) [9].

ПДК максимально разовая (ПДКМР) представляет собой верхний предел содержания химического вещества в воздухе населенных пунктов,

допустимый для единичного воздействия. Концентрация, не превышающая этот уровень в течение 20-30 минут, не должна вызывать нежелательные рефлекторные реакции в организме.

ПДК среднесуточная (ПДКСС) обозначает средний допустимый уровень химического вещества в воздухе за одни сутки. Длительное вдыхание воздуха с такой концентрацией, даже на протяжении многих лет, не должно оказывать вредного воздействия на здоровье человека [9].

Стандарты качества воздуха Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) разработаны с целью защиты здоровья людей. Они учитывают различные временные интервалы для усреднения уровней загрязнения, что позволяет оценить воздействие загрязнителей на здоровье в краткосрочной и долгосрочной перспективе. Стандарты предусматривают, что чем выше уровень загрязнения, тем меньше должно быть время его воздействия на человека, и наоборот, при более низком уровне загрязнения возможно более продолжительное воздействие без вреда для здоровья.

Таблица 1.1. Длительность и характер воздействия различных загрязняющих веществ на человека [10].

Длительность и характер воздействия	Содержание в воздухе мг/м ³		
	CO	SO ₂	NO _x
Несколько часов без заметного действия	115	65	15
Признаки легкого отравления или раздражения слизистых оболочек через 2-3 ч.	15-575	130	20
Возможно серьезное отравление через 30 мин.	2300-3500	210-400	100
Опасно для жизни при кратковременных воздействиях.	5700	1600	150

Классы опасности

Выхлопные газы автомобильных двигателей состоят из примерно 200 различных компонентов, которые могут сохраняться в атмосфере от нескольких минут до 4-5 лет. Эти компоненты классифицируются по их химическому составу, свойствам и воздействию на человеческий организм [11]:

I группа - Нетоксичные элементы, такие как азот, кислород, водород, водяной пар и углекислый газ, являются естественными составляющими атмосферы.

II группа – Оксид углерода (CO), бесцветный и без запаха газ, легче воздуха, является результатом неполного сгорания топлива. Водители автомобилей могут столкнуться с отравлением угарным газом, при ночевках в кабине с работающим двигателем или при прогреве двигателя в закрытом гараже.

III группа: NO – оксид азота и NO₂ – диоксид азота. Это газы, образующиеся в камере сгорания двигателя при температуре 2800°C и давлении около 1 МПа. Он тяжелее воздуха, поэтому собирается в углублениях, канавах и представляет большую опасность при техническом обслуживании транспортных средств.

IV группа - углеводороды СХНУ – этан, метан, бензол, ацетилен и др. токсичные вещества. В отработавших газах содержатся углеводороды различных гомологических рядов: парафиновые (алканы), наftenовые (цикланы) и ароматические (бензольные), всего около 160 компонентов. Они образуются в результате неполного сгорания топлива в двигателе. Несгоревшие углеводороды являются одной из причин появления белого или голубого дыма. Это происходит при запаздывании воспламенения рабочей смеси в двигателе или при пониженных температурах в камере сгорания. Углеводороды под действием ультрафиолетового излучения Солнца вступают в реакцию с оксидами азота, в результате образуются новые токсичные продукты – фотооксиданты, являющиеся основой «смога».

V группа - альдегиды. В отработавших газах присутствуют в основном формальдегид, акролеин и уксусный альдегид. Наибольшее количество альдегидов образуется на режимах холостого хода и малых нагрузок, когда температуры сгорания в двигателе невысокие.

VI группа - взвешенные твердые вещества (сажа и другие дисперсные частицы (продукты износа двигателей, аэрозоли, масла, нагар и др.)), которые состоят из мелкодисперсных частиц (диаметром менее 1 мкм), способные находиться во взвешенном состоянии в течение суток. В настоящее время для очистки отработавших газов дизелей от сажевых (твердых) частиц во многих странах находят применение сажевые фильтры. VII группа - сернистые соединения – такие неорганические газы, как сернистый ангидрид, сероводород, которые появляются в составе отработавших газов двигателей. Сернистые соединения обладают резким запахом, тяжелее воздуха, растворяются в воде.

VIII группа - свинец и его соединения – встречаются в отработавших газах карбюраторных автомобилей только при использовании этилированного бензина. Бензин с добавлением этиловой жидкости становится этилированным. В состав этиловой жидкости входят тетраэтилсвинец $Pb(C_2H_5)_4$, бромистый этил (Brc_2H_5) и амонохлорнафталин, бензин Б-70, параоксидифениламин и краситель. Сгорание этилированного бензина способствует удалению свинца и его оксидов из камеры сгорания, превращая их в парообразное состояние. Они вместе с отработавшими газами выбрасываются в окружающее пространство и оседают вблизи дорог. В придорожном пространстве примерно 50 % выбросов свинца в виде микрочастиц сразу распределяются на прилегающей поверхности. Остальное количество в течение нескольких часов находится в воздухе в виде аэрозолей, а затем также осаждается на землю вблизи дорог. Накопление свинца в придорожной полосе приводит к загрязнению экосистем и делает близлежащие почвы непригодными к сельскохозяйственному использованию.

1.2.2 Влияние метеорологических условий на загрязнение воздуха

В современной научной практике активно проводятся экспериментальные и теоретические исследования, направленные на изучение процессов дисперсии вредных выбросов, исходящих от разнообразных источников. Одним из ключевых факторов, способствующих формированию высоких уровней концентрации 15 видов загрязнителей, является вектор и скорость ветра, направленного от места выброса к точке мониторинга. Прямое влияние на концентрацию опасных веществ оказывает интенсивность турбулентности в атмосфере. Высокий уровень турбулентного обмена способствует увеличению концентраций вредных компонентов, особенно учитывая, что многие из них происходят от стационарных источников, характеризующихся выбросами через высокие дымовые трубы. Ещё одним фактором, который может привести к максимальным концентрациям загрязняющих веществ, служит наличие повышенной инверсии в атмосфере [12].

Источники загрязнения городов подразделены по следующим показателям:

- Природные - представлены природными процессами и явлениями. К загрязняющим веществам относят: пыль растительного, животного и вулканического происхождения, частицы морской соли, дым и газ от лесных пожаров.

- Антропогенные - подразделяются на транспортные (автотранспорт, железнодорожный, речной, морской и воздушный транспорт), производственные (различные промышленные процессы), бытовые (котельные, предприятия по утилизации и переработке бытовых отходов). Так как городская территория обладает характерной шероховатостью подстилающей поверхности, то в этом случае будет иметь место развитый турбулентный обмен в приземном слое, который может быть усилен из-за определенных локальных условий, например, под влиянием острова тепла или разрушения нижней части приземной инверсии. В совокупности все эти условия приводят к опасному загрязнению городского атмосферного воздуха.

Учитывая, что метеорологические условия являются причиной данных явлений, возможно составление прогнозов о степени загрязнения атмосферы на основе синоптического анализа. Прогнозирование уровня атмосферного загрязнения требует детального рассмотрения каждой синоптической ситуации. Обычно, увеличение уровня загрязнения ассоциируется с присутствием антициклонов, но на самом деле, на концентрацию загрязняющих веществ воздействует стабильное барическое поле без градиента, а не циркуляция внутри антициклона. При этом, интенсивное загрязнение не всегда происходит на периферии антициклона. Следовательно, для оценки влияния синоптических условий на уровень загрязнения используют классификацию синоптических ситуаций [13]:

- Тип А. Это безградиентное барическое поле, которое образуется в антициклонах – в центре, на оси гребней и в зонах барических седловин. Для данного типа характерны безветренная погода, а также устойчивая стратификация атмосферы при отсутствии поступления солнечной радиации в виде прогрева вследствие чего образуются приземные инверсии.

- Тип П. Это промежуточное поле, которое характерно при наличии направленного барического градиента. Располагается в местах между барическими образованиями, либо на периферии. Для этого типа характерно сохранение направление вектора ветра.

- Тип Ц. В данном случае мы имеем циклон, что характерно для появления сильного ветра, осадков и пасмурной погоды. Для исследования при таких условиях рассматривают переднюю часть циклона, тыл циклона, теплый сектор, а также холодную северную часть. В настоящее время, при выполнении анализа синоптических условий, исходя из распределения по территории при загрязнении атмосферы, определены ключевые факторы на её состояние:

- Малоподвижная скорость фронтов, в первую очередь теплых фронтов и фронтов окклюзии. Это напрямую связано с образованием приподнятой инверсии температуры в зоне фронта, что в дальнейшем формирует вдоль линии фронта область высокого уровня загрязнения.

- Инерционный фактор экстремально высоких загрязнений атмосферного воздуха, который может затрагивать, как и отдельный район исследования, так и охватывать различные территории, который будет показывать вероятность значений по интегральным показателям.

Анализируя установленные закономерности, можно провести исследование факторов, способствующих формированию высоких концентраций вредных веществ в атмосфере. Используя методику частотного анализа, сначала отбираются все эпизоды повышенного уровня загрязнения, затем выделяются синоптические ситуации, при которых происходили эти явления [13. 14]. После этого анализируются все случаи на основе обширного массива данных, что позволяет уточнить ситуации, включая те, где наблюдались минимальные концентрации вредных примесей. Это позволяет выявить различия между ситуациями, близкими к созданию неблагоприятных условий, и теми, где уровень загрязнения был незначительным.

На основе этого анализа делается вывод о том, какие синоптические условия способствуют увеличению загрязнения атмосферного воздуха. Изучение долгосрочных данных и погодной информации позволяет выделить следующие синоптические факторы, влияющие на формирование высоких концентраций загрязнителей: [13. 14]:

- Расположение малоподвижного атмосферного фронта в области высокого давления, а также его расположение параллельно или под небольшим углом относительно изобар. Это характерно относительно времени года: для теплого на восточной периферии антициклона, а для холодного – на западной или северо-западной периферии.

- Антициклон или гребень располагаются непосредственно в теплой воздушной массе.

- Образование инверсионного слоя на нижнем километровом уровне в области высокого давления, чему способствует натекание теплого воздуха на холодный у земли (ниже -15 0C), что характерно для холодного времени года.

- Распространение глубокого циклона на западную, северо-западную и северную периферию антициклона в данном районе исследования.

- Распространение гребня сибирского антициклона на районы, которые находились в предыдущий день под влиянием западной или северо-западной периферией другого антициклона. Такой гребень сохраняется более 2 суток.

- Распространение гребня антициклона на район, где наблюдался высокий уровень загрязнения в области периферии области низкого давления.

- Зона высокого давления распространяется в область теплого сектора циклона, при сохранении тепла.

- Расположение малоподвижного атмосферного фронта в области южной, юго-восточной или восточной периферии глубокого циклона, а также его расположение параллельно или под небольшим углом относительно изобар.

- Распространение южной, юго-восточной или восточной периферии циклона на район, где наблюдался высокий уровень загрязнения в области антициклона. Приведенные синоптические ситуации в основном характерны для европейской части России и Урала, поэтому для рассмотрения отдельных регионов необходимо проводить отдельные разработки для анализа и прогнозирования состояния атмосферы на загрязнение.

Метеорологические условия оказывают существенное воздействие на уровень атмосферного загрязнения, влияя на процессы переноса, осаждения и дисперсии загрязнителей. Кроме того, они играют роль в непрерывных окислительно-восстановительных фотохимических реакциях, которые способствуют формированию новых химических соединений и влияют на дальнейшие превращения. Совокупность этих факторов, приводящая к скоплению примесей, определяется как потенциал загрязнения воздуха, в то время как их способность к рассеиванию определяет очищающую способность атмосферы.

Изучение климатологических данных сети мониторинга позволило выявить характеристики потенциала загрязнения воздуха. Карта, представленная на рисунке 1, иллюстрирует распределение этого потенциала. Эта информация применяется в соответствии с нормативными актами, учитывая климатические особенности региона при проектировании промышленных объектов [15].

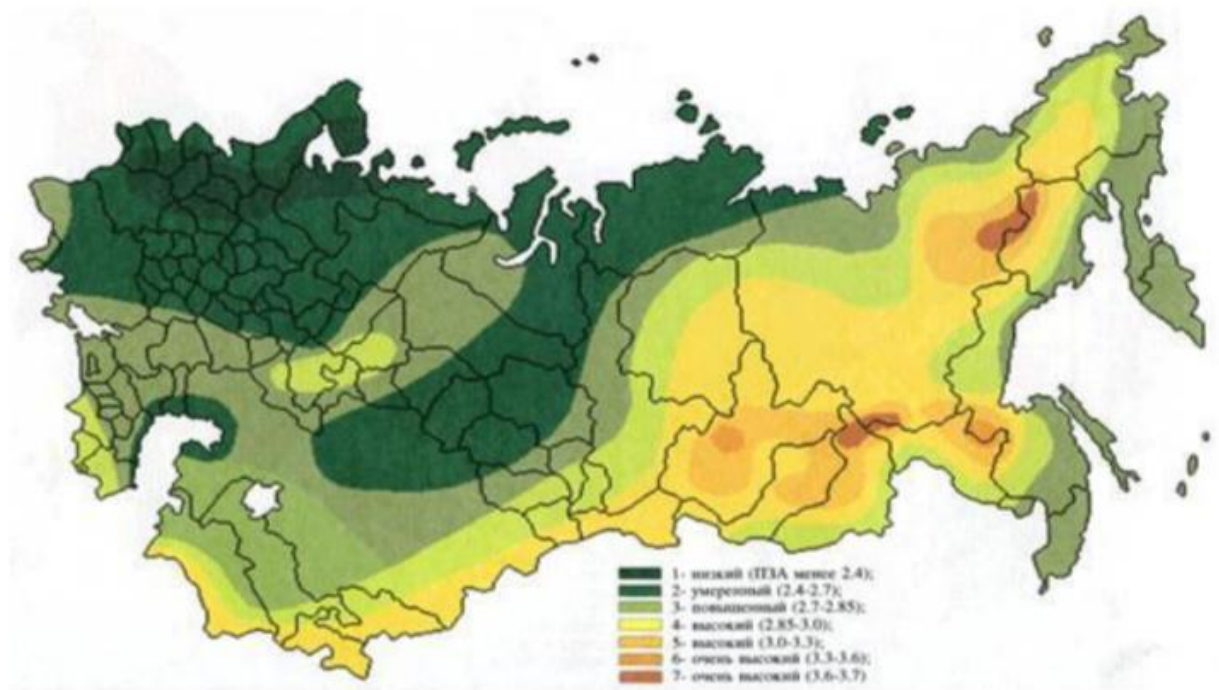


Рисунок 1.4. Карта распределения потенциала загрязнения атмосферы

Ввиду обширности территории России, наблюдаются разнообразные климатические условия, которые влияют на распределение и разбавление загрязняющих веществ. Это, в свою очередь, позволяет оценить уровень загрязнения в городских районах и частоту случаев, когда уровень загрязнения возрастает.

Карта демонстрирует пять зон с различным потенциалом рассеивания загрязнителей:

- Низкий потенциал (Северо-запад Европейской части России);
- Умеренный потенциал (Европейская часть России и Западная Сибирь);
- Повышенный потенциал (Западная Сибирь, Поволжье и Кавказ);
- Высокий потенциал (Восточная Сибирь);
- Очень высокий потенциал (Восточная часть Восточной Сибири и запад Дальнего Востока).

Эти условия приводят к тому, что при одинаковом количестве выбросов в атмосферу уровни загрязнения могут существенно отличаться. Это помогает понять, почему воздух в Европейской части России более чистый по сравнению с Азиатской частью, где на уровень загрязнения влияет стагнация воздуха и отсутствие сильных ветров. Однако, несмотря на это, современные требования экологического мониторинга зачастую игнорируются при строительстве новых предприятий в целях экономической эффективности [15, 16].

2. Исходные данные и методика исследования

2.1 Климатическая и физико-топографическая характеристика района исследования

Климат умеренный, переходный от умеренно континентального к умеренно морскому. Такой тип климата объясняется географическим положением и атмосферной циркуляцией, характерной для Санкт-Петербурга. Это обуславливается сравнительно небольшим количеством поступающего на земную поверхность и в атмосферу солнечного тепла. Климат этого региона согласно классификации Кёппена относится к типу влажного континентального. Воздействие циклонов с Балтийского моря обуславливает мягкое и влажное лето с короткой продолжительностью и затяжную, прохладную и влажную зиму.

Общее количество солнечной энергии, получаемой этим регионом, на 50% меньше по сравнению с югом Украины и в два раза меньше, чем в Центральной Азии. В течение года здесь в среднем насчитывается 62 ясных дня, что означает, что большую часть времени преобладают облачные и пасмурные дни с диффузным светом. Длительность светового дня колеблется от 5 часов 51 минуты в самый короткий день, 22 декабря, до 18 часов 50 минут в самый длинный день, 22 июня. В городе также известны Белые ночи, которые обычно начинаются 25—26 мая и заканчиваются 16—17 июля, когда солнце заходит за горизонт не более чем на 9 градусов, и в результате вечерние сумерки практически не различимы от утренних. Общая продолжительность Белых ночей составляет более 50 дней. Годовая амплитуда прямой солнечной радиации, достигающей горизонтальной поверхности при ясной погоде, варьируется от 25 МДж/м² в декабре до 686 МДж/м² в июне. Облачность в среднем уменьшает годовое количество солнечной радиации на 21%, а прямой солнечной радиации — на 60%. Среднегодовое количество солнечной радиации составляет 3156 МДж/м².

Также характерно частое изменение воздушных потоков, во многом определяемое циклонической активностью. Летом преобладают ветры западного и северо-западного направления, а зимой — западные и юго-западные. Метеорологические станции Санкт-Петербурга ведут записи с 1722 года. За всю историю наблюдений здесь были зафиксированы максимальная температура +37,1 °С и минимальная –35,9 °С.

Таблица 2.1. Климат Санкт-Петербурга

Климат Санкт-Петербурга (норма 1991—2020, рекорды за весь период наблюдений — с 1881 по 2021 год)

Показатель	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Год
Абсолютный максимум, °C	8,7	10,2	15,3	25,3	33,0	35,9	35,3	37,1	30,4	21,0	12,3	10,9	37,1
Средний максимум, °C	-2,5	-2,4	2,3	9,5	16,3	20,5	23,3	21,4	15,9	8,7	2,8	-0,5	9,6
Средняя температура, °C	-4,8	-5	-1	5,2	11,5	16,1	19,1	17,4	12,4	6,2	0,9	-2,5	6,3
Средний минимум, °C	-7,2	-7,6	-4	1,7	7,2	12,2	15,3	13,9	9,4	4,1	-0,9	-4,5	3,3
Абсолютный минимум, °C	-35,9	-35,2	-29,9	-21,8	-6,6	0,1	4,9	1,3	-3,1	-12,9	-22,2	-34,4	-35,9
Норма осадков, мм	46	36	36	37	47	69	84	87	57	64	56	51	670

Город находится в северо-западной части Российской Федерации, в границах Приневской низменности. Центр города имеет координаты 59°57' северной широты и 30°19' восточной долготы. Расположенный на берегу, прилегающем к устью Невы, и охватывающий множество островов дельты Невы, город простирается на 90 км с северо-запада на юго-восток. Различные районы города имеют следующие высоты над уровнем моря: центральная часть — от 1 до 5 метров, северные районы — от 5 до 30 метров, южные и юго-западные районы — от 5 до 22 метров. Высшая точка города — Дудергофские высоты, расположенные в районе Красного Села, достигающие 176 метров в высоту. В городе также находится начальная точка отсчета высот и глубин, которая служит базой для нивелирных сетей нескольких стран. До начала 20-го века меридиан, проходящий через городскую обсерваторию, использовался как начальный меридиан для определения географической долготы на картах Российской империи. Санкт-Петербург расположен во временной зоне МСК (московское время), со смещением времени относительно UTC на +3:00 часа.

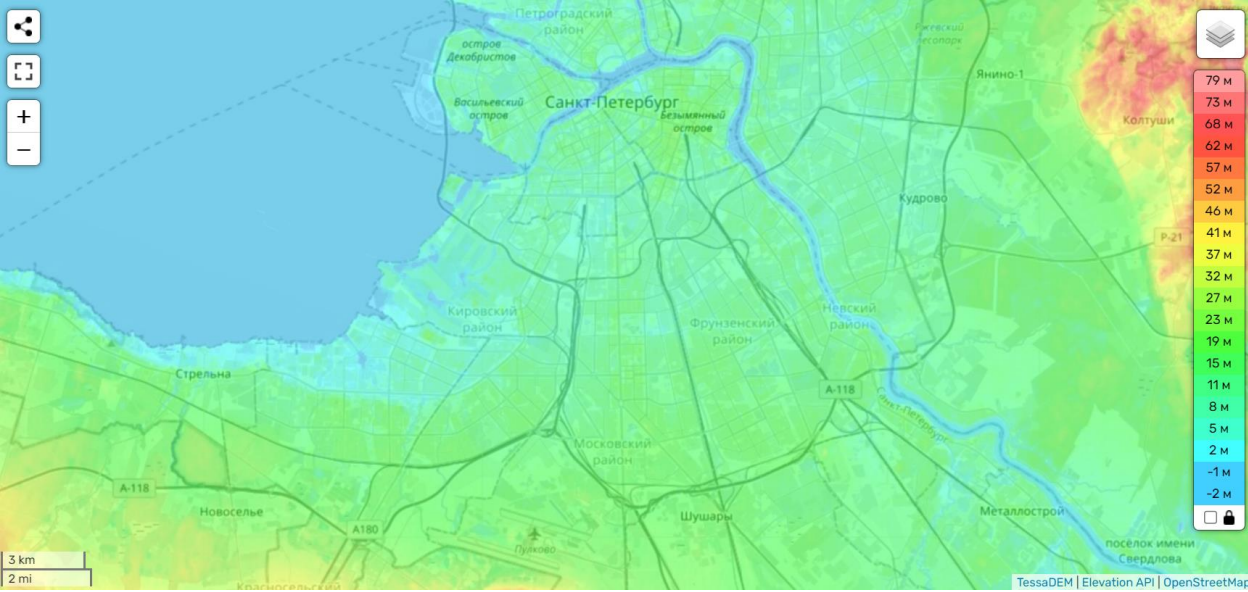


Рисунок 2.1 Топографическая карта Санкт-Петербург, высота, рельеф.

Южная часть Санкт-Петербурга характеризуется разнообразием ландшафтов и архитектурных особенностей. В этом районе города можно выделить несколько основных черт:

1. Рельеф: Южная часть Санкт-Петербурга имеет достаточно ровный рельеф без крутых возвышенностей. Однако здесь можно найти небольшие холмы и возвышенности, такие как Парк 300-летия Санкт-Петербурга или Парк Победы.
2. Водоемы: в этом районе города расположено обилие водных ресурсов, в том числе река Нева и Финский залив, а также Крестовский остров с его знаменитым Каменноостровским проспектом, не говоря уже о многочисленных каналах и прудах.
3. Парки и скверы: Южная часть города богата парками и скверами. Например, Александровский парк, Михайловский сад, Таврический сад, Биржевой сад и другие зеленые зоны создают уникальную атмосферу для отдыха и прогулок.
4. Архитектура: здесь можно увидеть разнообразные архитектурные стили — от исторических зданий в стиле петербургского барокко до современных высоток и жилых комплексов.
5. Транспортная инфраструктура: что касается транспортной сети, то южный район города отличается развитой транспортной инфраструктурой. Здесь расположено множество станций метро, автобусных остановок и трамвайных линий, что делает передвижение по городу максимально комфортным.

Таким образом, южная часть Санкт-Петербурга сочетает в себе природные красоты, архитектурные достопримечательности и развитую инфраструктуру, делая этот район привлекательным для жителей и туристов.

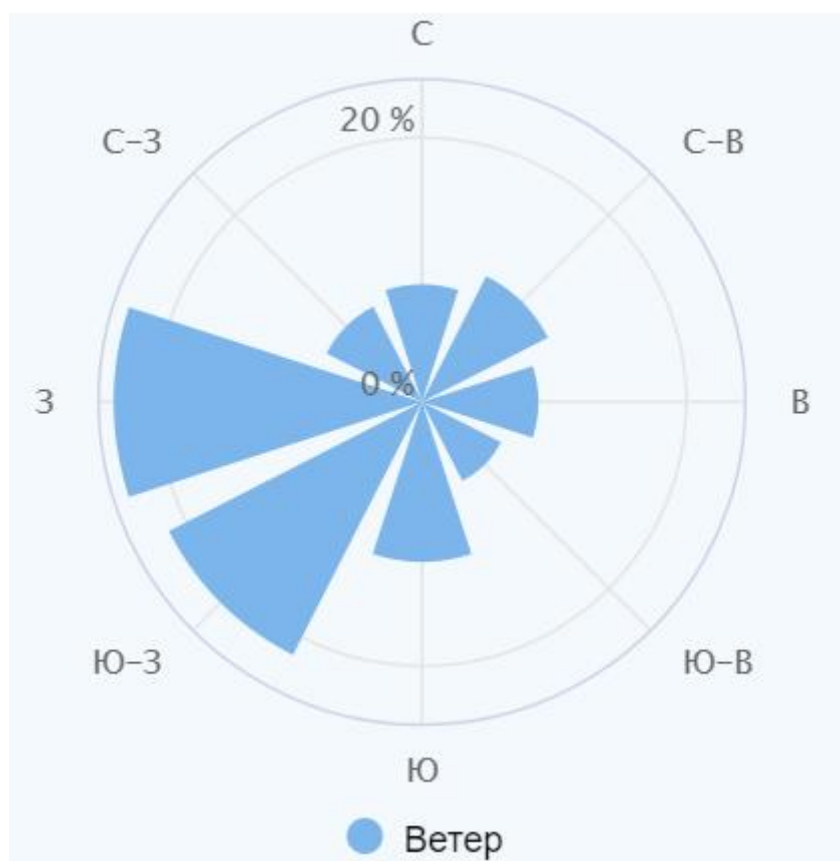


Рисунок 2.2. Роза ветров в Санкт-Петербурге

С ▼ Северный	С-В ▲ Северо-Вост...	В ◀ Восточный	Ю-В ▶ Юго-Восточный	Ю ▲ Южный	Ю-З ◀ Юго-Западный	З ▶ Западный	С-З ▲ Северо-Запа...
8.9%	10.7%	8.8%	6.7%	12.1%	21.5%	23.3%	8.1%

По данной розе ветров можно сказать, что в основном наблюдались западный и юго-западный ветер.

2.2 Экологические станции: местоположение, состав

Интегрированная государственная система контроля за качеством атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге объединяет сеть мониторинга, созданную Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, и региональную систему наблюдений, разработанную местным Комитетом.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Западное УГМС» осуществляет регулярный контроль за уровнем загрязнения воздуха на постоянных станциях мониторинга, которые размещены по всему городу. Деятельность этих станций регулируется нормативными документами, в частности Руководством РД 52.04.186-89. На станциях проводится отбор проб для анализа содержания в воздухе таких веществ, как

взвешенные частицы, диоксид и оксид серы, оксиды углерода и азота, фенол, сероводород, аммиак, хлористый водород, формальдегид, бенз(а)пирен, а также ароматические углеводороды, включая бензол, ксилолы, толуол и этилбензол.

В рамках региональной системы наблюдений, Комитет организовал автоматизированную систему мониторинга качества воздуха, состоящую из 25 автоматических станций. Эти станции распределены по 18 административным районам Санкт-Петербурга и расположены по следующим адресам: № 1 (ул. Профессора Попова, д. 48); № 2 (г. Колпино, Красная ул., д. 1А); № 3 (ул. Карбышева, д. 7); № 4 (Малая Будапештская ул., д.7 к.1); № 5 (пр. Маршала Жукова, д. 30, корп. 3); № 6 (В.О., пр. Кима, д.26, лит.А); № 7 (Кавалергардская, д.42, лит.К); № 8 (Новосельковская ул., д.23); № 9 (Малая Балканская ул., д. 54); № 10 (Московский пр., д.19); № 11 (г. Сестрорецк, ул. М. Горького, д. 2); № 12 (пер.Манежный д.14); № 13 (Индустриальный пр., д.64); № 14 (Уткин пр., д.16); № 15 (г. Кронштат, ул.Ильмянинова, д.4); № 16 (пр.Московский, д. 139, к.2, лит.А); № 17 (г.Пушкин, Тиньков пер., д.4); № 18 (ул. Ольги Форш, д. 6); № 19 (пр. Ветеранов, д.167, корп. 6, стр.1); № 20 (ул. Тельмана, д. 24); № 21 (г. Ломоносов, ул. Федюнинского, д. 3); № 22 (Канонерский остров, д.21, стр.1); № 23 (пр. Динамо, д. 44); № 24 (В.О., Средний пр., д.74); № 25 (пос. Металлострой, Железнодорожная ул., д. 13-Б).

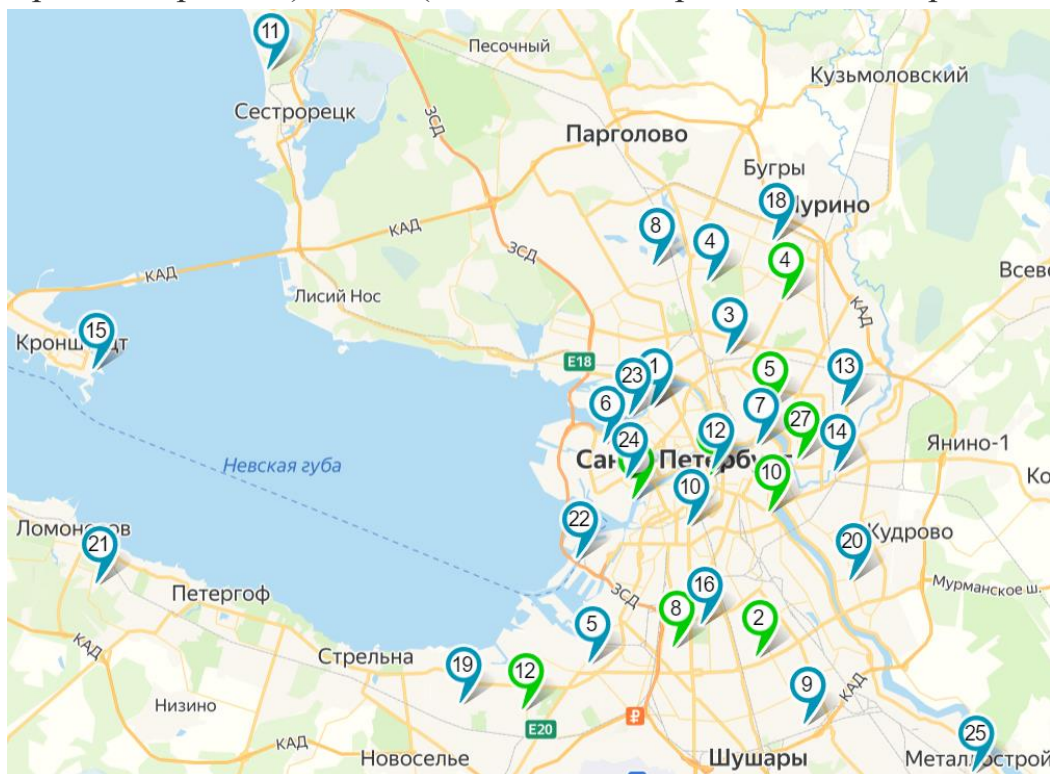


Рисунок 2.3. Местонахождение станций АСМ-АВ в Санкт-Петербурге.

Автоматические станции мониторинга непрерывно, с интервалом в 20 минут, измеряют уровни мелких взвешенных частиц с диаметром до 2,5 мкм (PM_{2,5}) и до 10 мкм (PM₁₀), а также концентрации диоксида серы (SO₂), оксида углерода (CO), диоксида азота (NO₂), оксида азота (NO) и озона (O₃). Станции, оснащённые автоматизированными хроматографами, проводят анализ на фенол и ароматические углеводороды, включая бензол, ксилолы (орто-, мета-, пара-изомеры), толуол и этилбензол. На станции №8 дополнительно проводится мониторинг бенз(а)пирена.

Система АСМ-АВ гарантирует ежедневное обновление данных о состоянии загрязнения воздуха в городе. За функционирование станций отвечает Санкт-Петербургское государственное геологическое унитарное предприятие "Специализированная фирма "Минерал".

Для оценки чистоты воздуха измеренные уровни загрязняющих веществ сравниваются с предельно допустимыми концентрациями (ПДК), установленными Министерством здравоохранения Российской Федерации. Среднемесячные значения концентраций сопоставляются со среднесуточными ПДК, а максимальные единичные показатели – с максимально разовыми ПДК.

На автоматических станциях АСМ-АВ установлены устройства для автоматизированного контроля радиационной безопасности.

В рамках моего исследования были проанализированы данные с станций № 19, 22, 10, 20, 25 и 9. В приложенных таблицах представлены данные о присутствующих загрязнителях на этих станциях, их точные адреса, а также карта с указанием их местоположения.

Таблица 2.2 Загрязняющие вещества, присутствующие на станциях.

Список Загрязняющих веществ (ЗВ)	№ станции					
	Станция №9	Станция №22	Станция №10	Станция №19	Станция №25	Станция №20
Оксид углерода	+	+	+	+	+	+
Диоксид азота	+	+	+	+	+	+
Диоксид серы	+	нет	+	нет	+	+
Озон	+	нет	нет	+	+	нет
Взвешенные частицы P10	+	нет	нет	+	+	+
Взвешенные частицы P2.5	нет	+	+	+	нет	нет

Таблица 2.3 Адреса станций.

№ станции	Адрес станции	
	Район станции	Точный адрес
Станция №9	Фрунзенский р-н	Малая Балканская ул., д. 54
Станция №22	Кировский район	Канонерский остров, дом 21, строение 1 (станции АСМ-АВ №22)
Станция №10	Адмиралтейский район	Московский пр., дом 19 (станции АСМ-АВ №10)
Станция №19	Красносельский р-н	пр.Ветеранов, дом 167, к. 6/1 (станции АСМ-АВ №19)
Станция №25	Колпинский р-н	пос.Металлострой, ул.Железнодорожная, д.13/1
Станция №20	Невский р-н	ул. Тельмана, д. 24

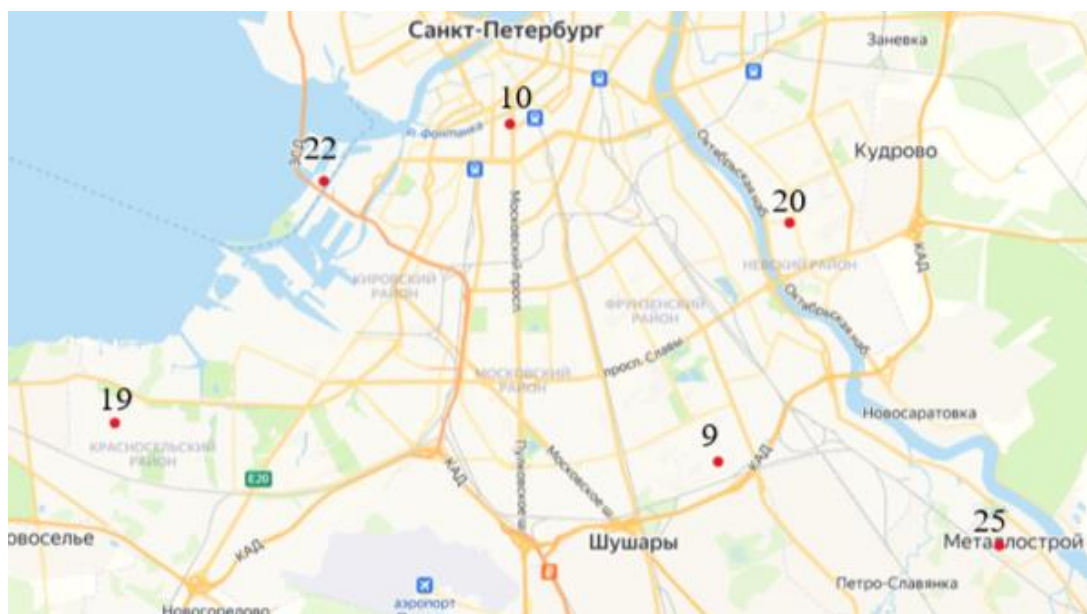


Рисунок 2.4. Карта местонахождения станций в Южной части Санкт-Петербурга.

Станция №22

Автоматическая станция №22 расположена по адресу Канонерский остров, дом 21, строение 1 на расстоянии 115 м от 11 км ЗСД. На расстоянии 267 м от станции находится Канонерский судостроительный завод, на расстоянии 767 м расположен Северный кузнечно-механический завод, на расстоянии около 1 км - Соевый завод.

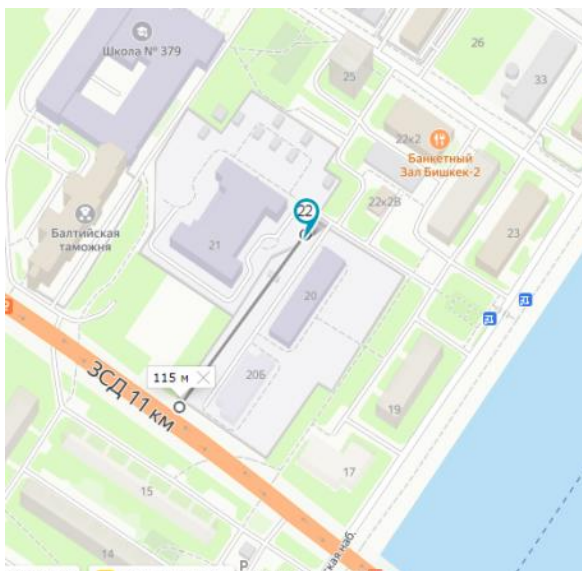


Рисунок 2.5 Местоположение и фото станции №22

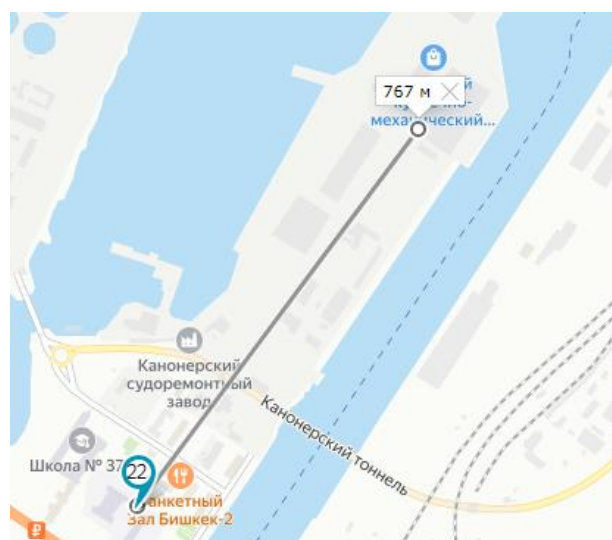
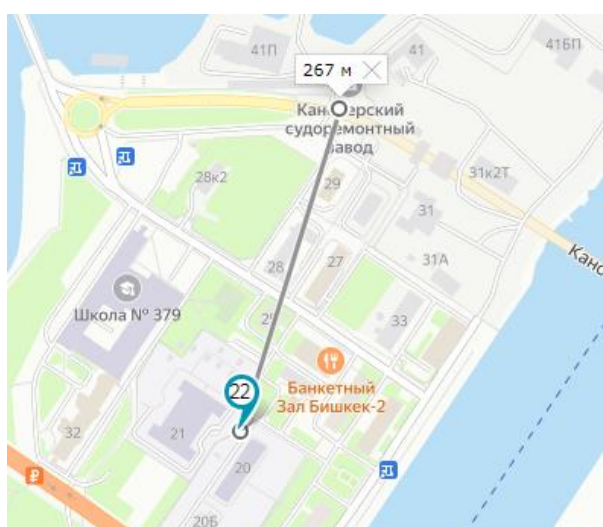


Рисунок 2.6 Местоположение заводов вблизи станции №22

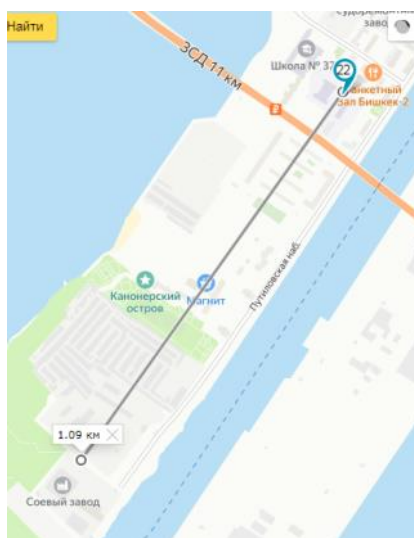


Рисунок 2.6 Местоположение заводов вблизи станции №22

Во Фрунзенском районе одна станция в южной части и один пост УГМС в центре.



Рисунок 2.7. – Расположение станций во Фрунзенском районе

2.3 Формирование базы данных наблюдений

В качестве исходных данных я брал показания с мая по август 2023 года по загрязняющим веществам (ЗВ) с 6 Автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха (АСМ-АВ), находящихся в южной части Санкт-Петербурга. В качестве ЗВ мной были выбраны Оксид углерода, а также Диоксид азота. Значения ЗВ были взяты в долях ПДК. Для поиска причин, влияющих на повышения загрязнения были использованы аэрологические данные со станции Воейково.

Ниже представлена таблица, показывающая, как выглядели данные, на примере станции №9 за май 2023 года.

Таблица 1.4. Загрязняющие вещества.

Станция №9	Список Загрязняющих веществ (ЗВ)	
Май	Окс. Угл.	Диокс. азота
1	0,1	0,2
2	0,1	0,3
3	0,1	0,2
4	0,1	0,2
5	0,1	0,2
6	0,1	0,2
7	0,1	0,3
8	0,1	0,3
9	0,1	0,4
10	0,2	0,7
11	0,1	0,6
12	0,1	0,4
13	0,1	0,5
14	0,1	0,5
15	0,1	0,4
16	0,1	0,4
17	0,1	0,3
18	0,1	0,2
19	0,1	0,2
20	0,1	0,4
21	0,1	0,3
22	0,1	0,4
23	0,1	0,3
24	0,2	0,5
25	0,1	0,4
26	0,1	0,2
27	0,1	0,1
28	0,1	0,2
29	0,1	0,3
30	0,1	0,2
31	0,1	0,3

2.4 Статистика данных наблюдений

На основе всех полученных данных мной была проведена Описательная статистика, в результате которой были найдены Среднее, Мода, Стандартное отклонение, а также Минимальное и Максимальное значение для каждого ЗВ на всех 6 станциях.

Таблица 2.5. Описательная статистика.

	Станция №19		Станция №22		Станция №10		Станция №9		Станция №20		Станция №25	
	CO	N02	CO	N02	CO	N02	CO	N02	CO	N02	CO	N02
Среднее	0,10	0,10	0,05	0,15	0,06	0,11	0,11	0,28	0,14	0,19	0,09	0,20
Мода	0,10	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20
Минимум	0,10	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,10	0,10	0,02	0,10	0,02	0,02
Максимум	0,20	0,20	0,20	0,50	0,20	0,30	0,20	0,70	0,50	0,40	0,10	0,60
Станд. откл.	0,02	0,05	0,04	0,10	0,06	0,06	0,02	0,14	0,07	0,08	0,02	0,09

По таблице 2.5 можно сделать выводы:

- По станциям №22 и № 10 наблюдалось меньшее среднее значение по Оксиду углерода, в то время как по Диоксиду азота большее среднее было у станции №9;
- Мода (наиболее повторяющееся значение), по Оксиду углерода, меньше всего была на станциях №22 и №10 в то время, как у станций №9, 22 и 25 по Диоксиду азота было равно 0,2;
- Минимальные значения по обоим веществам наблюдались на станциях № 22, 20 и 25.
- Максимальные значения по Диоксиду азота наблюдались на станциях № 9, 25 и 22.
- Наибольшее Стандартное отклонение наблюдается на станции №9, что говорит о большом разбросе значений.

На гистограммах, представленных ниже, можно видеть подробную информацию о частоте появления различной концентрации ЗВ на станциях, за весь период наблюдения.

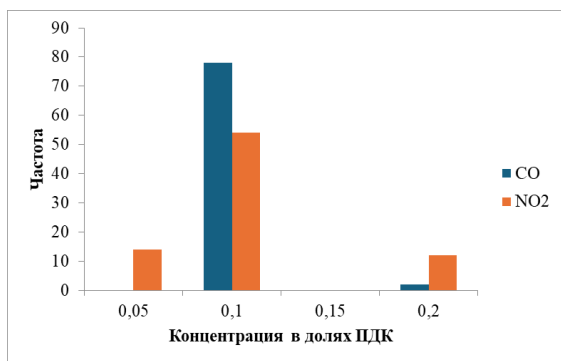


Рисунок 2.8 Концентрация ЗВ на станции №19

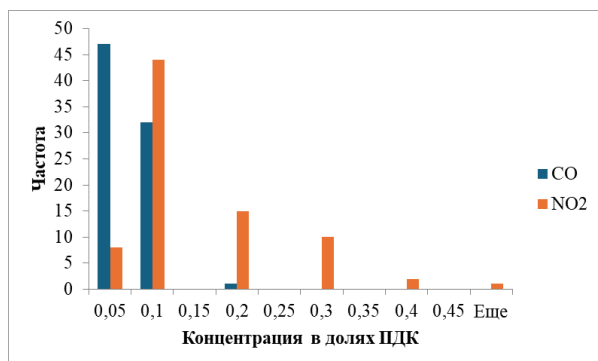


Рисунок 2.9 Концентрация ЗВ на станции №22

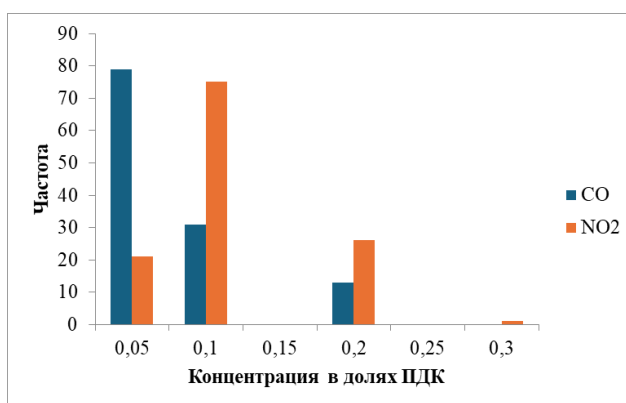


Рисунок 2.10 Концентрация ЗВ на станции №10

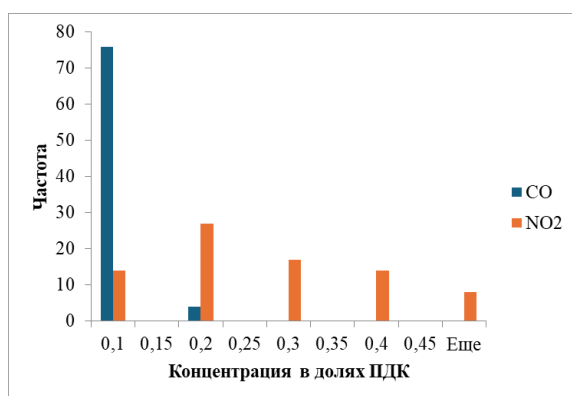


Рисунок 2.11 Концентрация ЗВ на станции №9

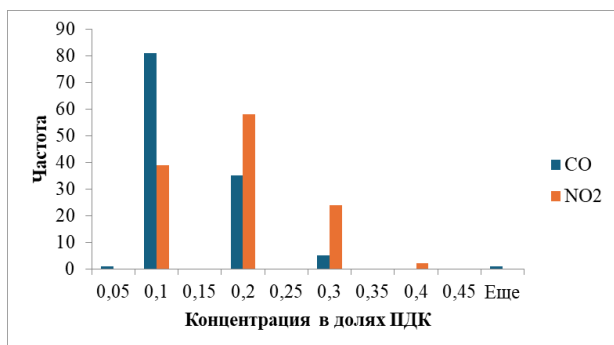


Рисунок 2.12 Концентрация ЗВ на станции №20

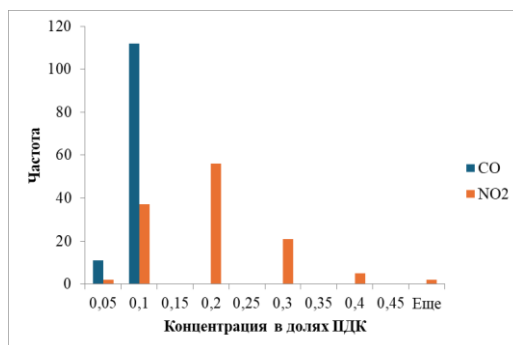


Рисунок 2.13 Концентрация ЗВ на станции №25

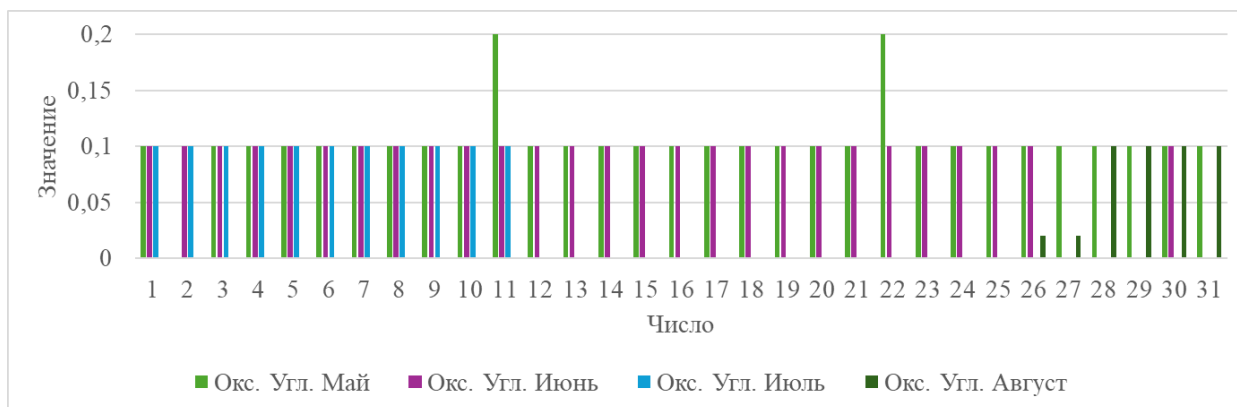


Рисунок 2.14 Временной ход концентрации СО за тёплый период (станция №19)

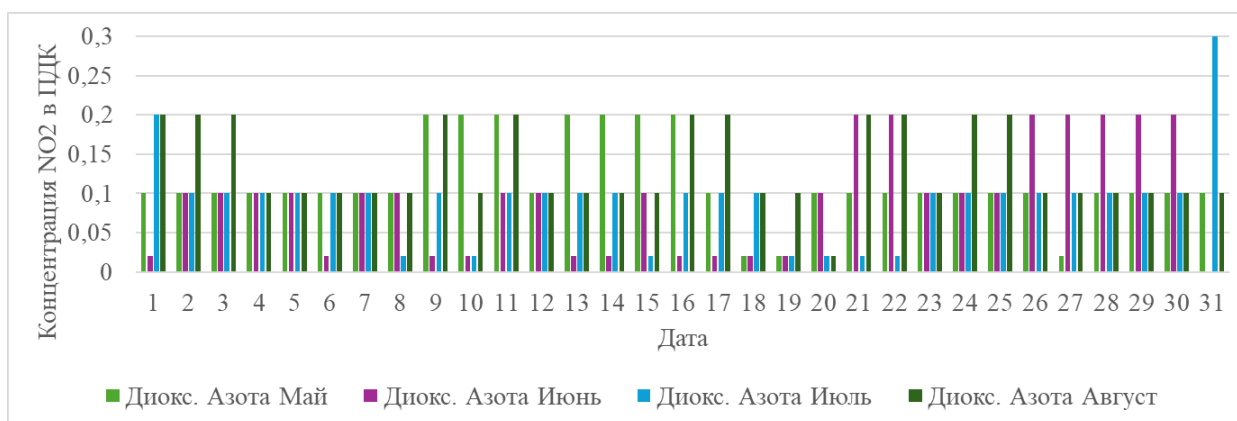


Рисунок 2.15 Временной ход концентрации NO2 за тёплый период (станция №19)

По графикам, представленным выше, можно сделать вывод, что чаще всего Оксид углерода равен 0,1, а Диоксид азота равен 0,1.

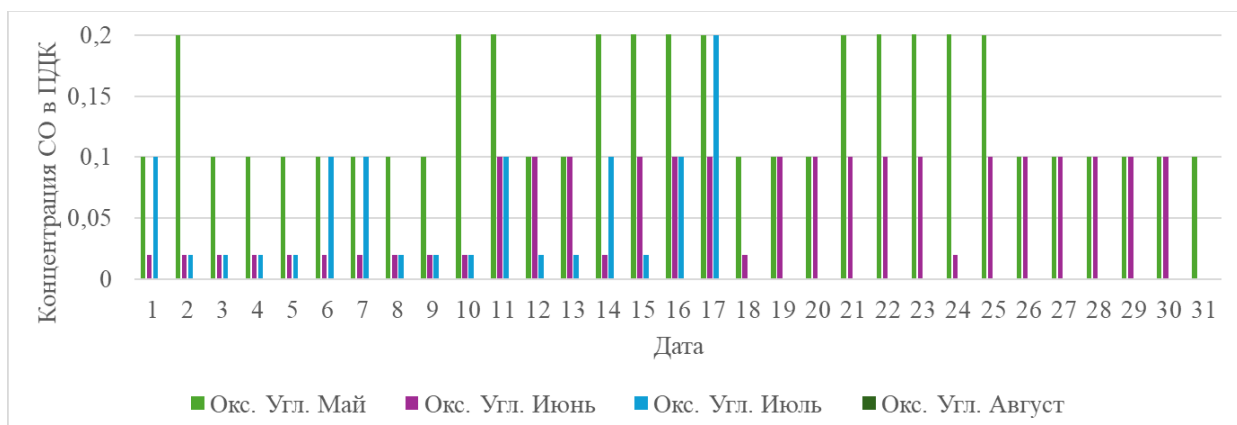


Рисунок 2.16 Временной ход концентрации СО за тёплый период (станция №22)

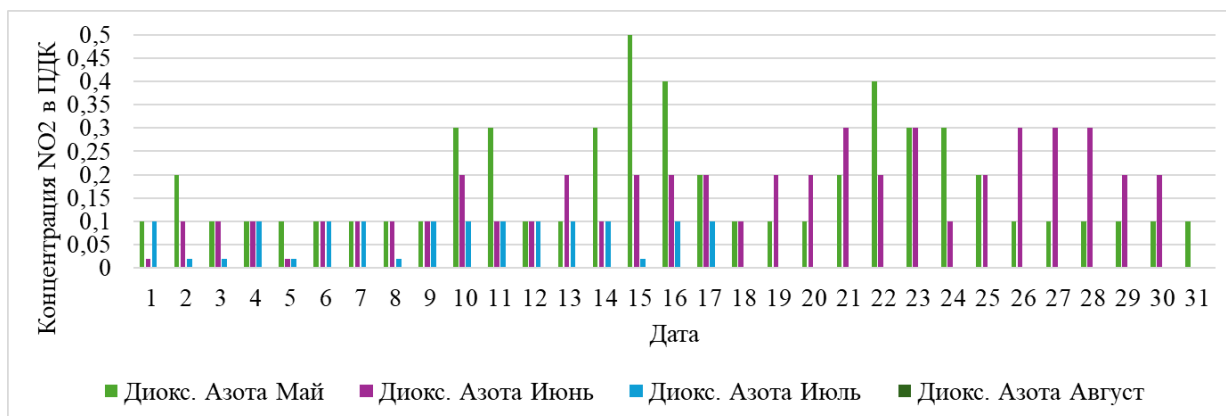


Рисунок 2.17 Временной ход концентрации NO2 за тёплый период (станция №22)

По графикам, представленным выше, можно сделать вывод, что чаще всего Оксид углерода равен 0,1, а Диоксид азота равен 0,1.

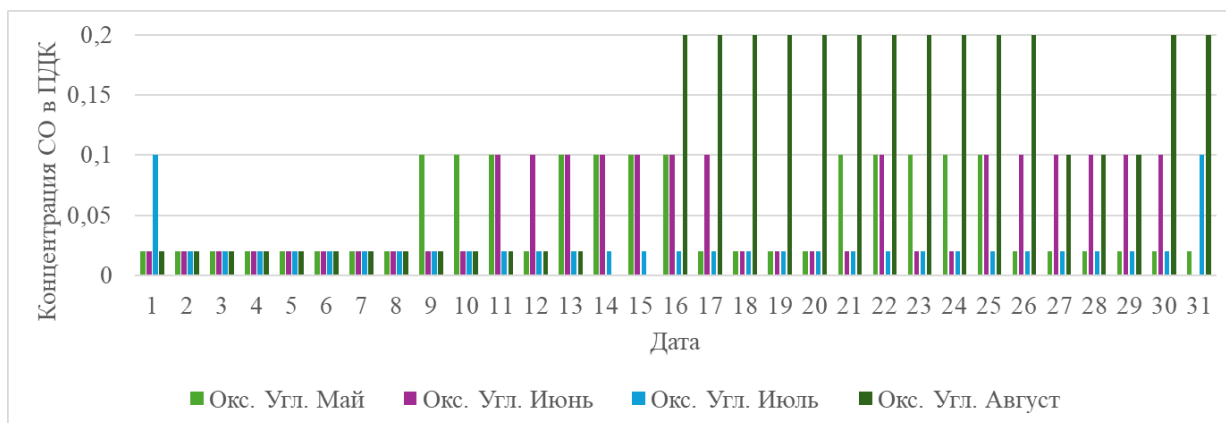


Рисунок 2.18 Временной ход концентрации CO за тёплый период (станция №10)

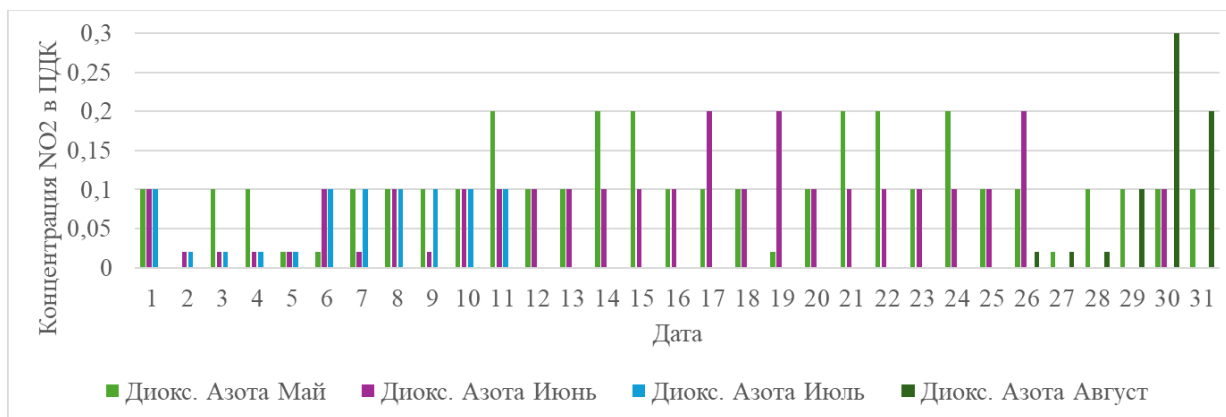


Рисунок 2.19 Временной ход концентрации NO2 за тёплый период (станция №10)

По графикам, представленным выше, можно сделать вывод, что чаще всего Оксид углерода равен 0,02, а Диоксид азота равен 0,1.

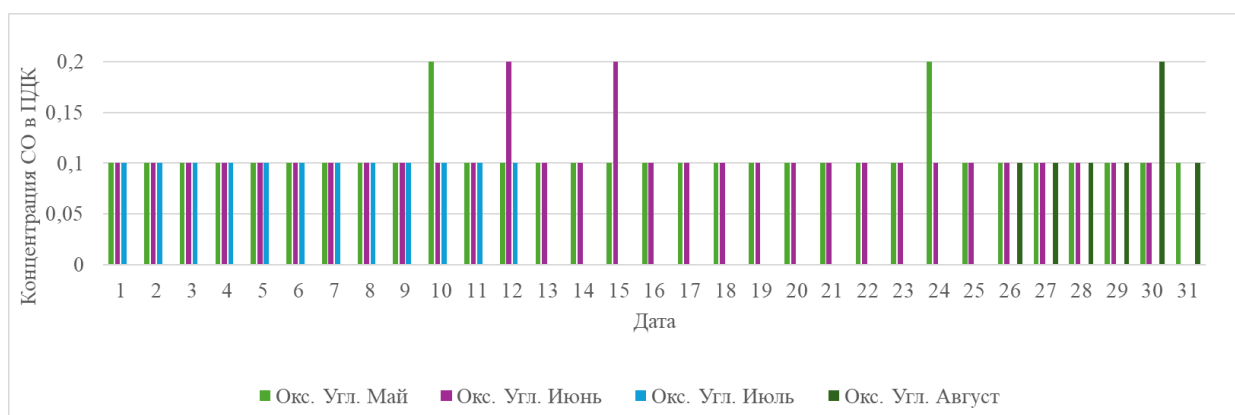


Рисунок 2.20 Временной ход концентрации СО за тёплый период (станция №9)

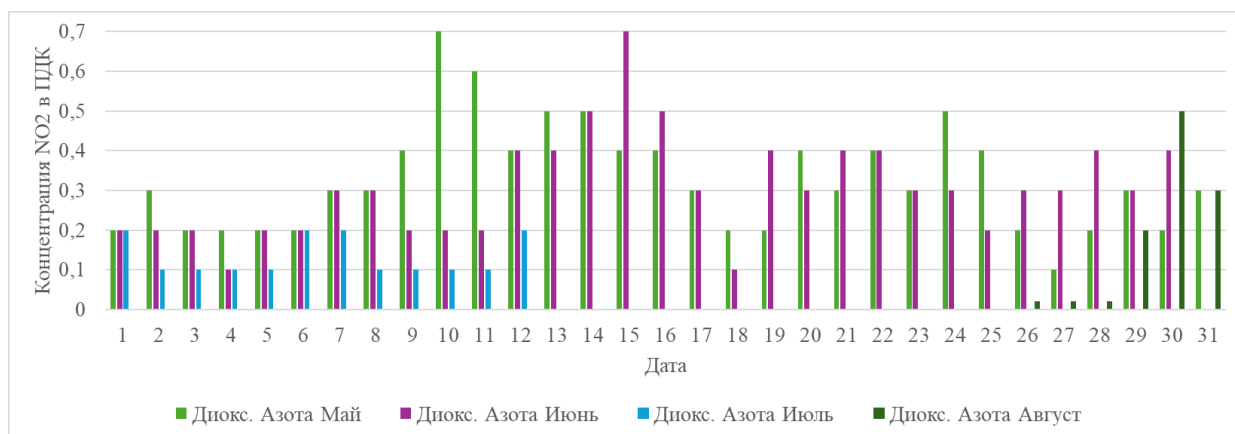


Рисунок 2.21 Временной ход концентрации NO2 за тёплый период (станция №9)

По графикам, представленным выше, можно сделать вывод, что чаще всего Оксид углерода равен 0,1, а Диоксид азота равен 0,2.

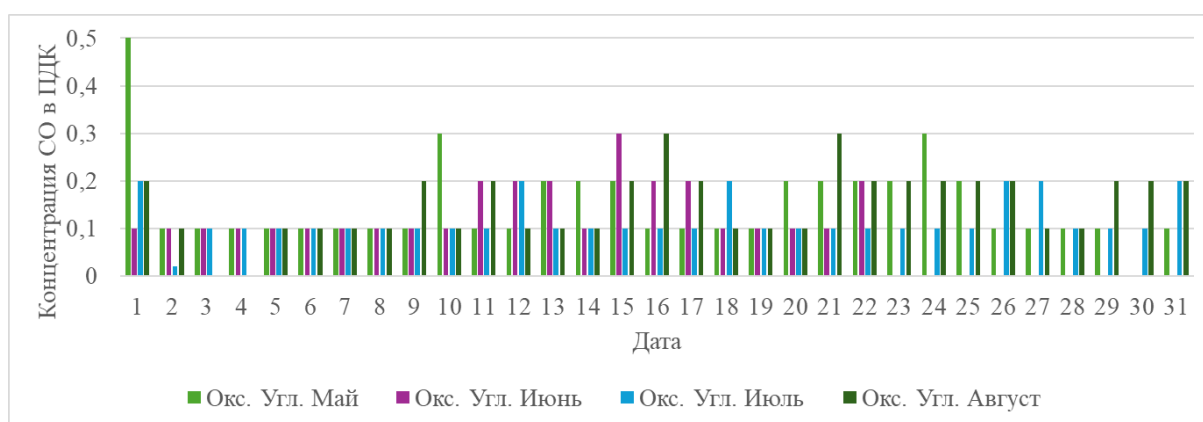


Рисунок 2.22 Временной ход концентрации СО за тёплый период (станция №20)

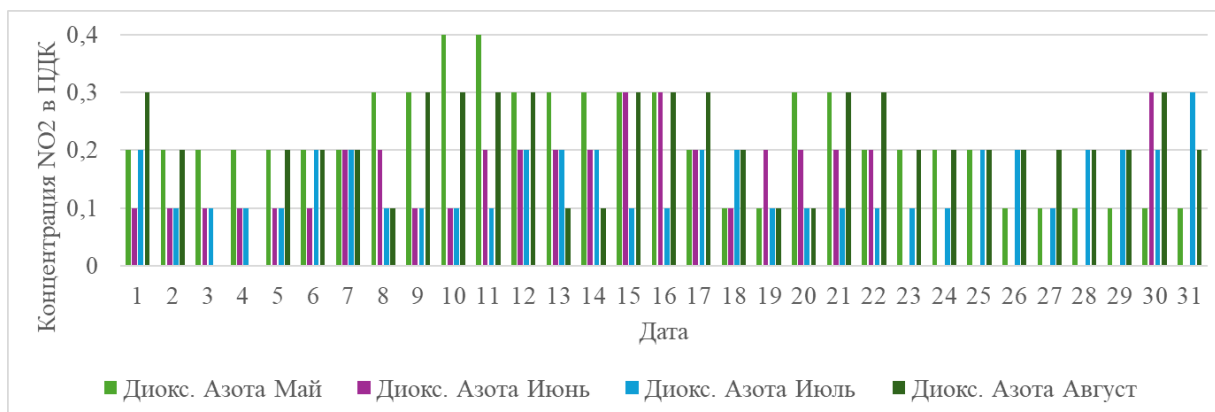


Рисунок 2.23 Временной ход концентрации NO₂ за тёплый период (станция №20)

По графикам, представленным выше, можно сделать вывод, что чаще всего Оксид углерода равен 0,1, а Диоксид азота равен 0,2.

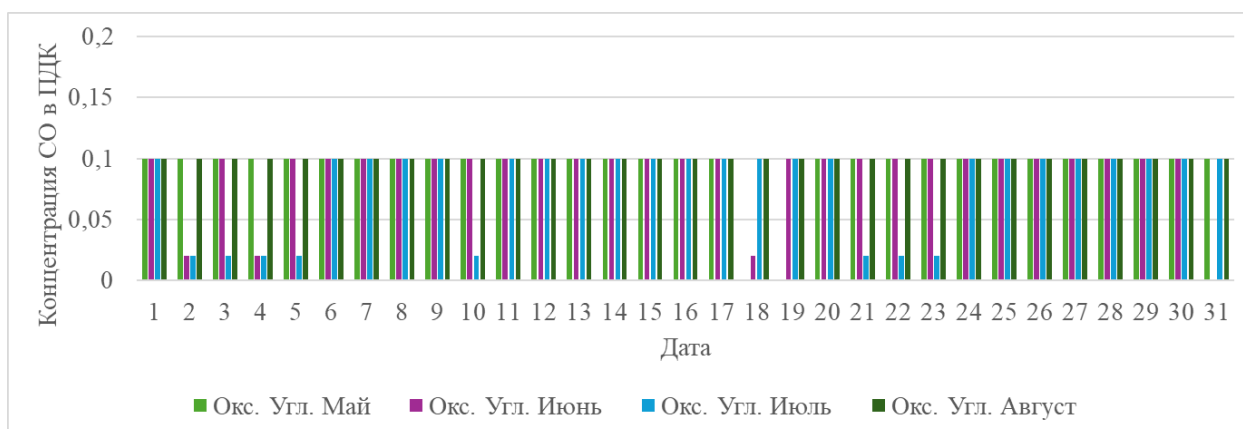


Рисунок 2.24 Временной ход концентрации CO за тёплый период (станция №25)

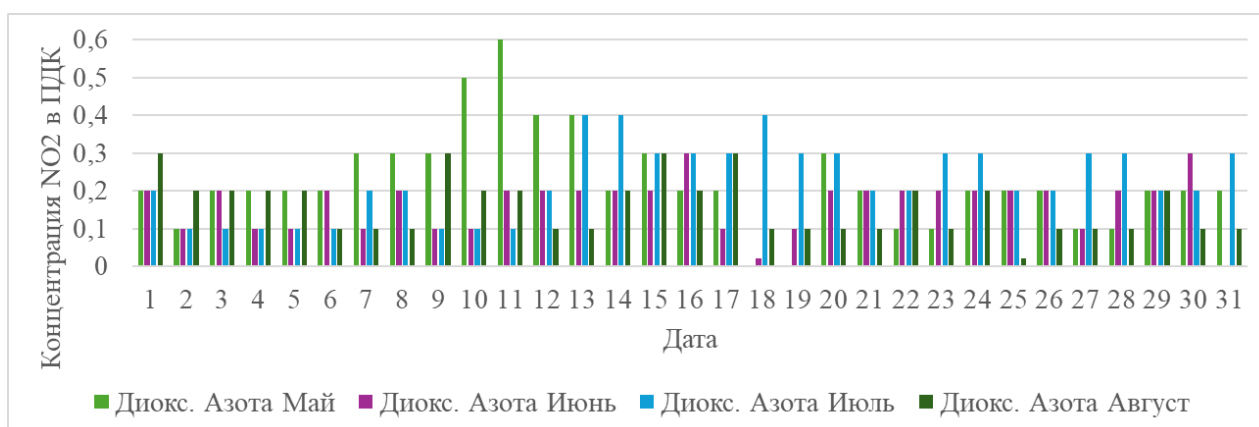


Рисунок 2.25 Временной ход концентрации NO₂ за тёплый период (станция №25)

По графикам, представленным выше, можно сделать вывод, что чаще всего Оксид углерода равен 0,1, а Диоксид азота равен 0,2.

В результате анализа данных можно сделать вывод, что максимальные значения по ЗВ были 10 и 11 мая, а также 15 июня.

Также мной была проверена корреляция между станциями (таблицы 2.6 и 2.7), а также корреляция между СО и NO₂ на каждой из станций.

Таблица 2.6 Корреляция между станциями по СО

	Станция №19	Станция №22	Станция №10	Станция №9	Станция №20	Станция №25
Станция №19						
Станция №22	0,2					
Станция №10	0,2	0,6				
Станция №9	0,0	0,2	0,3			
Станция №20	0,0	0,2	0,4	0,5		
Станция №25	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	

По данным, представленным в таблице 2.6. можно сделать вывод, что станции № 22 и 10, а также 9 и 20 коррелируют между собой.

Таблица 2.7 Корреляция между станциями по NO₂

	Станция №19	Станция №22	Станция №10	Станция №9	Станция №20	Станция №25
Станция №19						
Станция №22	0,6					
Станция №10	0,3	0,5				
Станция №9	0,5	0,6	0,4			
Станция №20	0,4	0,5	0,6	0,8		
Станция №25	0,2	0,1	0,3	0,4	0,6	

По данным, представленным в таблице 2.7. можно сделать вывод, что станции №9 и 20 имеют очень сильную корреляцию, а также станция № 22 коррелирует со станциями № 19, 10, 9 и 20.

Корреляция между двумя веществами на станциях №19, 22, 10, 9, 20 и 25 были равны 0,3; 0,6; 0,36; 0,5; 0,46 и 0,23 соответственно, следовательно можно сделать вывод, что на станции №22 наблюдается корреляция, в то время как на остальных станциях её нет.

2.5 Показатель загрязнения воздуха

Обобщённый показатель (ОП), является сокращённой версией ИЗА.

Индекс Загрязнения Атмосферы (ИЗА) является мерой, которая отражает степень загрязнения воздуха и его влияние на здоровье людей. Для вычисления ИЗА применяются данные о среднесуточных уровнях загрязняющих веществ, что дает возможность оценить последствия их продолжительного воздействия на организм.

Учитывая, что в атмосфере может находиться несколько различных примесей, оказывающих общее воздействие на здоровье, используется расчет комплексного ИЗА. Этот комплексный показатель включает пять основных загрязнителей воздуха. Итоговое значение ИЗА5 определяется суммированием индексов загрязнения для каждого из этих веществ.

ОП будет характеризовать общую степень загрязнения атмосферы воздуха, но при этом рассчитываться по двум имеющимся на всех станциях загрязняющим веществам, а именно Оксиде углерода (СО) и Диоксиде азота (NO₂). Так как Оксид углерода является загрязняющим веществом (ЗВ) 4 класса опасности, то возводим его в 0,9 степень, а Диоксид азота, имеющий 2 класс опасности, в 1,3. После мы складываем оба значения и получаем значение ОП:

$$\text{ОП} = \text{СО}^{0,9} + \text{NO}_2^{1,3}$$

Рассчитав все значения ОП, мной был построен График изменчивости ОП по времени.

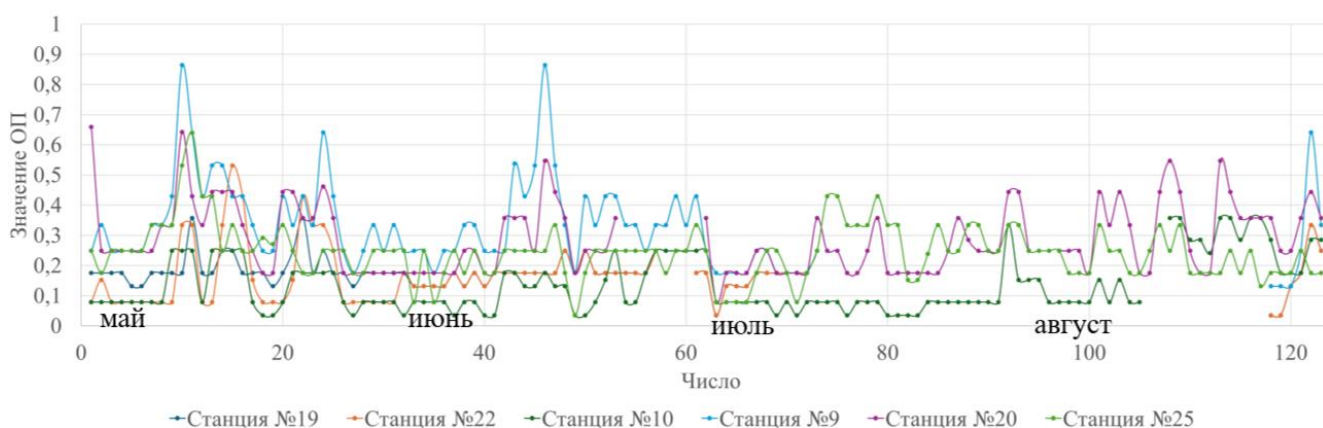


Рисунок 2.26 Концентрация ОП за тёплый период 2023 года

По графику видно, что 10 и 11 мая ОП на трёх станциях было максимально высоким, а именно на станции №9 ОП равно 0,86, на станции №20 равно 0,64, а на станции №25 также равно 0,64. 15 июня по станциям №9, 20 и 25 были значения 0,86, 0,55 и 0,35 соответственно.

По станциям № 19, 22 и 20 значения ОП в среднем за весь период наблюдений были равны 0,176, по станциям № 9 и 25 были равны 0,25 и по станции № 10 было равно 0,08.

3. Результаты и анализ данных

3.1. Обнаружение эпизодов повышения уровня загрязнения в теплый период

В результате проделанного мной исследования были обнаружены периоды повышения загрязнения, а именно 10 и 11 мая, а также 15 июня, значения ЗВ в эти дни представлены в таблицах ниже.

Таблицы загрязняющих веществ по станциям.

Станция №19	Загрязняющие вещества (ЗВ)	
Май	Оксид Углерода	Диоксид азота
10	0,1	0,1
11	0,2	0,2
Июнь	Окс. Угл.	Диокс. азота
15	0,1	0,1

Станция №22	Загрязняющие вещества (ЗВ)	
Май	Оксид Углерода	Диоксид азота
10	0,1	0,3
11	0,1	0,3
Июнь	Окс. Угл.	Диокс. азота
15	0,1	0,2

Станция №10	Загрязняющие вещества (ЗВ)	
Май	Оксид Углерода	Диоксид азота
10	0,1	0,2
11	0,1	0,2
Июнь	Окс. Угл.	Диокс. азота
15	0,1	0,1

Станция №20	Загрязняющие вещества (ЗВ)	
Май	Оксид Углерода	Диоксид азота
10	0,3	0,4
11	0,1	0,4
Июнь	Окс. Угл.	Диокс. азота
15	0,3	0,3

Станция №25	Загрязняющие вещества (ЗВ)	
Май	Оксид Углерода	Диоксид азота
10	0,1	0,5
11	0,1	0,6
Июнь	Окс. Угл.	Диокс. азота
15	0,1	0,2

Станция №9	Загрязняющие вещества (ЗВ)	
Май	Оксид Углерода	Диоксид азота
10	0,2	0,7
11	0,1	0,6
Июнь	Окс. Угл.	Диокс. азота
15	0,2	0,7

3.2. Распределение показателя загрязнителей воздуха на юге Санкт-Петербурга

По полученным данным ОП, с помощью приложения “Surfer”, были созданы поля интерполяции. Метод интерполяции-кригинг.



Рисунок 3.1. Поле интерполяции по значениям ОП за 10 мая.

По данному изображению можно сказать, что 10 мая максимальный уровень загрязнения наблюдался во Фрунзенском районе (где ОП был равен 0,86) и постепенно уменьшался при приближении к Невской губе.

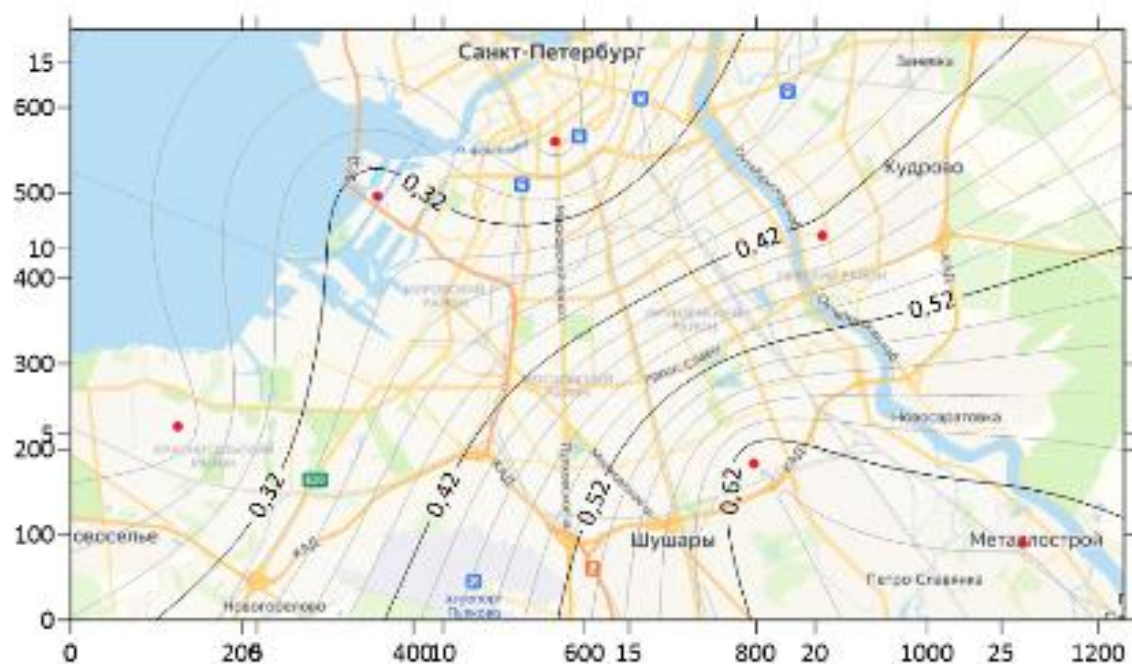


Рисунок 3.2. Поле интерполяции по значениям ОП за 11 мая.

По данному изображению можно сказать, что 11 мая максимальный уровень загрязнения наблюдался во Фрунзенском районе (где ОП был равен 0,64) и постепенно уменьшался при приближении к Канонерскому острову.

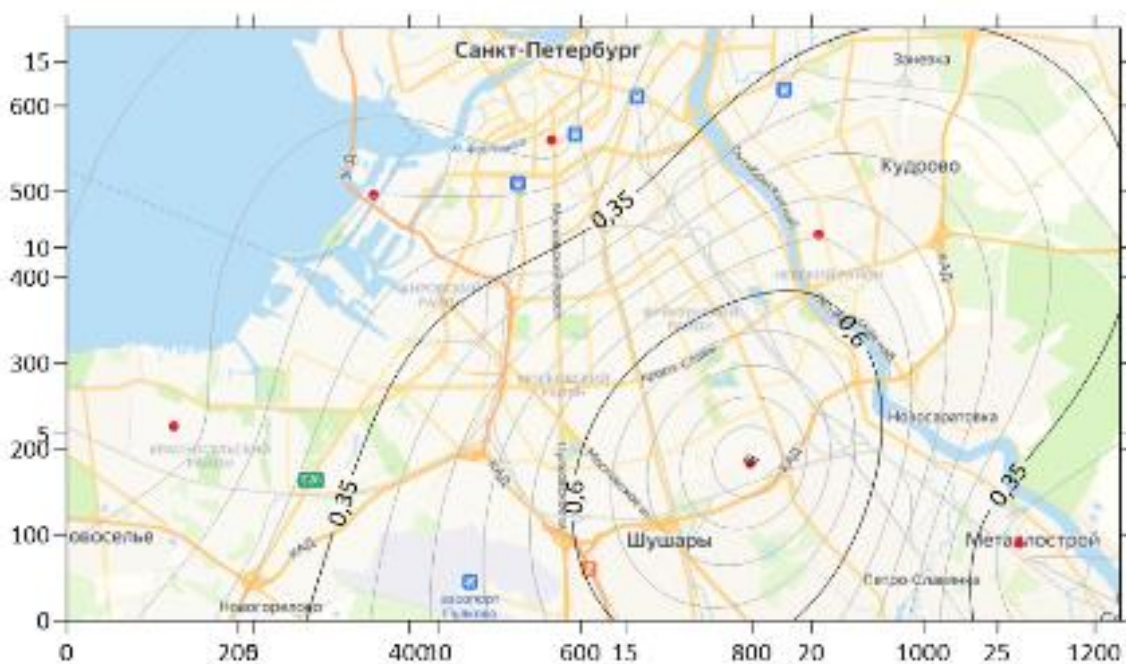


Рисунок 3.3. Поле интерполяции по значениям ОП за 15 июня.

По данному изображению можно сказать, что 15 июня максимальный уровень загрязнения наблюдался во Фрунзенском районе (где ОП был равен 0,86) и постепенно уменьшался при приближении к Невской губе.

Из всего, сказанного выше можно сделать вывод, что пик загрязнения (ОП=0,86) наблюдается во Фрунзенском районе, где находится станция № 9 (расположенная по адресу Малая Балканская ул., д. 54) и уменьшается, при приближении к Невской Губе (станции №19, 22 и 10).

Автоматическая станция № 09 расположена по адресу Малая Балканская ул., д. 54 в жилой зоне на окраине микрорайона Купчино. Основное непосредственное влияние оказывают станция технического обслуживания автотранспорта, автотранспорт и Южная ТЭЦ-22 (около 1,5 км), выбросы которой при некоторых метеорологических условиях (слабый юго-восточный ветер, ослабленное турбулентное перемешивание) в холодное время года могут создавать на уровне верхних этажей жилых зданий этого микрорайона Купчино повышенные концентрации вредных примесей. На расстоянии около 0.5 км к югу от станции проходит окружная железная дорога, параллельно которой располагается трасса Кольцевой автомобильной дороги (КАД). Из действующих станций станция № 9 размещена ближе других к трассе КАД.

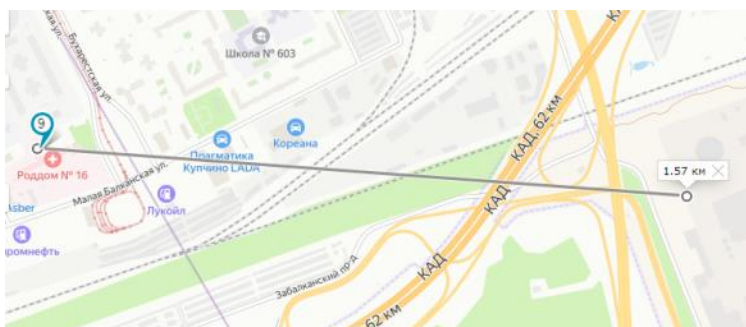
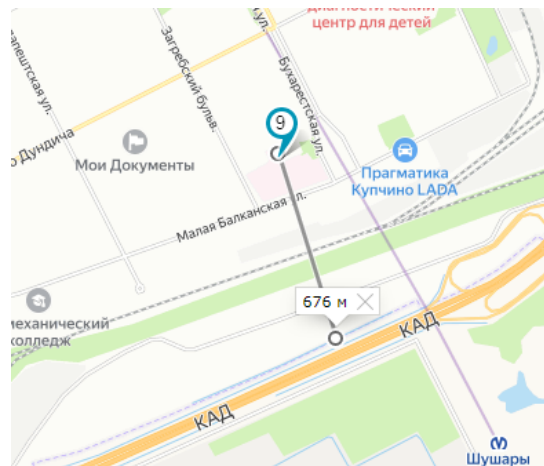


Рисунок 3.4 Фото станции № 09 и местоположение источников загрязнения

Пост УГМС № 02 размещен по адресу ул. Будапештская, д.33-37 недалеко от проезжей части узкой улицы с дорожным движением средней интенсивности. Данные наблюдений, полученные на станции, могут приближенно характеризовать зону вдоль всей Будапештской улицы, но не в глубине прилегающих кварталов. На расстоянии около 2 км к ЮВ расположена Южная ТЭЦ-22 – предприятие категории I.

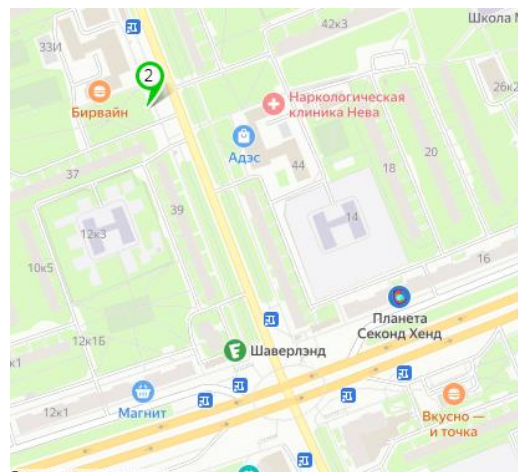


Рисунок 3.5 Фото и местоположение ПНЗ №02

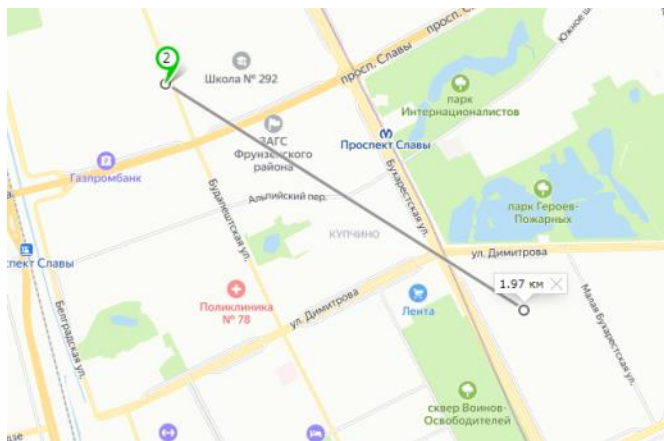


Рисунок 3.6 Местоположение источника загрязнения

Мной было обнаружено, что в период с 14 по 29 мая на отрезке кольцевой дороги Санкт-Петербурга, расположенном на 63-м километре КАД между Софийской улицей и Московским шоссе, проводились работы по ремонту дорожного покрытия. Это привело к блокировке первой и второй полос движения на мосту через железнодорожные пути. Следующий этап работ, с 30 мая по 15 июня, включал закрытие третьей и четвертой полос. В течение всего времени ремонтных работ скорость движения на оставшихся открытыми полосах была ограничена до 50 км/ч.

Также на кольцевой автодороге (КАД) Петербурга для движения тяжёлых грузовиков на 4 дня (с 14 по 17 июня 2023) был закрыт 34-километровый участок дороги. Ограничения были введены на весь период проведения в городе Петербургского международного экономического форума (ПМЭФ) —года.

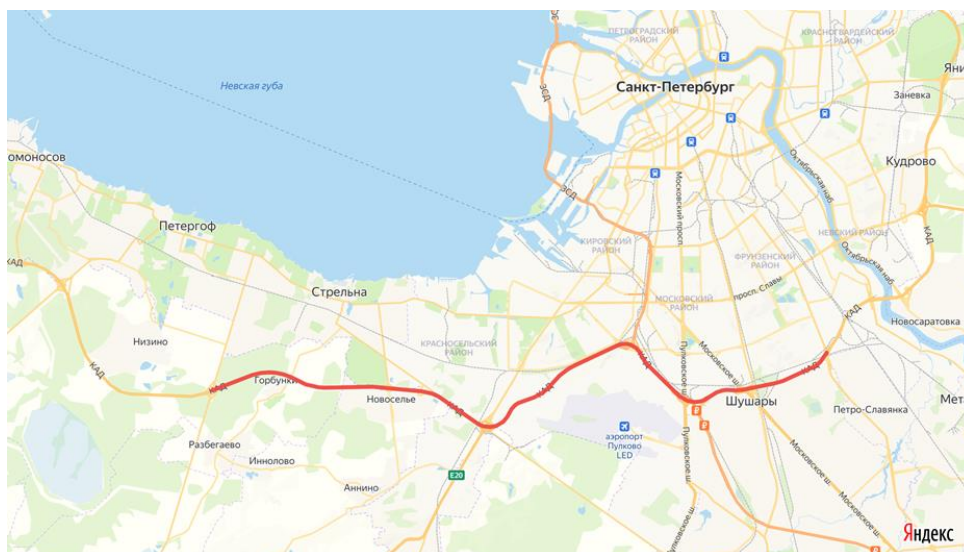


Рисунок 3.7 Перекрытая зона КАДа.

В результате данного анализа можно сделать вывод, что из-за ограничения движения было большое количество пробок, которые способствуют выбросу загрязняющих веществ.

3.3. Выявление комплекса неблагоприятных погодных условий

3.3.1 Идентификация синоптической ситуации во время выявленных эпизодов

За 10, 11 мая и 15 июня мной были изучены данные по температуре, давлению и скорости ветра, а также построены графики по ним.

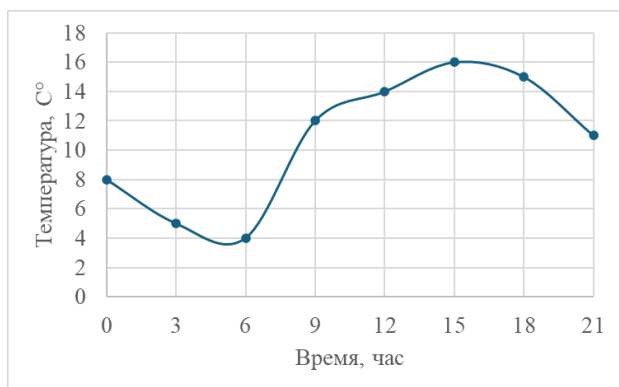


Рисунок 3.8 Изменение температуры со временем за 10 мая

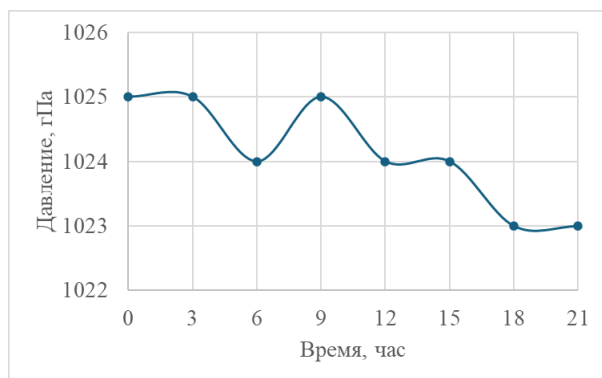


Рисунок 3.11 Изменение давления со временем за 10 мая

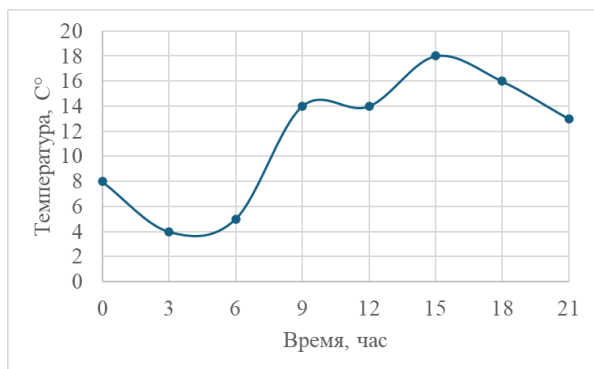


Рисунок 3.9 Изменение температуры со временем за 11 мая

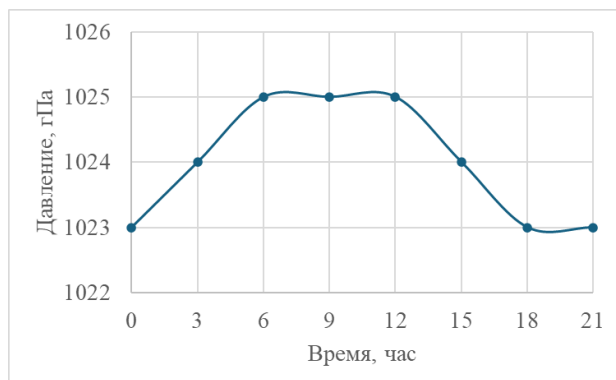


Рисунок 3.12 Изменение давления со временем за 11 мая

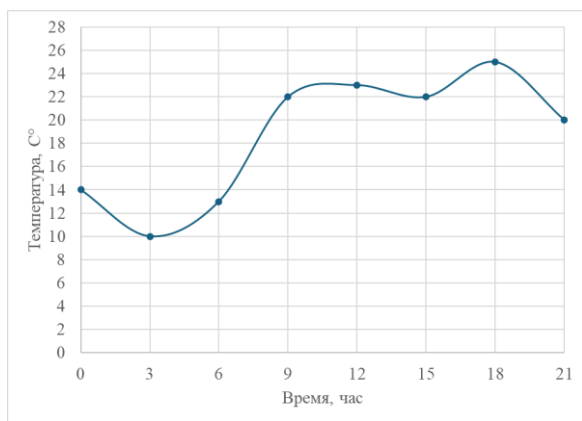


Рисунок 3.10 Изменение температуры со временем за 15 июня

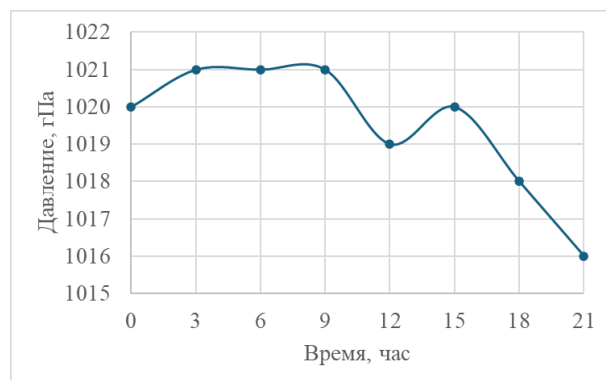


Рисунок 3.13 Изменение давления со временем за 15 июня

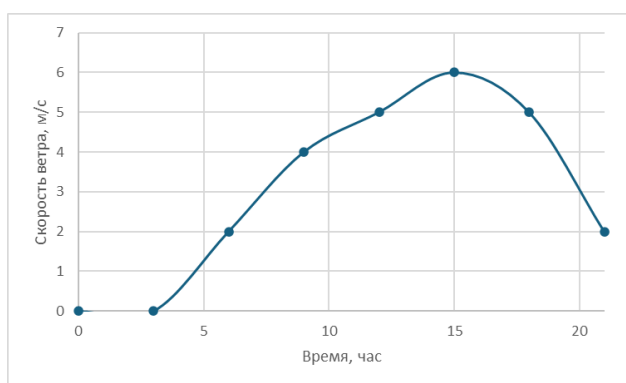


Рисунок 3.14 Изменение скорости ветра со временем за 10 мая

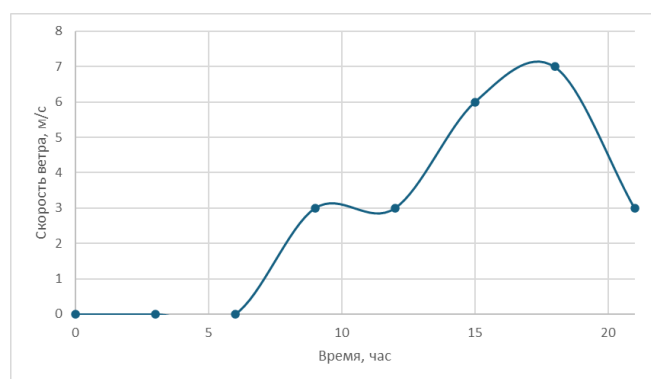


Рисунок 3.15 Изменение скорости ветра со временем за 11 мая

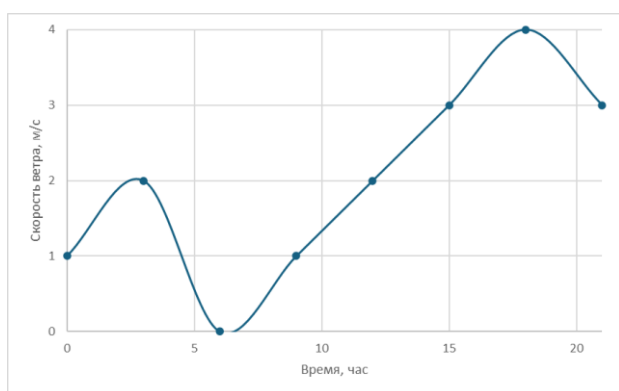


Рисунок 3.16 Изменение температуры со временем за 15 июня

3.3.2 Анализ температурных инверсий во время выявленных эпизодов

Используя данные со станции Воейково, предоставленные сайтом Вайоминга, были построены профили температуры.

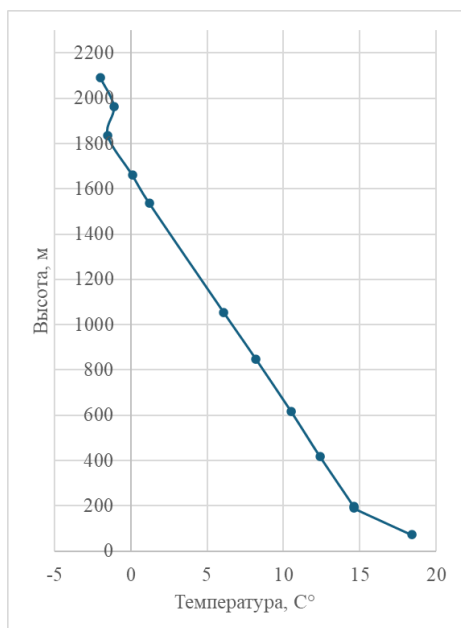


Рисунок 3.17 Профиль температуры, 12 ч, 10 мая, Воейково

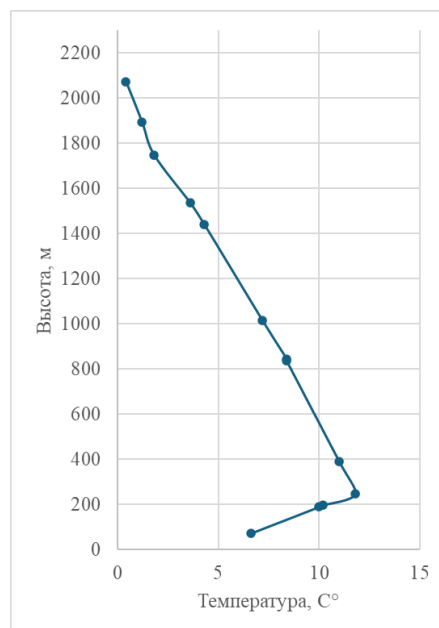


Рисунок 3.18 Профиль температуры, 0ч, 11 мая, Воейков

По профилям, представленным выше, можно сделать вывод, что 10 мая днём была приподнятая инверсия, начинающаяся на высоте 1800 метров и имеющая мощность в 200 м, а также что 10 мая ночью была приземная инверсия, начинающаяся на высоте 72 метра и имеющая мощность в 300 м.

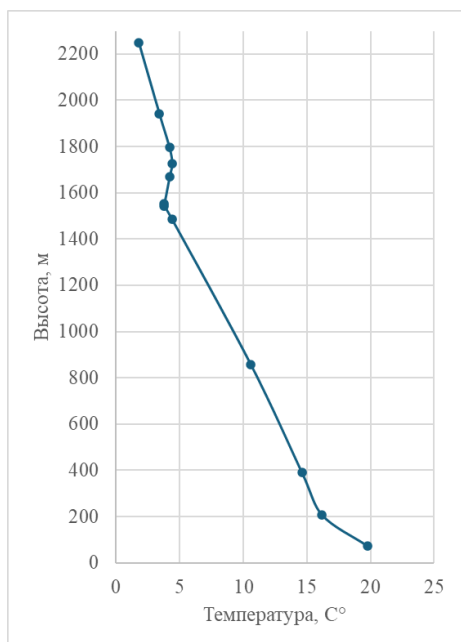


Рисунок 4.19 Профиль температуры, 12 ч, 11 мая, Воейково

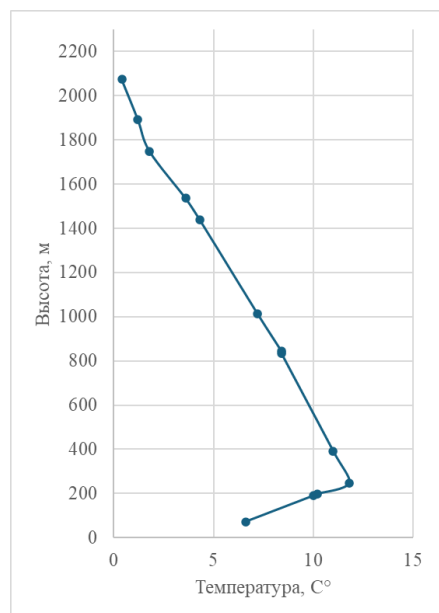


Рисунок 3.20 Профиль температуры, 0ч, 12 мая, Воейково

По профилям, представленным выше, можно сделать вывод, что 11 мая днём была приподнятая инверсия, начинающаяся на высоте 1540 метров и имеющая мощность в 200 м, а также что 11 мая ночью была приземная инверсия, начинающаяся на высоте 72 метра и имеющая мощность в 300 м.

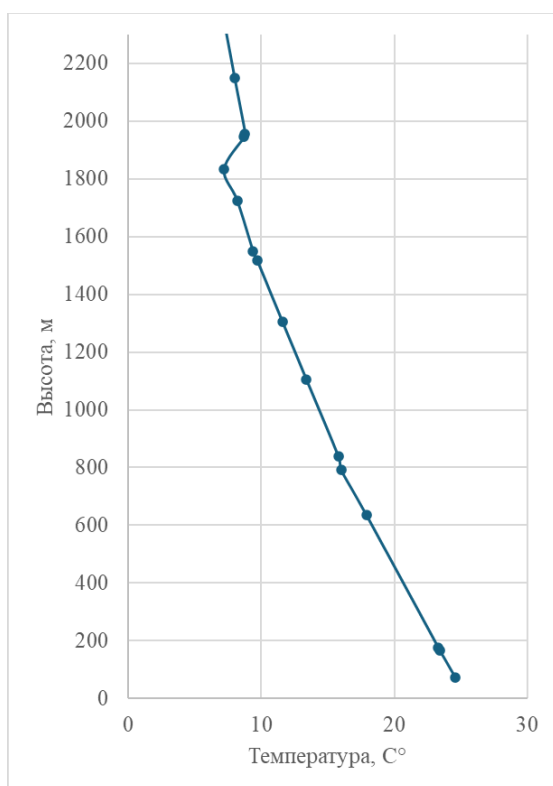


Рисунок 3.21 Профиль температуры, 12 ч, 15 июня, Воейково

По профилю, представленному выше, можно сделать вывод, что 15 июня днём была приподнятая инверсия, начинающаяся на высоте 1834 метров и имеющая мощность в 100 м.

В результате изучения данных профилей можно сказать, что на них наблюдается инверсия, ночью приземная, днем приподнятая. Днём она начиналась на высоте 1800 метров, имея мощность в 200 метров, а ночью начиналась на высоте 72 метра, имея мощность в 300 метров.

Инверсия является неблагоприятным фактором, потому что она не дает ЗВ рассеиваться.

На рисунке, представленном ниже видно, что днём приподнятая инверсия как крышка, задерживает ЗВ.

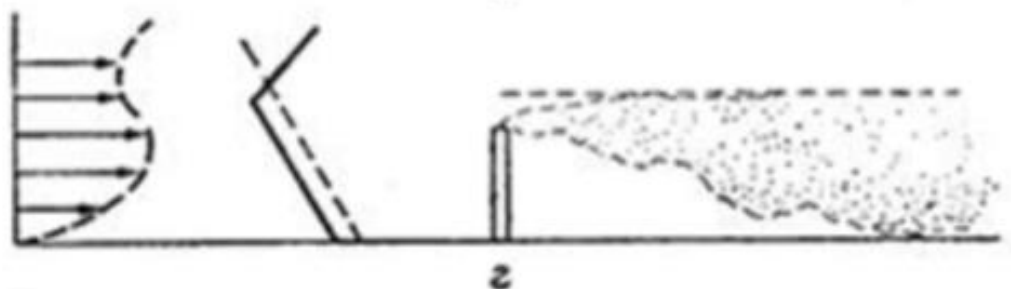


Рисунок 3.22 Инверсия возвращает ЗВ на землю

3.4 Рекомендации по улучшению экологической ситуации на юге города

В качестве рекомендаций, способствующих уменьшению выбросов Загрязняющих веществ, я предлагаю увеличить высоту, на которую поднимаются ЗВ, чтобы они были выше уровня инверсии (в нашем случае выше 300 метров). Сделать это можно, увеличив уровень трубы, а также повысив температуру нагрева данных веществ.



Рисунок 3.23 Инверсия препятствует падению ЗВ

Также помочь уменьшить количество выбросов могут помочь следующие рекомендации:

1. Установка эффективных систем очистки выбросов:
 - Рекомендуется использовать современные системы очистки выбросов, такие как электрофильтры, сорбционные фильтры или катализаторы. Они помогут улавливать и удалять вредные вещества из выбросов перед их попаданием в атмосферу.
2. Оптимизация производственных процессов:
 - Проведите аудит производственных процессов для выявления возможностей снижения выбросов. Изучите возможность замены или модернизации оборудования, чтобы оно было более эффективным и экологически безопасным.
 - Используйте методы снижения объема и концентрации выбросов путем оптимизации процессов с целью сокращения использования сырья, энергии и химических веществ.
3. Реализация системы рециркуляции и повторного использования материалов:
 - Оцените перспективы реализации системы рециркуляции, которая дает возможность повторного применения определенной части отходов в рамках производственного цикла.

4. Использование альтернативных источников энергии:

- Рассмотрите возможность перехода на использование альтернативных источников энергии, таких как солнечная или ветровая энергия. Это поможет снизить выбросы парниковых газов и других загрязняющих веществ, связанных с производством электроэнергии.

5. Регулярное обслуживание и контроль оборудования:

- Проводите регулярное обслуживание оборудования, чтобы обеспечить его эффективную работу и предотвратить утечки или выбросы вредных веществ.
- Установите систему мониторинга выбросов, которая будет предупреждать о превышении допустимых уровней загрязнения. Это позволит быстро обнаружить и устранить возможные проблемы.

6. Обучение персонала:

- Организуйте обучающие программы для сотрудников по вопросам экологической безопасности, обращению с вредными веществами и практикам уменьшения выбросов.
- Подключите работников к процессу выявления и применения инновационных решений и технологий для уменьшения уровня загрязнения.

7. Взаимодействие с государственными регулирующими органами:

- Соблюдайте все требования законодательства в области охраны окружающей среды и работайте в тесном контакте с контролирующими органами.
- Регулярно передавайте отчетность о выбросах и предоставляйте доступ к информации о состоянии экологической безопасности вашего предприятия.

Эти рекомендации помогут предприятиям, выделяющим загрязняющие вещества через трубы, сократить негативное воздействие на окружающую среду и улучшить качество атмосферного воздуха.

Заключение

В ходе проделанной работы получены следующие результаты:

- Собраны данные о концентрации Загрязняющих веществ (ЗВ), а также посчитан по ним Обобщённый показатель (ОП). В данной работе был использован архив данных, а также данные с сайта экологического мониторинга г. Санкт-Петербург;

- Был построен временной ход по ОП за тёплый период 2023 года, а также найдены дни с максимальным загрязнением.

- Оценена корреляция между переменными. Была создана корреляционная матрица между станциями (таблицы 2.6 и 2.7), а также корреляция между CO и NO₂ на каждой из станций.

- По полученным данным ОП за дни с максимальным загрязнением воздуха, с помощью приложения “Surfer”, были созданы поля интерполяции. Метод интерполяции-кригинг. Также была определена зона с максимальным уровнем загрязнения воздуха.

- Проанализированы полученные данные;

Исследовательский подход включал подбор локаций для замеров концентрации Оксид углерода и Диоксида азота, установление временного интервала для сбора информации, а также использование статистических инструментов для выявления взаимосвязей между разнообразными компонентами атмосферы. В общем, данное исследование предоставило важные сведения о распределении и влиянии загрязнителей CO и NO₂ в Санкт-Петербурге, которые могут быть использованы для формирования будущих экологических стратегий, целью которых является сокращение уровня атмосферного загрязнения в городе.

Список использованных источников

1. Устройство автомобиля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ustroistvo-avtomobilya.ru/sistemy-snizheniyatoksichnosti/zagryaznenie-avtotransportom-okruzhayushhej-sredy/>.
2. Энциклопедия по охране труда | Учебный центр охраны труда БГТУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wiki.beltrud.ru/#mctm-O.https://rteco.ru/analizatory-gazov/chem-opasen-dioksid-azota-pdk-no2-vvozduhe-rabochej-zony>
3. Диоксид серы в промышленности (SO₂) — RTECO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rteco.ru/analizatory-gazov/dioksid-seryv-promyshlennosti-so2>.
4. Невидимое оружие история создания и применения химических средств временного поражения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nonkill.info/irritant/ch.shtml>.
5. Сажа | Энциклопедия по охране труда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wiki.beltrud.ru/sazha/>.
6. Гесс. М. Пластмассовая жизнь. Формальдегид и мы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tion.ru/blog/formaldegid/>.
7. Био журнал LookBio | Главное органик издание страны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lookbio.ru/bio-gid/vrednyeingredienty1/vrednye-ingredientyprochie/benzapiren-cto-eto-otkuda-istoit-li-ego-boyatsya/>.
8. Иноземцева. М. Гончаров. П. Что такое PM₁₀ и PM_{2.5}? Чем могут быть опасны тонкодисперсные частицы? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://бризекс.пф/blog/cto-takoe-pm10-pm25>.
9. Тех.эксперт. [Электронный ресурс]/ ГН 2.1.6.3492-17 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/556185926>
10. Бурячок Т.А. Энергетика. История, настоящее и будущее. [Электронный ресурс]/ Бурячок Т.А. - Книга 5. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире. 2012. – Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-3/section-2/2-1>
11. Алые паруса | проект для одарённых детей [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

https://nsportal.ru/ap/library/nauchno-tekhnicheskoe_tvorchestvo/2014/01/16/zavisimost-zagryazneniya-atmosfernogo-vozdukhoot

12. Сонькин Л.Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат. - 1991. - 223 с.
13. Сонькин Л.Р. Статистические и синоптические методы прогноза загрязнения воздуха в городах. Прогнозирование загрязнения атмосферы: Сборник докладов на международном совещании ВМО РА VI, Ленинград, ноябрь 1980г.,– Л.: Гидрометеиздат. - 1984. - С. 60-68.
14. Сонькин Л.Р., Николаев В.Д. Синоптический анализ и прогноз загрязнения атмосферы. – Л.: Метеорология и гидрология. – 1993. - №5. – С. - 224 с.
15. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. –Л.: Гидрометиздат. - 1986. – 200 с.
16. Безуглая Э.Ю. Смирнова И.В. Воздух городов и его изменения. – СПб.:Астерион, 2008. – 254 с.