



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

Кафедра экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Влияние метеорологических условий на загрязнение атмосферы в
городе Ростове-на-Дону»

Исполнитель Погорелова Алина Владимировна
(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

(фамилия, имя, отчество)

«24» июня 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Содержание

Введение.....	3
1 Охрана атмосферного воздуха в городской среде.....	5
1.1 Актуальность проблемы загрязнения атмосферного воздуха в крупных городах и классификация источников.....	5
1.1.1 Анализ состояния атмосферного воздуха по городам России	6
1.2 Классификация источников загрязнения атмосферного воздуха.....	12
1.3 Основные загрязнители и их влияние на качество атмосферного воздуха.	15
1.4 Метеорологические параметры, влияющие на загрязнение атмосферного воздуха	20
1.4.1 Солнечная радиация	20
1.4.2 Температура, температурные инверсии	21
1.4.3 Скорость ветра.....	23
1.4.4 Туман.....	24
1.4.5 Осадки	26
2 Физико-географическая характеристика города Ростов-на-Дону	28
2.1 Положение города Ростов-на-Дону	28
2.2 Гидрологический режим.....	29
2.3 Климатическая характеристика г. Ростов-на-Дону.....	30
2.4 Экологическая ситуация	36
3 Влияние метеорологических факторов на загрязнение атмосферного воздуха в Ростове-на-Дону.....	39
3.1 Анализ климатических изменений и их воздействия	39
3.2 Анализ изменения концентрации загрязнителей от метеорологических параметров.....	49
Заключение	71
Список литературы	73
Приложение 1	75

Введение

В современных условиях экологические проблемы становятся одним из ключевых факторов, определяющих качество жизни населения. Особую актуальность приобретает вопрос охраны атмосферного воздуха в крупных городах, где проживает значительная часть населения и сосредоточена основная промышленная и транспортная инфраструктура.

Ростов-на-Дону, являясь крупным административным, экономическим и промышленным центром юга России, сталкивается с серьёзными экологическими вызовами. Развитие промышленного комплекса, транспортной сети и социальной инфраструктуры приводит к изменению химического состава атмосферного воздуха и требует принятия эффективных мер по его охране.

Значительный вклад в загрязнение воздушного бассейна города вносят крупные промышленные предприятия, такие как литейный и комбайновый заводы. Их деятельность оказывает существенное влияние на экологическое состояние региона.

Система экологического мониторинга в Российской Федерации представляет собой многоуровневую структуру, включающую:

1. Посты и станции контроля качества воздуха;
2. Территориальные центры анализа и прогнозирования;
3. Федеральные организации, занимающиеся глобальными и национальными оценками состояния окружающей среды.

В данной выпускной квалификационной работе анализируется период с 2013 по 2023 годы с целью выявления взаимосвязей между метеорологическими характеристиками и уровнем загрязненности атмосферного воздуха в городе Ростове-на-Дону.

Актуальность тематики работы обусловлена её практической значимостью. Результаты исследования могут быть применены в дальнейших научных изысканиях и в деятельности по охране окружающей среды.

Основная цель выпускной квалификационной работы заключается в изучении воздействия метеорологических факторов на качество воздуха в Ростове-на-Дону.

Для достижения указанной цели была поставлена серия задач:

1. Выявить основные параметры, которые оказывают значительное влияние на уровень загрязненности атмосферного воздуха.
2. Создать базы данных, содержащие информацию о показателях загрязнения атмосферы и соответствующих метеорологических условиях.
3. Провести сопоставительный анализ между метеорологическими данными и уровнями загрязнения воздуха в Ростове-на-Дону за рассматриваемый период.

Бакалаврская работа включает в себя введение, три главы, заключение, список использованных источников и одно приложение.

Первая глава посвящена проблеме загрязнения воздуха в урбанизированных территориях, а также содержит классификацию источников загрязняющих веществ.

Во второй главе анализируется физико-географическая ситуация и экологические аспекты, касающиеся Ростова-на-Дону.

Третья глава сосредоточена на исследовании воздействия метеорологических параметров на общие уровни загрязненности атмосферного воздуха в городе.

1 Охрана атмосферного воздуха в городской среде

1.1 Актуальность проблемы загрязнения атмосферного воздуха в крупных городах и классификация источников

В условиях стремительной урбанизации проблема загрязнения атмосферного воздуха становится все более актуальной. С увеличением численности населения и расширением городских территорий, уровень загрязнения воздуха в мегаполисах продолжает расти, что негативно сказывается на здоровье людей и качестве жизни. Основные источники загрязнения атмосферы традиционно делятся на две категории: мобильные и стационарные.

Среди стационарных источников выделяются промышленные предприятия, которые вносят существенный вклад в загрязнение воздуха выбросами вредных веществ в результате производственной деятельности. Мобильные источники включают транспортные средства, среди которых важное место занимает автомобильный транспорт. К числу мобильных источников также относят водный транспорт, но именно автомобили становятся наиболее проблемной составляющей загрязнения городской среды.

Автомобильный транспорт представляет собой один из наиболее значимых факторов, негативно затрагивающих качество атмосферного воздуха в городах. Его влияние на экологическую обстановку особенно выражено на уровне 1.5–2 метров от поверхности земли, в пределах зоны, где осуществляется дыхание человека. В этом контексте автомобильные выбросы, содержащие угарный газ, оксиды азота и прочие вредные вещества, оказывают непосредственное воздействие на здоровье населения.

Для решения этой проблемы и минимизации негативного влияния автомобильного транспорта на атмосферный воздух необходимо внедрение эффективных градостроительных стратегий. Генеральные планы городов и

другие градостроительные документы должны включать комплекс мероприятий, направленных на снижение выбросов от автомобильного транспорта. Это может быть достигнуто через развитие общественного транспорта, создание зеленых зон, разработку новых маршрутов и оптимизацию дорожной инфраструктуры. Применение таких мер позволит не только улучшить качество воздуха, но и повысить общее благополучие жителей городов, обеспечивая более здоровую и комфортную городскую среду.

Таким образом, комплексный подход к планированию и регулированию транспортной системы является ключевым фактором в борьбе с загрязнением атмосферного воздуха, что делает данное направление исследования неизменно важным для устойчивого развития городов.

1.1.1 Анализ состояния атмосферного воздуха по городам России

В рамках данной бакалаврской работы проведен анализ уровня загрязнения атмосферного воздуха в различных регионах Российской Федерации. Исследование базировалось на данных, представленных в государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году». Анализ загрязнения атмосферного воздуха подготовлен с использованием осредненных значений концентраций, измеряемых на СКФМ веществ в воздухе за месяцы, сезоны и год, рассчитанных из рядов годового цикла наблюдений с января по декабрь 2023 г. [1].

Согласно итогам мониторинга за 2023 год, среднегодовые концентрации взвешенных частиц в атмосферном воздухе на территории Европейской части России колебались в пределах 14-32 мкг/м³. Эти данные свидетельствуют о стабильности экологической ситуации, так как значения аналогичны показателям, зафиксированным в течение последнего десятилетия (см. рис. 1.1). Интересно отметить, что сезонные колебания

содержания взвешенных частиц демонстрируют выраженный пик в теплый период года.

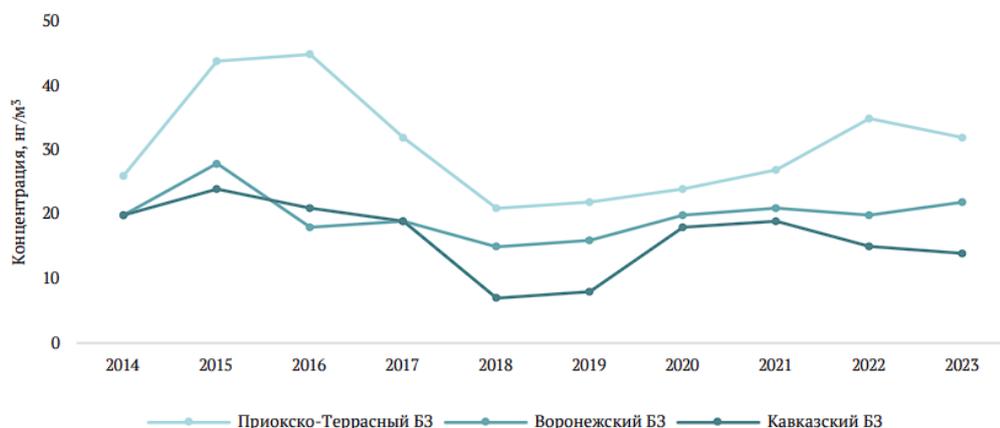


Рисунок 1.1 - Многолетнее изменение среднегодового содержания взвешенных веществ

Согласно проведенным исследованиям, среднегодовые концентрации свинца в атмосферном воздухе фоновых районов Европейской части России (ЕЧР) варьировались в диапазоне от 1,1 до 3,2 нг/м³. Анализ данных за последние пять лет показал отсутствие значимых изменений в содержании свинца в фоновых территориях (см. рис. 1.2).

Среднегодовые концентрации кадмия в атмосферном воздухе центральной части Европейской части России остаются стабильно низкими и в 2023 году составляют не более 0,094 нг/м³. Эти показатели соответствуют уровню, который наблюдался в течение последних пяти лет, что свидетельствует о стабильной экологической ситуации в данной области.

Тем не менее, в течение года междосуточные колебания содержания свинца и кадмия в воздухе были весьма выраженными. В определенные дни среднесуточные концентрации значительно превышали среднегодовые значения.

Важно отметить, что уровни свинца и кадмия в атмосферном воздухе, как правило, увеличиваются в холодный период года. Это может быть связано с увеличением отопительного сезона и использованием горючих

материалов, что приводит к повышению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Совокупность этих факторов подчеркивает необходимость постоянного мониторинга и контроля за качеством воздуха, особенно в зимние месяцы, когда показатели загрязнения могут достигать максимальных значений.

Фоновая концентрация ртути в атмосферном воздухе, данные о которой собираются исключительно в центральной части Европейской части России, составила 1,68 нг/м³. В некоторые дни уровень содержания ртути поднимался почти до 10 нг/м³ (см. табл. 1.1).

Таблица 1.1 - Итоги мониторинга загрязнения атмосферного воздуха на СКФМ за 2023 г.

Вещество	Показатели	Приокско-Террасный БЗ	Воронежский БЗ	Кавказский БЗ	Мариинск
Pb, нг/м ³	Среднегодовое значение	3,20	1,78	1,10	-
	Интервал изменений суточных концентраций	0,39-55,0	0,01-17,5	0,06-4,8	-
Cd, нг/м ³	Среднегодовое значение	0,077	0,094	0,074	-
	Интервал изменений суточных концентраций	0,01-19,8	0,016-4,0	0,002-0,20	-
Hg, нг/м ³	Среднегодовое значение	1,68	-	-	-
	Интервал изменений суточных концентраций	0,01-9,40	-	-	-
SO ₂ , мкг/м ³	Среднегодовое значение	0,10	0,14	0,01	0,03
	Интервал изменений суточных концентраций	0,05-1,5	0,03-0,88	0,01-0,05	0,001-3,17
NO ₂ , мкг/м ³	Среднегодовое значение	4,10	2,7	-	7,1
	Интервал изменений суточных концентраций	0,20-24,3	0,53-12,9	-	0,001-63,2
Сульфаты, мкг/м ³	Среднегодовое значение	0,90	-	-	-
	Интервал изменений суточных концентраций	0,05-10,9	-	-	-
Взвешенные вещества, мкг/м ³	Среднегодовое значение	32,0	22,0	14,2	-
	Интервал изменений суточных концентраций	2,0-178,0	9,0-31,0	4,7-35,8	-

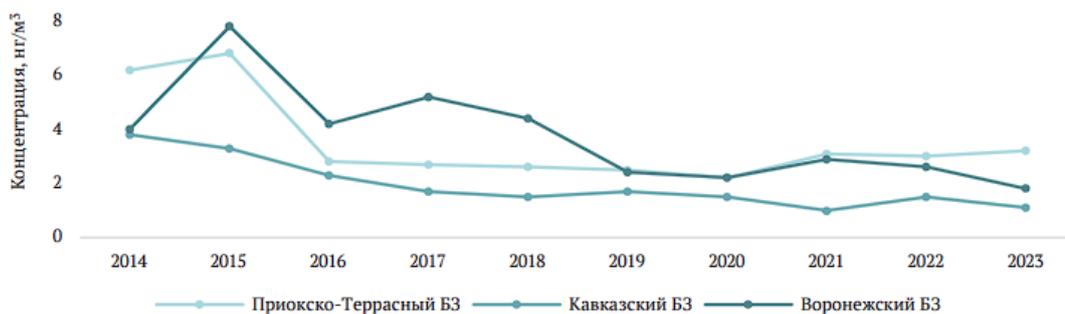


Рисунок 1.2 – Многолетнее изменение среднегодового содержания свинца

В 2023 году были зафиксированы среднегодовые фоновые концентрации сульфатов в центре Европейской части России (ЕЧР) на уровне приблизительно 0,9 мкг/м³. Анализ данных показал, что в 95% проведенных измерений концентрации сульфатов не превышали отметку в 3 мкг/м³ (рис. 1.3).

Характер распределения концентраций сульфатов демонстрирует интересную сезонную зависимость: в центральных районах ЕЧР повышенные концентрации данного вещества чаще всего наблюдаются в холодный период года. В то же время, в южных регионах повышенное содержание сульфатов более характерно для теплого времени года.



Рисунок 1.3 – Многолетнее изменение среднегодового содержания сульфатов

В 2023 году фоновые концентрации диоксида серы на станциях в Европейской части России (ЕЧР) остаются на низком уровне, варьируясь от 0,01 до 0,14 мкг/м³ (см. рис. 1.4). Тем не менее, зимой наблюдается значительный рост этих показателей. В центральной части ЕЧР максимальные уровни достигали 1,5 мкг/м³, тогда как на южном Урале отмечались значения до 3,17 мкг/м³ в отдельные дни.

Долгосрочный анализ показывает стабилизацию уровней диоксида серы после их существенного снижения за предыдущие десять лет. Явные сезонные колебания указывают на резкий рост содержания этого загрязнителя в зимний период, что связано с увеличением потребления отопительных систем и последующими выбросами в атмосферу. Это явление наиболее заметно в центральных и южных регионах ЕЧР, где воздействие отопительного сезона оказывает значительное влияние на экологическую ситуацию.

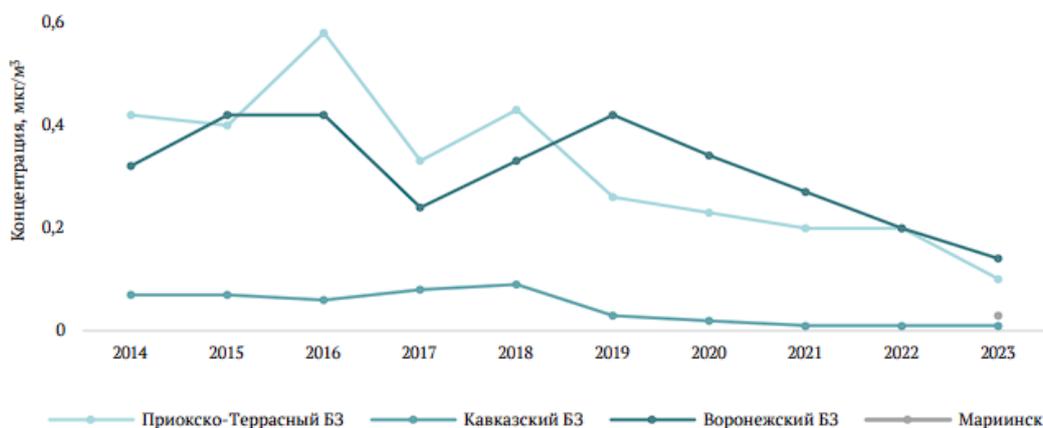


Рисунок 1.4 - Изменение среднегодового содержания диоксида серы в атмосферном воздухе фоновых районов, 2014-2023 гг.

В 2023 году фоновые концентрации диоксида азота в атмосферном воздухе Европейской части России оставались стабильными, варьируясь от 2,7 мкг/м³ до 7,1 мкг/м³, что соответствует предыдущим годам. В южном Урале средняя концентрация составила

7,1 мкг/м³, при этом максимальные значения достигали 63,2 мкг/м³ (см. рис. 1.5). Это свидетельствует о наличии местных источников загрязнения, связанных с промышленной активностью и высоким уровнем автомобильного трафика.

Диоксид азота представляет собой значимый атмосферный загрязнитель, оказывающий негативное воздействие на здоровье человека и экосистемы, вызывая респираторные заболевания и способствуя образованию озона. Регулярный мониторинг состояния атмосферного воздуха, особенно в регионах с повышенным уровнем загрязнения, является необходимым для разработки эффективных мер по охране окружающей среды и улучшению качества жизни.

Сезонные вариации концентраций диоксида азота демонстрируют явную зависимость от времени года. В зимний период в центральной части Европейской части России фиксируется увеличение уровней данного загрязнителя, что проявляется в повышенной частоте высоких среднесуточных значений. Это явление объясняется увеличением эмиссии диоксида азота, связанным с активностью промышленных предприятий и автомобилестроением, а также с возрастанием нагрузки на отопительные системы при низких температурах.

Таким образом, в холодное время года, когда наблюдается увеличение как промышленной, так и бытовой активности, уровни загрязнения атмосферы значительно возрастают. Данный факт подчеркивает необходимость мониторинга и разработки целенаправленных мероприятий по снижению выбросов, особенно в зимний период, для минимизации негативного влияния на здоровье человека и экологическое состояние.



Рисунок 1.5 - Изменение среднегодового содержания диоксида азота в атмосферном воздухе фоновых районов, 2014-2023 гг.

1.2 Классификация источников загрязнения атмосферного воздуха

Загрязнение атмосферного воздуха определяется как поступление или образование в нем вредных (загрязняющих) веществ в концентрациях, превышающих установленные государством гигиенические и экологические нормативы качества.

Существующая классификация источников загрязнения окружающей среды выделяет две основные группы: антропогенные и природные. К природным источникам загрязнения атмосферного воздуха относятся такие факторы, как:

- Извержения вулканов, сопровождающиеся выбросами пепла и различных газов, что значительно ухудшает качество атмосферы.
- Лесные пожары, в процессе которых выделяются дым, угарный газ и мельчайшие частицы, оказывающие негативное воздействие на здоровье и экосистемы.
- Песчаные бури, поднимающие в атмосферу большое количество пыли и способствующие ухудшению видимости.
- Эмиссия солей с поверхности океана в виде морских брызг, содержащих разнообразные химические соединения.

- Ветровая эрозия, которая способствует подъему пыли и мелких частиц с почвы и горных образований.

Эти природные явления в значительной мере способствуют естественному загрязнению атмосферного воздуха. Например, в ходе вулканической активности в атмосферу выбрасывается множество различных веществ, таких как азот, диоксид серы, углекислый газ и хлор.

Наибольшую угрозу для здоровья человека и экосистемы представляют пепел и газы, образующиеся во время извержений. Вулканический пепел состоит из мельчайших частиц пыли и песка, а также включает примеси горных пород. Эти выбросы могут иметь серьезные последствия, так как содержат токсичные вещества и мелкие твердые частицы, способные проникать в дыхательную систему, провоцируя различные заболевания и оказывая негативное воздействие на окружающую среду.

Пожары могут возникать вследствие естественных условий, так и антропогенных. К естественным условиям относятся разряд молнии, самовозгорания в следствии трения деревьев, высокая влажность и низкие температуры. Но чаще всего пожары происходят по антропогенным причинам (сжигание старой травы, листвы или бытовых отходов брошенная непотушенная сигарета или горящая спичка, огненная расчистка с помощью огня лесных площадей в сельскохозяйственных целях и т.д.) [2].

Сильные бури поднимают в воздух минеральную пыль, песок и другие загрязняющие вещества и способны перенести их на сотни и тысячи километров. В результате ветровой эрозии почв происходит, выдувание и перенос мелких частиц почвы ветром. Интенсивность эрозии в основном зависит от скорости ветра, устойчивости почв, формы рельефа, количества растительного покрова, а также выпас скота, уничтожение растительности для сельскохозяйственных целей и агротехнические предприятия [3].

Вынос морских солей с поверхности морей и океанов происходит за счет испарения воды из брызг и капель морской воды при волнении моря и 10 представляет собой кристаллы соли. Раздавливание капель на более

мелкие частицы и испарение приводит к образованию большого количества аэрозолей, переносимых воздушными потоками в атмосфере. Стабильность морских аэрозолей в атмосфере зависит от их дисперсности и метеорологических условий [4].

Антропогенные источники загрязнения атмосферного воздуха включают в себя несколько ключевых категорий, среди которых можно выделить:

- Транспортные средства,
- Промышленные предприятия химического и металлургического сектора,
- Тепловые и атомные электростанции,
- Сельскохозяйственное производство, включая животноводство, птицеводство и использование пестицидов,
- Свалки и площадки для переработки бытовых отходов.

Наиболее значительный вклад в эмиссии в атмосферу вносят автомобили, которые, согласно исследованиям, составляют примерно 75% всех вредных выбросов. Заметим, что железнодорожный транспорт выделяется как наиболее экологически чистый, поскольку его влияние на уровень загрязнения воздуха минимально — всего 3% от общего объема выбросов.

Выходящие газы, образующиеся при эксплуатации автомобилей, содержат высокую концентрацию свинца и различные парниковые газы, включая углекислый и угарный газы. Эти химические соединения подвергаются дальнейшим реакциям и могут содействовать образованию кислотных дождей, что наносит ущерб экосистемам.

Кроме того, предприятия химической и металлургической отраслей являются крупными источниками выбросов, производя в атмосферу твердые частицы, оксиды углерода и серы, а также токсичные соединения, такие как свинец, ртуть и марганец. В сельской местности основным фактором загрязнения являются животноводческие и птицеводческие комплексы. Их

выбросы, включая аммиак, возникающий из испарений удобрений и других химических веществ, вступают в реакции с продуктами горения, образуя мелкие твердые частицы (PM2.5), что также негативно сказывается на качестве воздуха.

По агрегатному состоянию выделяемые вещества делятся на три категории: твердые (свинец, пыль, сажа), жидкие (растворы солей, кислот и щелочей) и газообразные (диоксид серы, оксиды nitrogen, оксид углерода). Из них газообразные выбросы составляют более 90% общего объема, что подчеркивает их доминирующее воздействие на атмосферу. Таким образом, проблема загрязнения атмосферы требует комплексного подхода и активных действий со стороны различных секторов экономики для ее снижения и предотвращения дальнейшей деградации окружающей среды.

1.3 Основные загрязнители и их влияние на качество атмосферного воздуха.

Под загрязнением атмосферного воздуха понимают изменение состава и свойств атмосферного воздуха вследствие поступления или образования в нем физических, биологических факторов и (или) химических соединений, которые могут неблагоприятно влиять на здоровье людей и состояние окружающей природной среды. Загрязняющее вещество – это вещество химического или биологического происхождения, которое содержится или поступает в атмосферный воздух и может прямо или опосредованно отрицательно влиять на здоровье человека и состояние окружающей природной среды [5].

Влияние антропогенных факторов, в частности, выбросов от промышленных предприятий и автомобильного транспорта, на загрязнение атмосферного воздуха в крупных городах представляет собой комплексную экологическую проблему. Физическое воздействие загрязняющих веществ на атмосферу и их негативное влияние на здоровье населения и состояние

окружающей среды определяет актуальность и научную значимость данного исследования.

Качество атмосферного воздуха во многом определяется содержанием взвешенных частиц, таких как пыль. Технологически обусловленная пыль характеризуется разнообразием по объему, форме, химической структуре и плотности. Это разнообразие означает, что воздействие пыли на человеческий организм и окружающую среду может быть весьма различным и потенциально опасным [6].

Для оценки уровня загрязнения воздуха проводятся измерения концентрации различных загрязняющих веществ, которые выражаются в миллиграммах на кубический метр ($\text{мг}/\text{м}^3$) воздуха. Оседание пыли и аэрозольных частиц на поверхность земли измеряется в граммах на квадратный метр ($\text{г}/\text{м}^2$). Качество атмосферного воздуха также определяется сравнением концентраций загрязняющих веществ с установленными Предельно Допустимыми Концентрациями (ПДК), которые устанавливаются индивидуально для каждого типа загрязнителя.

Источники атмосферного загрязнения принято делить на две главные категории: естественные и антропогенные. Естественное загрязнение воздуха происходит из-за постоянно присутствующего в атмосфере определенного объема пыли, которая формируется в результате природных процессов. Эту пыль можно классифицировать на три типа: минеральная, органическая и космическая.

Минеральная пыль, как правило, образуется при эрозии горных пород, в то время как органическая пыль производится из растительных и животных остатков. Космическая пыль представлена частицами, пришедшими из космоса, которые также вносят свой вклад в состав атмосферы. Понимание этих процессов и оценка их влияния на качество воздуха крайне важны для разработки мер по защите здоровья человека и устойчивости экосистем. Таким образом, системный подход к мониторингу и контролю загрязнения

атмосферы является необходимым для улучшения экологической обстановки.

Антропогенное загрязнение, или искусственное загрязнение, является следствием различных видов человеческой деятельности, которые приводят к ухудшению качества атмосферного воздуха. Источники этих выбросов преобладают в трех главных категориях: промышленные предприятия, транспорт и сельское хозяйство.

Пыль, образуемая в результате этих действий, наносит значительный вред организму человека. Основные негативные влияния включают три ключевых аспекта:

- Механическое повреждение: Высокие концентрации пыли могут приводить к повреждениям органов дыхания, что вызывает серьезные заболевания и ухудшает общее состояние здоровья.
- Химическое воздействие: Пыль, содержащая токсичные вещества, становится причиной отравлений, влияющих на различные системы организма.
- Бактериологическое воздействие: Частицы пыли могут содержать патогенные микроорганизмы, которые, попадая в организм, способствуют возникновению инфекционных заболеваний.

Согласно данным специалистов, частицы размером менее 5 микрон способны проникать в легкие и достигать альвеол, что может вызвать тяжелые патологии, такие как хроническая обструктивная болезнь легких и астма. Более крупные частицы (от 5 до 10 микрон) оседают в верхних дыхательных путях и, хотя и менее опасны для легких, также могут вызывать респираторные проблемы и дискомфорт.

Особое внимание стоит уделить оксиду углерода (CO) — бесцветному, не имеющему вкуса и запаха газу, который образуется при горении углеводородных соединений.

В Таблице 1.2 приведены основные вещества, которые загрязняют атмосферный воздух.

Таблица 1.2 – Вещества, загрязняющие атмосферу

Вещество	ПДК _{мр} (мг/м ³)	ПДК _{сс} (мг/м ³)
Оксид углерода	5	3
Диоксид азота	0,2	0,04
Оксида азота	0,4	0,06
Диоксид серы	0,5	0,05
Аммиак	0,2	0,04
Озон	0,16	0,03
Взвешенные частицы	0,5	0,15

ПДК_{мр} - предельно допустимая максимально разовая концентрация, мг/м³.

ПДК_{сс} - предельно допустимая среднесуточная концентрация, мг/м³.

Взвешенные частицы – включают в себя пыль, сажу, пыльцу и споры растений, сильно различаются по размеру и составу. Около 50% частиц антропогенного происхождения выбрасывается в воздух из-за неполного сгорания топлива на транспорте, заводах, фабриках и тепловых электростанциях [7].

Оксид углерода (СО), известный как угарный газ, является бесцветным, безвкусным и малозаметным токсичным газом с плотностью около 1,25 г/л, что делает его легче воздуха и практически нерастворимым в воде. Он образуется в результате неполного сгорания органического топлива, древесины, табака и твердых отходов, а также при частичном анаэробном разложении. Более 50 % выбросов оксида углерода связано с антропогенной деятельностью, в частности, с работой двигателей внутреннего сгорания. Снижение его эмиссий критически важно для защиты общественного здоровья и экосистем.

Диоксид и оксид азота (NO₂) представляются в виде желто-бурого газа с резким раздражающим запахом, способствующим блокированию

дыхательных путей; при низких температурах газ приобретает бесцветную форму. Эти соединения негативно воздействуют на организм человека, прежде всего поражая дыхательную систему – от легкого раздражения слизистых оболочек до отека легких, сопровождающегося изменениями в составе крови и снижением уровня гемоглобина. Диоксид азота образуется при сжигании топлива при температурах выше 650°C в условиях избытка кислорода. Основными антропогенными источниками в городских условиях являются автомобильные выхлопы и выбросы тепловых электростанций.

Диоксид серы (SO_2) представляет собой бесцветный газ с характерным запахом, образующийся в результате сжигания ископаемых топлив, содержащих серу, таких как уголь и нефть. Кроме того, он возникает в процессе переработки сульфидных руд, которые также являются значительными источниками этого газа.

Аммиак (NH_3) — это бесцветный газ с резким неприятным запахом, образующийся в результате разложения органических веществ, содержащих азот. Важными источниками его выбросов являются заводы, производящие азотную кислоту и аммонийные соли, а также холодильные системы, коксохимические предприятия и фермы, занимающиеся животноводством. Аммиак представляет собой серьезную опасность для здоровья при вдыхании: острые отравления могут привести к повреждению органов зрения и дыхания, а в случае высоких концентраций возможен летальный исход. При контакте кожи с аммиаком возникают болевые ощущения, отеки и ожоги, сопровождающиеся образованием пузырей. Длительное воздействие этого газа может привести к хроническим нарушениям в работе пищеварительной системы, воспалению верхних дыхательных путей и снижению слуха.

Озон (O_3) формируется как продукт вторичного загрязнения атмосферы в результате фотохимических реакций, возникающих под воздействием солнечного излучения. Процесс образования озона включает расщепление молекул кислорода и диоксида азота, в результате чего

образуется активный атомарный кислород, который затем соединяется с обычными молекулами кислорода. В тропосфере данный газ действует как мощный окислитель, наносящий вред растительным организмам, строительным материалам, резинам и пластмассам. Характерный запах озона часто указывает на присутствие фотохимического смога, сигнализируя о высоком уровне атмосферного загрязнения.

1.4 Метеорологические параметры, влияющие на загрязнение атмосферного воздуха

Метеорологические факторы играют ключевую роль в процессах переноса и рассеивания загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу. В условиях современных городских агломераций, занимающих значительные территории (десятки и сотни квадратных километров), динамика концентрации вредных примесей определяется мезо- и макромасштабными атмосферными процессами. Наиболее значимыми параметрами, определяющими эффективность рассеивания загрязняющих веществ, являются режим ветра и термическая стратификация атмосферы.

1.4.1 Солнечная радиация

Солнечная радиация играет важную роль в процессах, способствующих загрязнению воздуха. Исследования показывают, что примерно 30% солнечного света, достигающего Земли, отражается обратно в космос, но оставшаяся часть способствует множеству фотохимических реакций в атмосфере. Интенсивное солнечное излучение инициирует эти реакции, что приводит к образованию вторичных загрязнителей. Например, под воздействием солнечного света диоксид серы (SO_2) окисляется, что ведет к формированию сульфатных аэрозолей, способствующих образованию облаков и ухудшающих качество воздуха.

Когда в атмосфере присутствуют оксиды азота (NO) и летучие органические соединения, солнечные условия запускают фотохимические процессы, приводящие к образованию фотохимического смога, особенно в городских районах. Этот смог может вызывать серьезные проблемы со здоровьем, включая респираторные заболевания и аллергии. Одним из самых токсичных веществ, образующихся в этих процессах, является пероксиацетилнитрат (PAN), который может оказывать негативное влияние на дыхательную систему даже в очень низких концентрациях.

1.4.2 Температура, температурные инверсии

Температура воздуха существенно влияет на уровни загрязняющих веществ в атмосфере. Высокие температуры приводят к стагнации воздушных масс, что способствует накоплению вредных примесей, особенно в жаркие летние месяцы, когда слабая вертикальная циркуляция затрудняет рассеивание загрязняющих веществ. Это ухудшает качество воздуха и может негативно сказываться на здоровье и экосистемах.

Напротив, низкие температуры обычно способствуют снижению концентрации загрязнений, так как более холодный воздух повышает плотность атмосферы, затрудняя вертикальное перемешивание.

Годовой ход концентрации загрязняющих веществ определяется температурными эффектами на перенос и трансформации загрязнителей. Летом, несмотря на снижение выбросов из-за окончания отопительного сезона, метеорологические условия могут вызывать увеличение концентраций загрязняющих веществ.

Температурные инверсии играют ключевую роль в процессах рассеивания примесей; приземные инверсии образуются близко к поверхности, а приподнятые — на определенной высоте. Если слой инверсии находится высоко, это снижает концентрацию загрязнителей, но если он

расположен ниже уровня выбросов, это может привести к увеличению их концентрации в нижних слоях атмосферы.

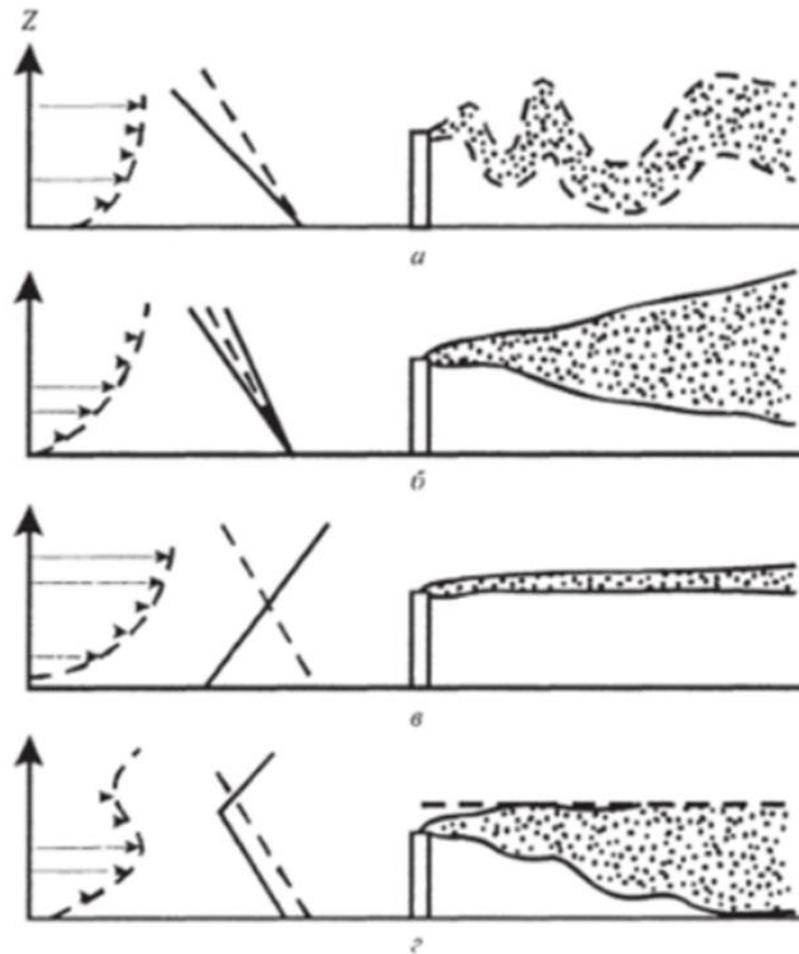


Рисунок 1.6 - Профиль скорости ветра, температурный профиль и форма струи в плоскости

На рис 1.6 изображены: профиль скорости ветра, температурный профиль и форма струи в плоскости AZ для различных атмосферных условий: сплошная линия - градиент температуры в окружающем воздухе; пунктир - сухоадиабатический вертикальный градиент температуры; а - волнообразная струя, сильная неустойчивость; б - конусообразная струя, устойчивость близка к безразличной; в - веерообразная струя, поверхностная инверсия; г-задымляющая струя, приподнятая инверсия.

Температурные инверсии в приземном слое тропосферы, как правило, обусловлены двумя основными процессами: радиационным выхолаживанием

земной поверхности и адвекцией теплых воздушных масс над холодной подстилающей поверхностью. Кроме того, формирование инверсий часто связано с охлаждением приземного слоя за счет затрат тепла на фазовые переходы воды, такие как испарение или таяние снега и льда. Дополнительными факторами, способствующими образованию инверсий, являются нисходящие движения в антициклонах и сток холодного воздуха в пониженные элементы рельефа.

Для оценки устойчивости пограничного слоя атмосферы применяется показатель, известный как «высота слоя перемешивания», который, как правило, соответствует высоте пограничного слоя. В пределах этого слоя регистрируются интенсивные вертикальные потоки, вызванные радиационным нагревом, а вертикальный градиент температуры приближается к сухоадиабатическому или превышает его значение. Определение высоты слоя перемешивания осуществляется на основе данных аэрологического зондирования атмосферы и максимальной температуры воздуха у земной поверхности за сутки. Наблюдается четкая зависимость между высотой слоя перемешивания и концентрацией примесей в атмосфере: повышение концентрации, как правило, фиксируется при уменьшении высоты слоя перемешивания, особенно если она составляет менее 1,5 км. При значениях высоты слоя перемешивания, превышающих 1,5 км, значимого увеличения концентрации загрязняющих веществ, как правило, не наблюдается.

1.4.3 Скорость ветра

Основным фактором распределения примесей в атмосфере является скорость ветра. Она влияет на концентрацию веществ, выбрасываемых из низких и высоких источников. При выбросе из высоких труб на больших скоростях ветра у земли наблюдается высокая концентрация примесей, поскольку газо-воздушная смесь, выходя из трубы, обладает плавучестью.

Это создает вертикальное поле скоростей около источника, способствуя подъему факела в верхние слои атмосферы. При низкой скорости ветра концентрация примесей у поверхности снижается, а эффективность подъема факела увеличивается. [8].

Для низких источников выбросов характерно повышение уровня загрязнения при слабых ветрах (0–1 м/с), обусловленное накоплением загрязняющих веществ в приземном слое. Важным фактором, влияющим на аккумуляцию примесей, является также продолжительность действия ветра определенной скорости, особенно слабого.

На направление ветра оказывает прямое воздействие на уровень загрязнения воздуха в городских условиях. Существенное увеличение концентрации примесей наблюдается при преобладании ветров с направлений, соответствующих расположению промышленных объектов.

Когда ветер затихает и достигает состояния почти полного штиля, происходит накопление загрязняющих веществ в районе приземного слоя атмосферы. Однако в то же время усиливается подъем горячих выбросов, что позволяет им подниматься в верхние слои атмосферы и способствует процессу их рассеяния. Таким образом, хотя на поверхности может наблюдаться увеличение концентрации загрязнителей, они все же могут быть распределены на высоте благодаря термальным условиям.

Тем не менее, в условиях инверсии температуры, формирующейся в этот период, может возникнуть "инверсионный слой", препятствующий вертикальному распространению выбросов. В этом случае наблюдается резкое увеличение концентрации примесей в приземном слое.

1.4.4 Туман

Туман — это атмосферное явление, скопление воды в воздухе, когда образуются наименьшие продукты конденсации водяного пара (при температуре выше -10° это маленькие капли воды, при $-10...-15^{\circ}$ - смесь

капель воды и кристаллов льда, при температуре ниже -15° - кристаллы льда, сияющие на солнце или лунном свете и фонари) [9].

Туман представляет собой помутнение приземного слоя атмосферы, вызванное присутствием взвешенных капель воды, ледяных кристаллов или их смеси, при котором горизонтальная дальность видимости в каком-либо направлении составляет менее 1 км.

Туманы оказывают сложное влияние на состав атмосферного воздуха. Капли тумана адсорбируют загрязняющие вещества, при этом процесс происходит не только в непосредственной близости от земной поверхности, но и в вышележащих, более загрязненных слоях атмосферы. В результате концентрация загрязняющих веществ существенно увеличивается в слое тумана, в то время как над ним наблюдается ее снижение. Важно отметить, что растворение диоксида серы в каплях тумана приводит к образованию серной кислоты, обладающей большей токсичностью. Увеличение массовой концентрации диоксида серы в условиях тумана способствует ускорению его окисления и образованию серной кислоты, потенциально в 1,5 раза большем объеме.

Фотохимический смог представляет собой особую форму загрязнения атмосферы, характеризующуюся высокими концентрациями оксидов азота и летучих органических соединений. Его образование обусловлено серией фотохимических реакций, инициируемых солнечным светом, которые приводят к образованию озона и других вторичных загрязнителей. Для возникновения фотохимического смога необходимы следующие условия: низкая влажность воздуха, слабое или отсутствующее ветровое движение, способствующее стагнации воздушных масс, и, самое главное, наличие в атмосфере высоких концентраций оксидов азота и углеводородов.

Формирование фотохимического смога происходит в результате последовательных реакций окисления углеводородов, протекающих в сопряжении с окислением оксида азота. Основным продуктом этих реакций является озон.

Чаще всего такой смог наблюдается в Лондоне, Лос-Анджелесе, Париже и других города Америки и Европы. Они являются довольно опасными для кровообращения и органов дыхания. Следует отметить, что они становятся основанием для ранней смерти жителей в мегаполисах с низким уровнем здоровья [10].

1.4.5 Осадки

Атмосферные осадки оказывают существенное влияние на процессы самоочищения атмосферы, способствуя удалению загрязняющих веществ. После интенсивных и продолжительных осадков, как правило, наблюдается низкий уровень концентрации примесей. Восстановление исходного уровня загрязнения атмосферного воздуха происходит приблизительно в течение 12 часов после выпадения осадков, при этом наиболее чистым воздух является непосредственно после их выпадения. Эффективность очистки воздуха зависит от количества и характера осадков: чем больше объем выпавших осадков, тем сильнее очищается атмосфера. Ливневые осадки демонстрируют более высокую эффективность очистки воздуха по сравнению с обложными.

Концентрация загрязняющих веществ, таких как диоксид серы (SO_2) и диоксид азота (NO_2), значительно уменьшается в результате осадков. Чем интенсивнее дождь, тем быстрее снижается уровень этих токсичных соединений в атмосфере. Дождевая вода способствует смыванию диоксида серы, что приводит к его более быстрому удалению из воздуха.

Это происходит благодаря тому, что осадки не только очищают атмосферу от загрязнителей, но и способствуют их нейтрализации, уменьшая вредное воздействие на здоровье людей и экосистемы.

С учетом вышеизложенного, при анализе условий формирования среднего уровня загрязнения атмосферного воздуха необходимо учитывать параметры, характеризующие осадки, такие как интенсивность и общее количество выпавших осадков. Атмосферные осадки способствуют

вымыванию примесей из атмосферы, а их интенсивность определяет скорость этого процесса.

Кислотные осадки, представляющие собой дождь или снег, стали серьезной проблемой для окружающей среды. Они возникают в результате выбросов оксидов серы и азота, в основном при сжигании ископаемого топлива: нефти, угля и природного газа. Загрязнители взаимодействуют с водяным паром и образуют растворы серной и азотной кислот.

При осадках эти кислоты достигают земной поверхности, оказывая вредное воздействие на экосистемы, почвы и водоемы. Кислотные дожди снижают pH в почве, что отрицательно сказывается на растительности и водных организмах. Данное явление влияет на здоровье человека, вызывая респираторные заболевания. Кислотные осадки представляют собой угрозу, требующую действий для сокращения выбросов загрязняющих веществ.

Различные природные среды по-разному реагируют на данный процесс. Химические свойства воды и почвы могут меняться из-за кислотных осадков. Рыба начинает уплывать, если вода становится кислой, то есть pH составляет менее пяти. На пример, в США в горах Адирондак, а также в южном регионе Норвегии, Швеции. Если происходит нарушение трофических цепей, результатом будет уменьшение видов морских животных, бактерий и водорослей. Кислотные дожди приводят к ускорению разрушений таких конструкций, как скульптуры, памятники, здания из бетона и мрамора [11].

2 Физико-географическая характеристика города Ростов-на-Дону

2.1 Положение города Ростов-на-Дону

Ростов-на-Дону — это значимый административный центр Южного федерального округа и Ростовской области, находящийся на юго-западе России. Город занимает стратегически важное местоположение на юго-востоке Восточно-Европейской равнины, располагаясь на правом берегу реки Дон всего в 46 километрах от устья, которое впадает в Азовское море. Это делает его важным транспортным узлом, соединяющим пять морей: Черное, Средиземное, Азовское, Балтийское и Каспийское.

Ростов-на-Дону расположен в юго-западной России, где основная застройка находится на правом берегу Дона, а его окрестности примыкают к дельте реки на юго-западе. Такой стратегический доступ к важным водным путям способствует развитию торговли, транспорта и экономики региона в целом.

Кроме того, Ростов-на-Дону находится на пересечении нескольких транспортных магистралей, включая железные дороги и автомобильные трассы, что усиливает его роль как логистического центра. Город также играет важную экологическую роль, находясь вблизи зоологических и ботанических резервов, которые поддерживают биоразнообразие региона. Уникальная географическая позиция Ростова способствует не только экономическому росту, но и культурному обмену, а также привлекает туристов благодаря своему историческому наследию и живописным природным ландшафтам.

Административные границы Ростова-на-Дону простираются на 32,5 км с севера на юг и на 27 км с запада на восток. Географический центр города находится в Ленинском районе. Общая площадь города составляет 348 км².

Территория муниципального образования подразделяется на восемь районов города: Ворошиловский, Железнодорожный, Кировский, Ленинский, Октябрьский, Первомайский, Пролетарский, Советский [12].

2.2 Гидрологический режим.

Основным водным объектом, определяющим гидрологический ландшафт Ростова-на-Дону и его окрестностей, является река Дон, протекающая с востока на запад. Дон представляет собой типичную равнинную реку со степным типом водного режима. Русло реки характеризуется слабой извилистостью, а ширина русла в пределах города в летне-осенний период составляет 200–250 метров. Пойма реки ровная и открытая, ее ширина в районе Ростова-на-Дону достигает 10–12 километров, изобилуя старицами и озерами. Основным источником питания реки служат атмосферные осадки, аккумулированные в зимний период и поступающие в реку во время весеннего снеготаяния. Ранее этот период характеризовался интенсивными паводками, приводившими к затоплению отдельных районов Ростова-на-Дону и Батайска. В настоящее время сток реки зарегулирован Цимлянской плотиной, и затопление поймы наблюдается только в годы с экстремально высоким уровнем воды.

В настоящее время половодье на Нижнем Дону практически не выражено, поскольку основной сток аккумулируется в Цимлянском водохранилище. Для Нижнего Дона характерны сгонно-нагонные явления, обусловленные ветровым воздействием. Восточные ветры ("верховка"), направленные по течению, вызывают сгон воды, понижая уровень в отдельные годы до 2,5 метров. Сильные юго-западные ветры ("низовка"), дующие против течения, нагоняют воды Азовского моря, что приводит к подъему уровня воды в реке до 2 метров. Ветровые колебания уровня воды наблюдаются в течение всего года, но наиболее часто – в период с сентября по ноябрь (сгон) и с июля по август (нагон).

Вторым по значимости водным объектом в черте города является река Темерник, правый приток Дона. Эта река имеет постоянный сток в течение всего года, благодаря наличию водохранилища, известного как Ростовское море, созданного в ее бассейне для целей обводнения. В районе Северного жилого массива на реке Темерник сооружены два пруда руслового типа общей площадью около 53 гектаров. Берега этих прудов в основном пологие, покрыты травяной растительностью. Заращение прудов происходит незначительно, преимущественно вдоль береговой линии. Дно прудов ровное, илисто-песчаное, местами галечное (искусственная насыпь). Качество воды относительно высокое. С левого берега к прудам примыкают сады.

Небольшие пруды на территории города созданы в районе аэропорта и пос. Орджоникидзе с помощью земляных плотин и вытянуты вдоль русла р. Кизитеринки. Питание пруды получают, в основном, за счет атмосферных осадков, и, частично, за счет подземных вод, выходящих в виде родников [13].

2.3 Климатическая характеристика г. Ростов-на-Дону

Климат Ростова-на-Дону формируется под воздействием его географического положения в умеренной и умеренно континентальной климатической зоне, что выражается в теплых зимах и минимальном снежном покрове. Город находится на западных воздушных путях, где встречаются морские и континентальные воздушные массы.

Морские массы из юго-запада и северо-запада приносят осадки и мягкую погоду зимой, в то время как летом континентальные массы с востока и юга создают сухой воздух и высокие температуры, часто сопровождаемые редкими похолоданиями.

Дальность Ростова от Атлантики и Арктики ослабляет влияние холодных воздушных масс, однако меридиональные циркуляции могут вызывать резкие похолодания. Рельеф местности влияет на распределение воздушных масс и создает локальные микроклиматы, благодаря чему климат города остается уникальным.

В Ростове-на-Дону самый холодный месяц — январь (средняя температура $-5,7^{\circ}\text{C}$), а самый теплый — июль (средняя температура $22,9^{\circ}\text{C}$). Среднегодовая температура составляет $8,7^{\circ}\text{C}$.

Таблица 2.1 – Средняя месячная, максимальная и минимальная температура воздуха

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя месячная температура	-5,7	-5,1	0,2	9,0	16,4	20,0	22,9	22,1	16,2	9,2	2,2	-3,1
Абсолютный максимум температуры воздуха	15,0	19,0	28,0	31,0	35,0	38,0	40,0	40,0	36,0	33,0	25,0	15,0
Абсолютный минимум температуры воздуха	-33,0	-31,0	-28,0	-10,0	-2,0	0,0	8,0	4,0	-5,0	-10,0	-25,0	-28,0

На рис. 2.1 можно увидеть динамику изменений средней, максимальной и минимальной температур воздуха по месяцам. Температурные различия между июлем, августом и январём, февралём невелики и не превышают 1°C . В апреле, мае, сентябре и октябре средние месячные температуры отличаются друг от друга незначительно. Наблюдается существенное снижение температур: от августа к сентябрю на $5,9^{\circ}\text{C}$, от сентября к октябрю — на $7,0^{\circ}\text{C}$.

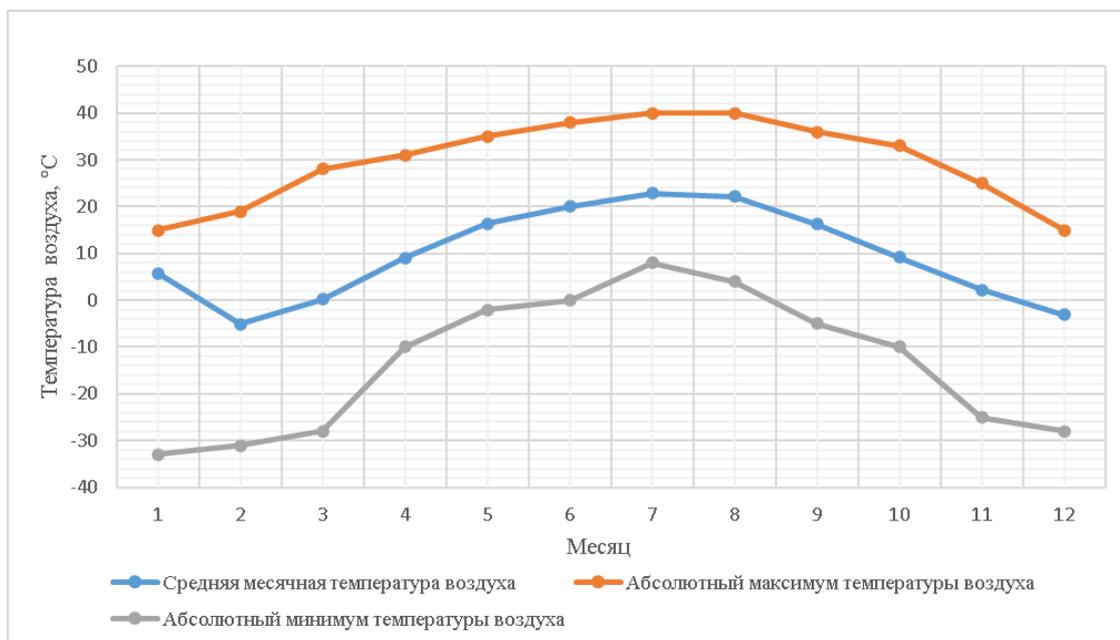


Рисунок 2.1 – График годового хода температуры воздуха

Термический режим сильно зависит от направления ветра. Зимой минимальные температуры чаще всего фиксируются при северо-восточном и восточно-северо-восточном ветре, когда температура может опускаться до -10°C в январе. При юго-юго-восточных и южных ветрах зимой температура поднимается до $0,4-0,5^{\circ}\text{C}$. Абсолютный максимум температуры воздуха летом достигает 40°C , а зимой колеблется от 15 до 20°C . Даже в самые холодные годы в июле температура летом может подниматься до $30-31^{\circ}\text{C}$.

Влажность воздуха напрямую зависит от температуры: с её повышением увеличивается испарение и, соответственно, содержание влаги в атмосфере. Зимой при пониженных температурах для насыщения воздуха требуется меньше влаги.

В разных районах города уровень влажности изменяется незначительно, хотя вблизи водоёмов наблюдается некоторое её повышение. Летом высокая влажность в сочетании с высокой температурой приводит к ощущению духоты. В Ростове-на-Дону число душных дней зимой варьируется от 12 до 16 в каждый летний месяц, при этом максимальное их количество приходится на июль. Относительная влажность закономерно

меняется в противоположном направлении по сравнению с парциальным давлением водяного пара: зимой она достигает максимальных значений — в ноябре-декабре колеблется от 40 до 50%, а в январе-феврале увеличивается до 80-90%. Весной при повышении температуры воздуха относительная влажность снижается до 70%. В отдельные годы показатели влажности могут значительно отличаться от средних значений.

Одним из ключевых климатических факторов являются осадки. Географическое положение Ростова-на-Дону, сочетание обширных равнин и близость теплых южных морей влияют на характер атмосферной циркуляции, обеспечивающей осадки в регионе. Основное происхождение осадков связано с фронтальными процессами, а также частично с местными явлениями. Доля местных осадков относительно фронтальных меняется по временам года: осенью — 6%, зимой — 8%, весной — 16%, летом — 13%.

Среднегодовое количество осадков в городе составляет 483 мм, что соответствует 0,5 тонны воды на квадратный метр площади. Максимальная интенсивность осадков наблюдается в середине лета, конце осени и начале зимы. Согласно рис. 2.2, самым дождливым месяцем является июнь с 61 мм осадков, а самым засушливым — сентябрь с 32 мм.

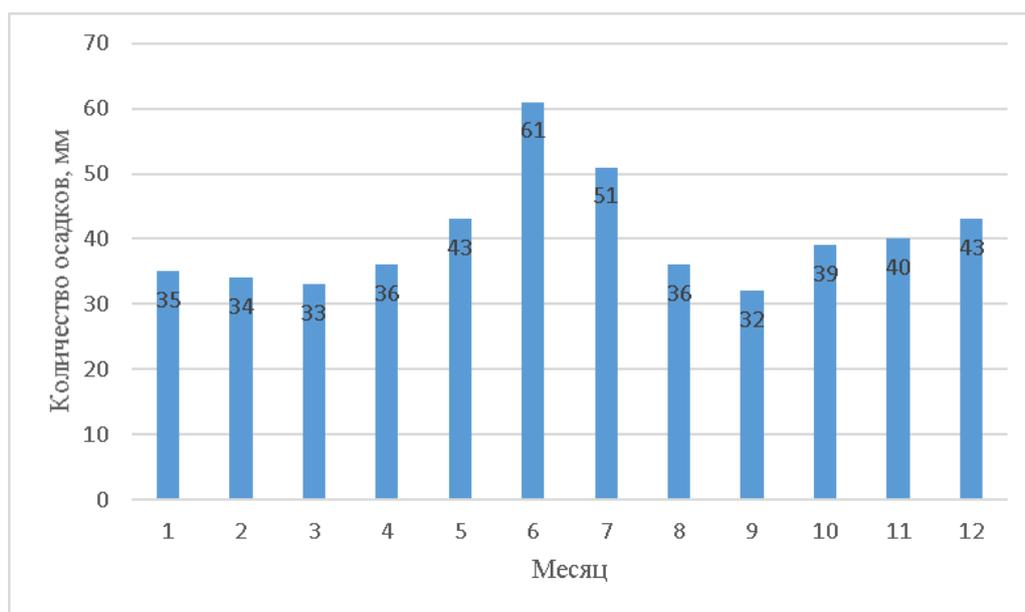


Рисунок 2.2 – График годового хода осадков в городе Ростов-на-Дону

В целом преобладают жидкие осадки (около 70%), на твёрдые приходится всего около 8%. Обильные дожди бывают редко — в среднем дважды в год. Регион характеризуется длительной продолжительностью дождей — около 793 часов в год.

Ветровой режим Ростова-на-Дону формируется под влиянием широтной циркуляции, которая особенно выражена в холодное время года. С наступлением осени, из-за охлаждения материка, возникновения стационарного антициклона над Казахстаном и образования черноморской депрессии, преобладают ветры восточных направлений. Зимой эти процессы проявляются наиболее ярко: усиливается повторяемость восточных ветров и возрастает барический градиент, что приводит к увеличению скорости ветра. Летом циркуляция воздушных масс ослабевает. Ветры формируются преимущественно за счёт трансформации воздушных масс в медленно перемещающихся азорских и арктических антициклонов. Особенно заметно это во второй половине лета, когда частота атлантических циклонов существенно снижается, и процессы трансформации воздушных масс становятся доминирующими. Постоянное влияние восточных румбов является характерной особенностью ветрового режима города. В течение года наибольшая повторяемость наблюдается у ветров восточного направления (34 %), а повторяемость западных ветров достигает до 18 %. Остальные направления ветра встречаются значительно реже. Аналогичное распределение ветров характерно для всех районов Ростова-на-Дону и прилегающих территорий (рис. 2.3).

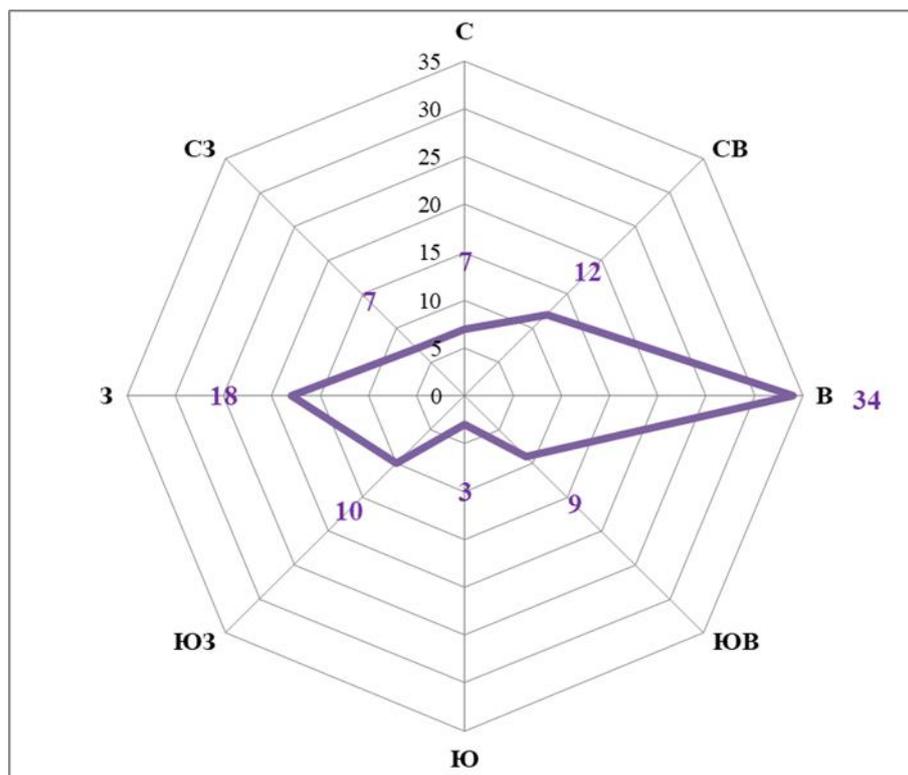


Рисунок 2.3 - Повторяемость (%) направлений ветра

Средняя многолетняя скорость ветра в Ростове-на-Дону составляет 4,6-5,8 м/с, с увеличением зимой (5-7 м/с) и минимальными изменениями летом. Наибольшее количество ветров фиксируется в диапазоне 2-5 м/с (46%), в то время как скорости 6-7 м/с встречаются в 15% случаев. Восточные ветры имеют максимальную среднюю скорость 6,4 м/с и повторяемость 28%. Зимой восточные ветры достигают 7-8 м/с, а в летние месяцы их скорость снижается до 5 м/с.

Штилевая погода, наблюдаемая 5-14% месяца, чаще встречается летом (10-14%) и реже зимой (5-7%). В климате города также наблюдаются атмосферные явления: в среднем 54 дня с туманами, преобладающими в холодный период. Гололед — наиболее часто встречающееся явление, а метели являются редкостью, фиксируясь в среднем 14 дней в году, главным образом в январе и феврале.

Грозы с молниями и шквалистым ветром чаще происходят с апреля по октябрь, тогда как град наблюдается редко — всего 1-2 дня в год, и, как правило, не превышает пятиминутной продолжительности.

2.4 Экологическая ситуация

Загрязнение воздуха в Ростове-на-Дону вызвано несколькими ключевыми источниками. Наибольший вклад вносят автомобильный и железнодорожный транспорт, что обостряется растущим числом автомобилей в городе.

Промышленные предприятия, такие как комбайновые заводы «Ростсельмаш», а также заводы в соседних городах — Шахтах, Волгодонске и Таганроге, также играют значительную роль. Агропромышленные хозяйства и строительные компании добавляют к проблеме, внося пыль и вредные выбросы в атмосферу.

Не стоит забывать о местном аэропорте, который также способствует ухудшению качества воздуха. Среди основных стационарных источников можно выделить МУП «Теплокоммунэнерго», филиал ОАО «ТГК-8» и лакокрасочный завод ЗАО «Эмпилс».

Таким образом, комплексное воздействие различных секторов экономики и промышленных объектов требует более внимания к вопросам охраны окружающей среды в Ростове-на-Дону.

Наблюдения проводились на 7 стационарных станциях ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС», соответствующих требованиям РД 52.04.186–89. Станции делятся на «городские фоновые» (21 и 55), «промышленные» (44 и 52) и «авто» (51 и 29) вблизи автомагистралей. Это деление условно, так как размещение источников выбросов затрудняет четкое разграничение районов [1].

На рис.2.4 представлена карта с расположением данных станций.

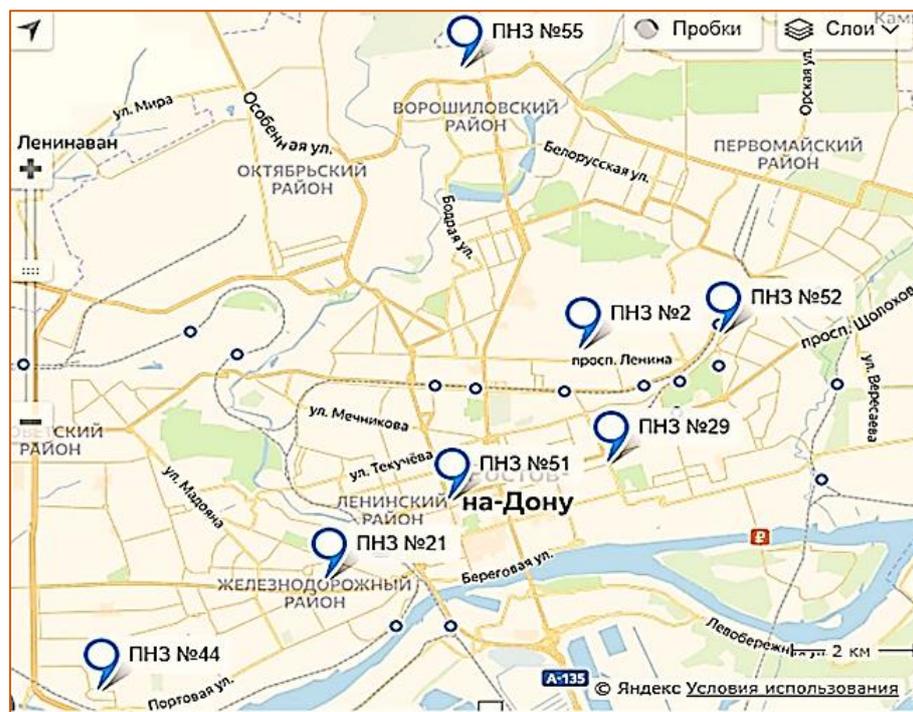


Рисунок 2.4 – Расположение постов мониторинга за загрязнением атмосферного воздуха в г. Ростове-на-Дону

Анализируя загрязнение районов города, следует отметить, что наибольший уровень загрязнения, в первую очередь такими примесями как формальдегид и взвешенные вещества, характерен для центральной части города вблизи автотранспортных магистралей (станция № 51.) Такой же уровень загрязнения следует предположить и в аналогичных районах города Ростова-на-Дону, где одним из основных источников выбросов является автотранспорт [1].

В других районах Ростова-на-Дону уровень загрязнения воздуха ниже, однако при этом наблюдаются свои особенности. Так, в районах, прилегающих к холодильным комплексам и оптовым базам, отмечается повышенное содержание аммиака. В наиболее открытых и подверженных воздействию солнечной радиации зонах, где расположены станции №51 и №55, фиксируется повышенный уровень формальдегида.

Отмечается снижение уровня загрязнения взвешенными веществами, оксидом углерода, углеродсодержащим аэрозолем (сажа), фторидом

водорода, аммиаком и бенз(а)пиреном. Уровень загрязнения воздуха сероводородом и фенолом не изменился [1].

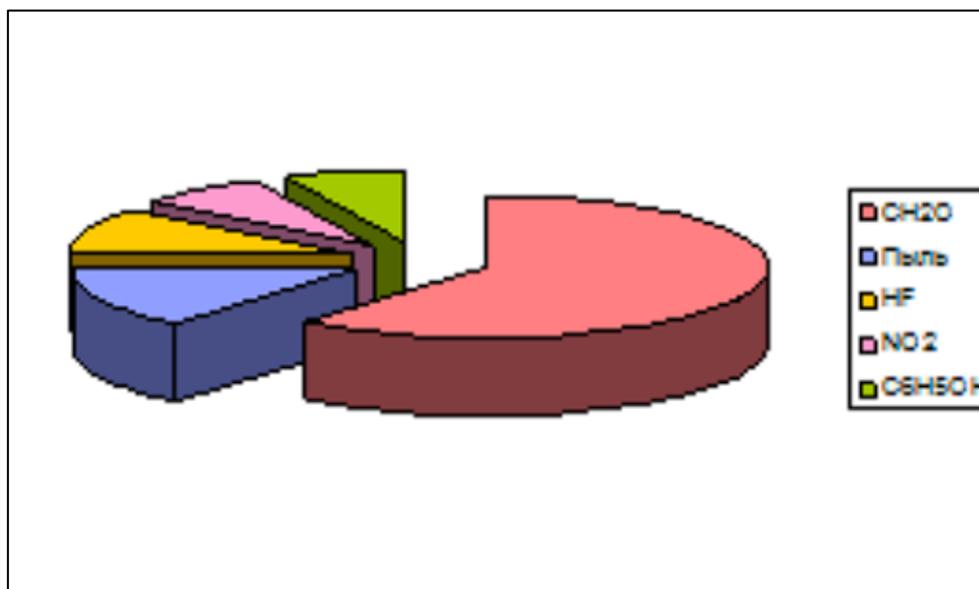


Рисунок 2.5 – Вещества, вносящие основной вклад в формирование уровня загрязнения воздуха в г. Ростове-на-Дону (по значениям парциальных ИЗА)

Уровень загрязнения воздуха в Ростове-на-Дону считается крайне высоким, что подтверждается индексом загрязнения атмосферы (ИЗА5) — 14, суммарным индексом (СИ) — 6,2 и нормой превышения (НП) — 13,5%. Главными виновниками такого состояния являются повышенные концентрации формальдегида, взвешенных частиц, фтористого водорода, диоксида азота и фенола.

3 Влияние метеорологических факторов на загрязнение атмосферного воздуха в Ростове-на-Дону

3.1 Анализ климатических изменений и их воздействия

Метеорологические характеристики играют решающую роль в формировании уровня загрязненности атмосферного воздуха в Ростове-на-Дону. Они влияют на процессы, связанные с рассеиванием и переносом загрязняющих веществ, что, в свою очередь, непосредственно сказывается на качестве воздуха, которым дышат жители города. Именно от метеорологических условий зависят как краткосрочные, так и долгосрочные изменения в атмосферной среде.

Цель данного исследования заключается в детальном изучении закономерностей, которые связывают качество атмосферного воздуха с изменениями климатических факторов. Почему это так важно? Потому что различные погодные условия, такие как скорость и направление ветра, температура, атмосферное давление и влажность, могут значительно менять концентрацию загрязняющих веществ в воздухе. Например, когда ветер усиливается, он способен быстро разгонять частицы загрязнителей, снижая их уровень, тогда как тишина и спокойствие создают благоприятные условия для их накопления в низких слоях атмосферы.

Кроме того, температура и влажность влияют на химические реакции в атмосфере, которые могут усиливать или ослаблять воздействие загрязняющих веществ на окружающую среду и здоровье человека. Таким образом, тщательное изучение этих взаимосвязей имеет огромное значение для разработки экологически обоснованных стратегий, направленных на улучшение качества атмосферного воздуха в Ростове-на-Дону.

В качестве исходных данных использованы архивные метеорологические наблюдения города Ростова-на-Дону за период с 2013 по 2023 годы, которые были сопоставлены с показателями концентраций

различных загрязняющих веществ в атмосфере. Были построены графические модели динамики многолетних превышений предельно допустимых концентраций и соответствующих метеорологических параметров.

На рисунке 3.1 представлен многолетний ход температуры воздуха. На графике видны два заметных пика температуры в 2018 и 2019 годах ($11,8^{\circ}\text{C}$), после которых следует значительное снижение. Минимум наблюдается в 2021 году - $10,7^{\circ}\text{C}$.

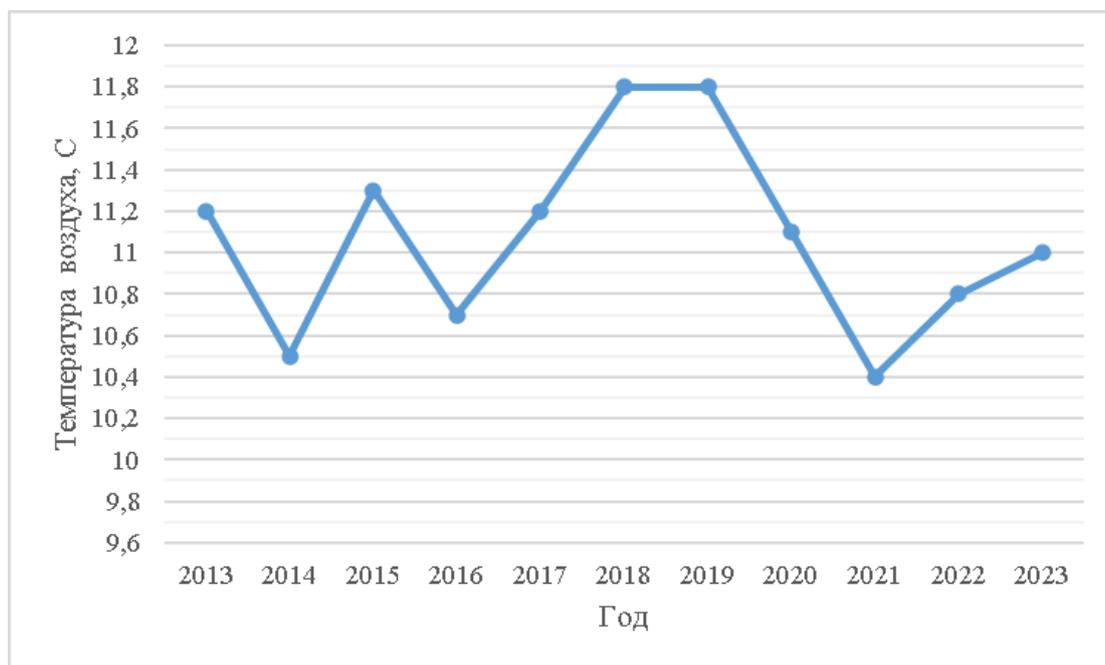


Рисунок 3.1 - График многолетнего хода среднегодовой температуры воздуха

Анализ данных, представленных на графиках 3.2 и 3.3, демонстрирует вариабельность распределения температурных инверсий в период с 2013 по 2023 год.

В отношении приземных инверсий отмечается значительный разброс значений: максимальное количество зафиксировано в 2017 году и составило 432 случая, в то время как минимальное значение зарегистрировано в 2019 году – 291 случай.

Что касается приподнятых инверсий, их динамика характеризуется: наибольшее количество наблюдалось в 2014 году – 213 случаев, а минимальное значение зафиксировано в 2017 году – 138 случаев.

Примечательно, что 2017 год стал рекордным как по количеству приземных инверсий, так и по минимальному числу приподнятых инверсий.

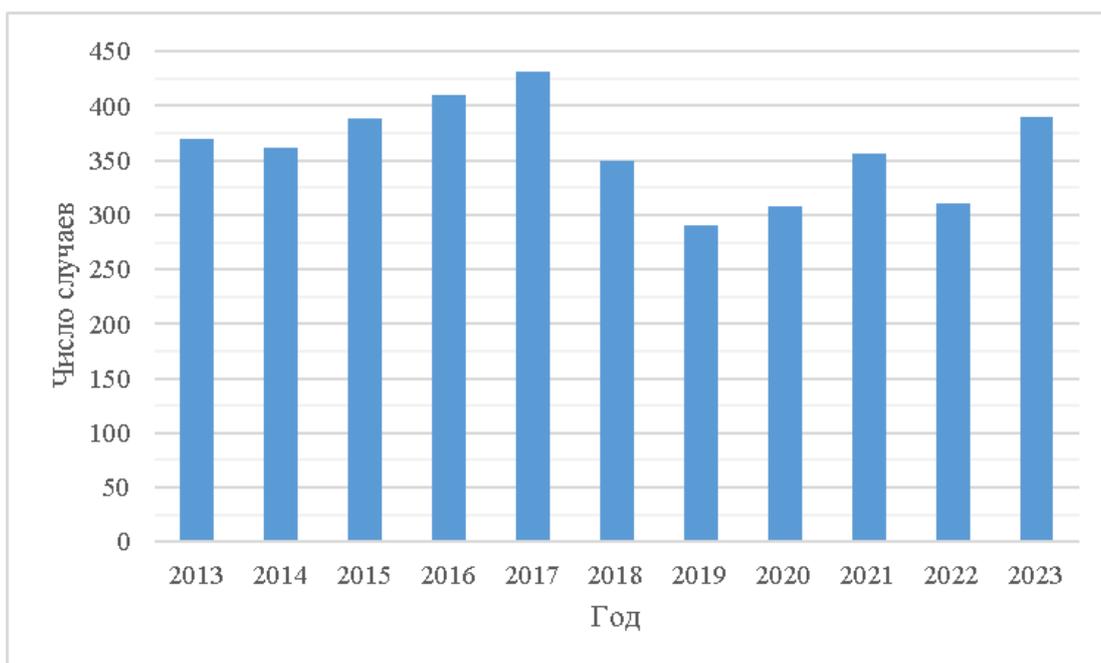


Рисунок 3.2 - – График распределения приземных инверсий

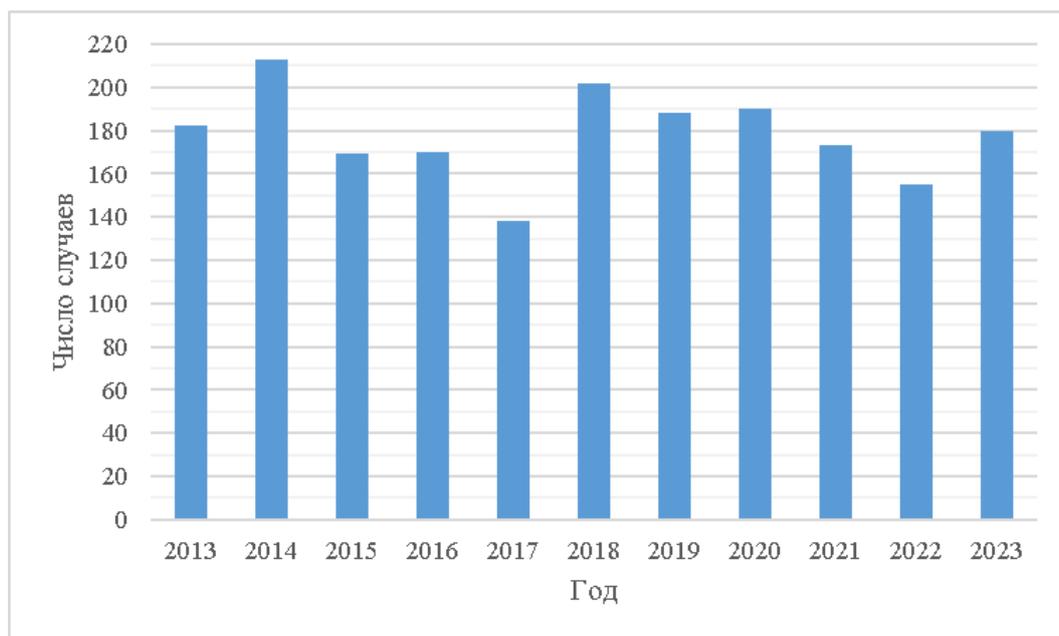


Рисунок 3.3 - – График распределения приподнятых инверсий

Среднегодовые показатели скорости ветра за период в 11 лет демонстрируют относительно стабильный характер. В течение временных промежутков с 2013 по 2015 год и с 2021 по 2023 год скорость ветра оставалась на уровне 5 м/с. В то время как в 2019 году наблюдалось снижение этого показателя до 3 м/с. Таким образом, на протяжении всего исследуемого периода можно отметить чередование периодов с более высокой и более низкой скоростью ветра (см. рис. 3.4).

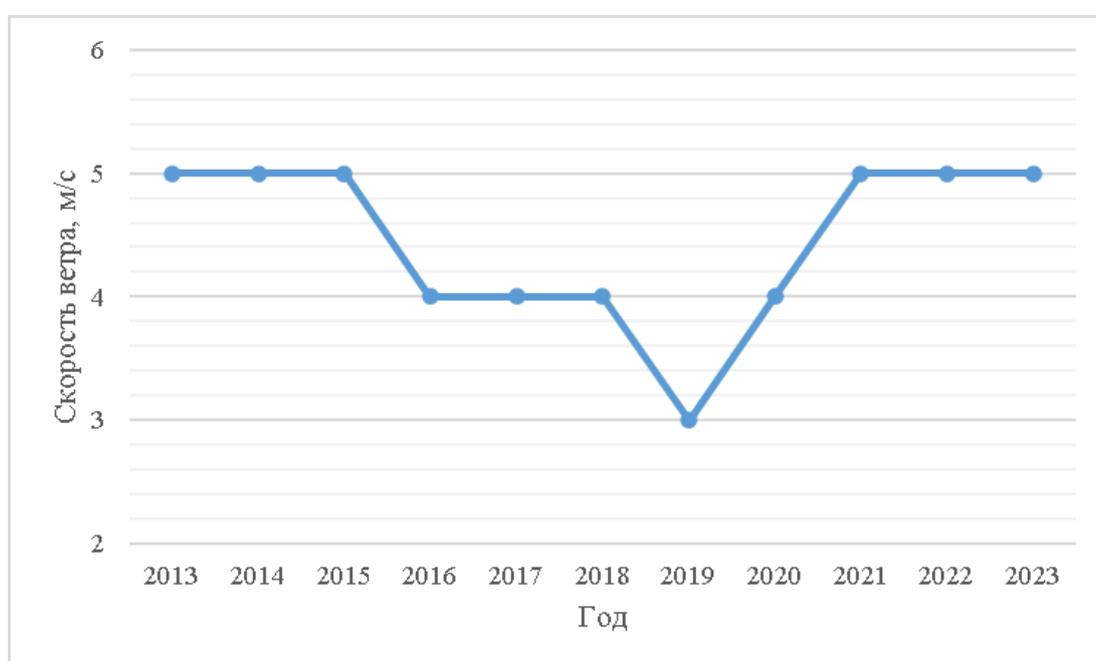


Рисунок 3.4 - График многолетнего хода скорости ветра

В течение наблюдаемого периода (см. рис. 3.5) максимальное среднегодовое количество осадков составило 61 мм и было зафиксировано в 2016 году. В то же время минимальное значение, равное 33 мм, было отмечено в 2022 году.

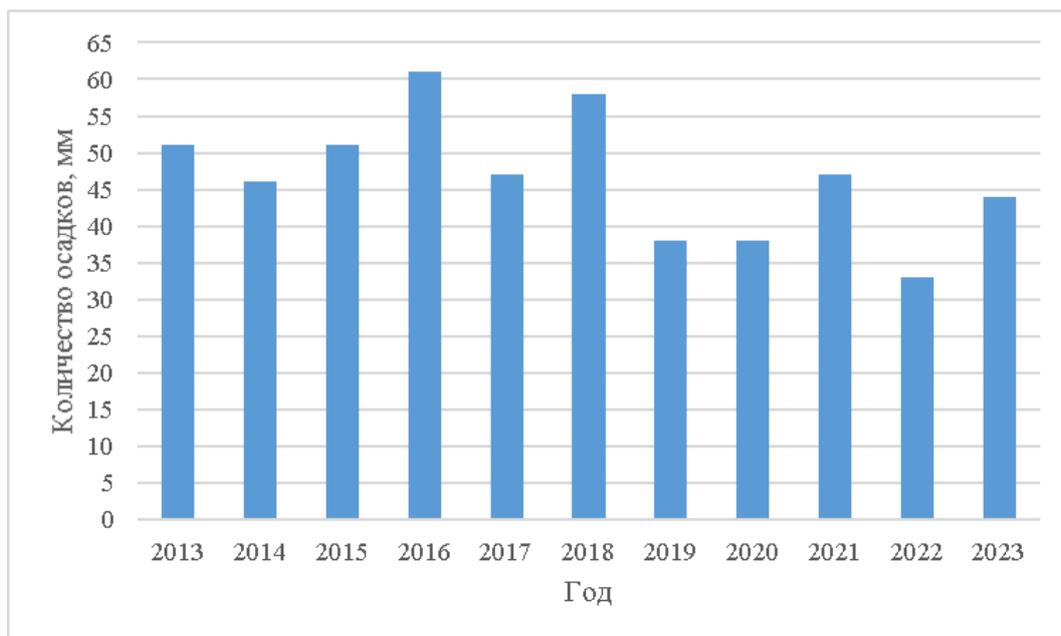


Рисунок 3.5 - График многолетнего хода среднегодового количества осадков

В таблице 3.1 показаны данные выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух за 11 лет из отчетов «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области» с 2013 по 2023 годов.

Анализ таблицы показывает изменение среднегодовых концентраций атмосферных загрязняющих веществ в исследуемом городе.

Таблица 3.1 – Среднегодовые концентрации исследуемых загрязняющих веществ в городе Ростов-на-Дону (в мг/м3)

Взвешенные вещества (пыль)	Оксид углерода	Диоксид азота	Оксид азота	Аммиак
0,200	0,7	0,040	0,040	0,030
0,200	1,0	0,050	0,050	0,030
0,300	2,0	0,040	0,020	0,020
0,200	2,0	0,040	0,020	0,020
0,200	1,9	0,050	0,030	0,030
0,300	1,3	0,040	0,020	0,030
0,231	1,2	0,041	0,022	0,039
0,250	1,5	0,038	0,021	0,038
0,154	1,3	0,051	0,031	0,039
0,144	1,0	0,038	0,027	0,033
0,148	1,0	0,044	0,033	0,029

Рисунки 3.6 – 3.10 представляют собой визуальную интерпретацию динамики объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Ростовской области за период с 2013 по 2023 год. Эти данные основаны на отчетах «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области» [1], которые регулярно публикуются для мониторинга экологической ситуации в регионе.

В данном диапазоне наблюдений можно увидеть значительные колебания в уровне загрязняющих выбросов, что отражает воздействие как антропогенных факторов, так и изменений в природных условиях. Например, увеличение объемов выбросов в определенные годы может быть связано с ростом промышленного производства или активизацией строительных работ, в то время как снижение может указывать на внедрение более экологически чистых технологий или уменьшение промышленной активности.

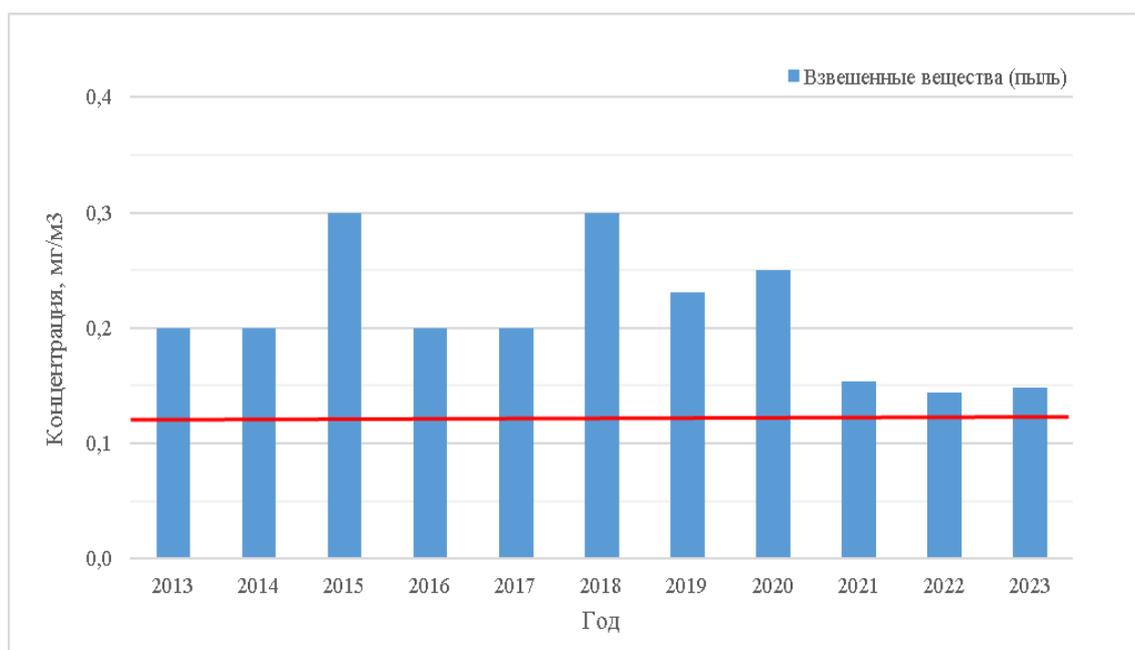


Рисунок 3.6 - График многолетнего хода среднегодовых концентраций взвешенных веществ

На рисунке 3.6 видно, что в течение всего рассматриваемого периода (2013-2023 годы) наблюдается превышение предельно допустимой концентрации взвешенных веществ (пыли) в воздухе. Наиболее загрязненными годами являются 2015 и 2018, когда концентрация достигала 0.3 мг/м³, что в 2 раза выше ПДК. К 2023 году ситуация несколько улучшилась, но уровень не сильно ниже границы ПДК. Таким образом, можно сделать вывод о стабильно загрязненном воздухе взвешенными веществами в течение всего периода наблюдений.

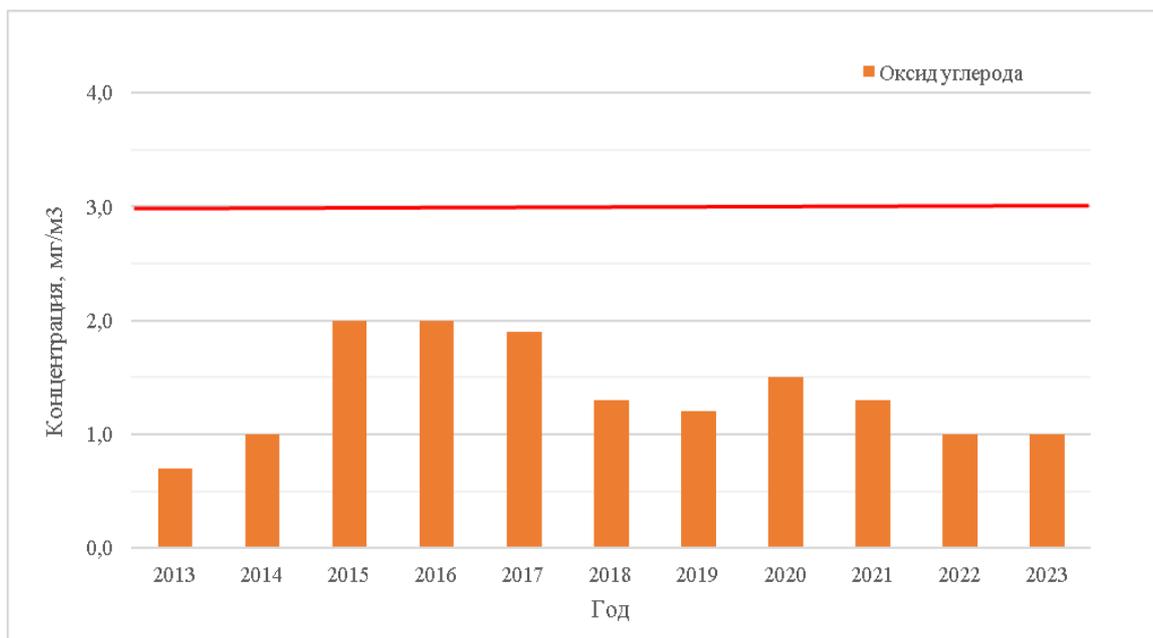


Рисунок 3.7 - График многолетнего хода среднегодовых концентраций оксида углерода

В целом, ситуация с загрязнением оксидом углерода в период с 2013 по 2023 год остается в пределах нормы, так как ни в один год концентрация не превысила ПДК в 3 мг/м³ (см. рис. 3.7.)

Несмотря на это, наблюдаются колебания концентрации, что может указывать на изменения в источниках загрязнения, метеорологических условиях или эффективности мер по контролю за выбросами.

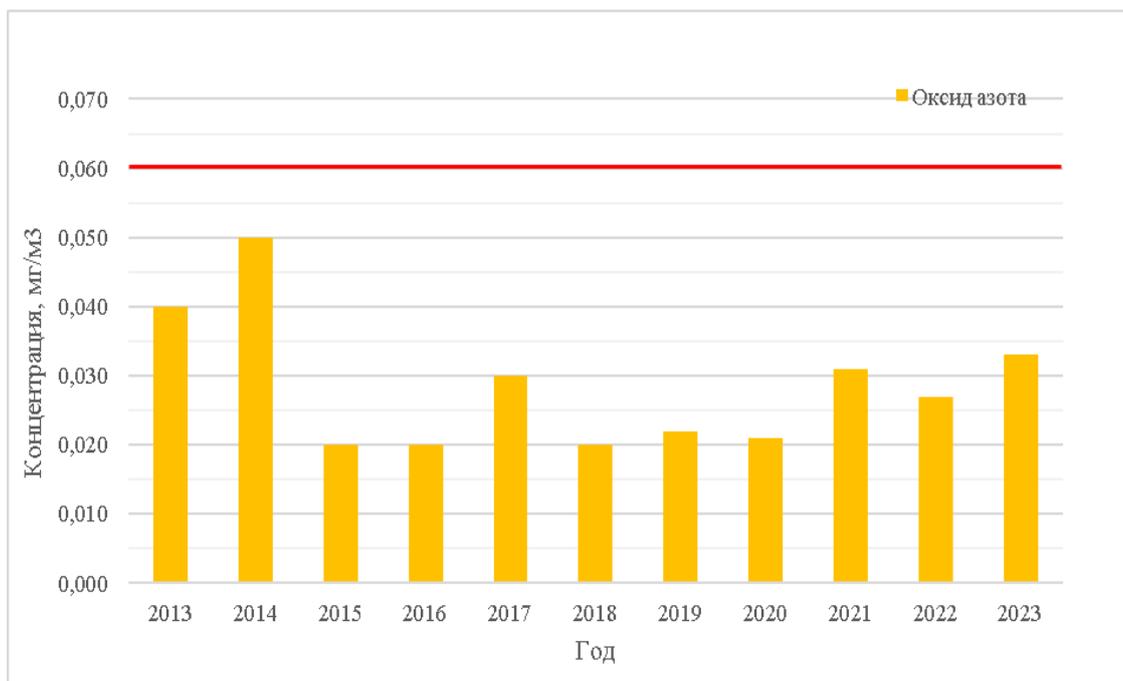


Рисунок 3.8 - График многолетнего хода среднегодовых концентраций оксида азота

Мониторинг концентраций оксидов азота в период с 2013 по 2023 год показал, что фактические показатели соответствуют установленным нормативам качества атмосферного воздуха.

Рисунок 3.8 иллюстрирует, что предельно допустимая концентрация (ПДК = 0,06 мг/м³) не была превышена в течение всего исследуемого временного интервала. Это свидетельствует о стабильной экологической обстановке и свидетельствует о том, что уровень загрязнения оксидами азота находится в пределах нормативных требований.

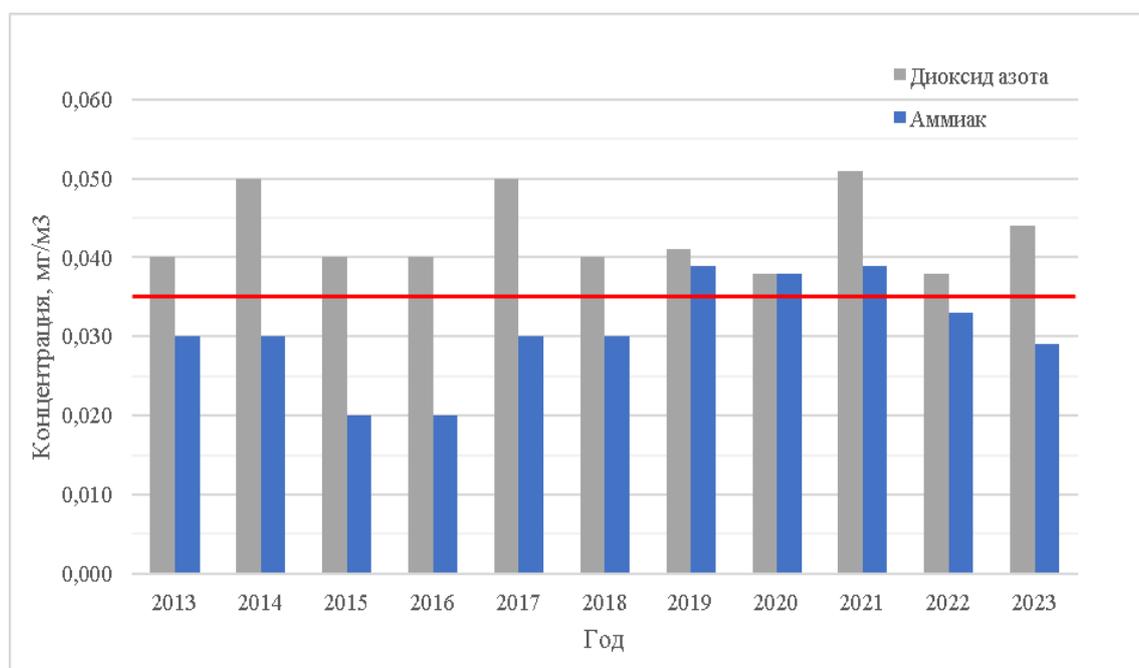


Рисунок 3.9 - График многолетнего хода среднегодовых концентраций диоксида азота и аммиака

В течение периода с 2013 по 2023 год наблюдаются значительные колебания концентраций диоксида азота и аммиака в воздухе.

В отдельные годы (2014, 2017, 2021) наблюдаются существенные превышения ПДК у диоксида азота. В другие годы концентрации находятся на уровне ПДК или немного превышают его.

Концентрации аммиака в большинстве лет не превышают ПДК, однако в 2019 и 2020 годах наблюдается незначительное превышение уровня.

Загрязнение воздуха диоксидом азота представляет большую проблему, чем загрязнение аммиаком, так как концентрации диоксида азота чаще превышают ПДК. В целом, необходимо обратить внимание на мониторинг и контроль выбросов диоксида азота, чтобы снизить его концентрацию в воздухе и предотвратить превышения ПДК в будущем.

3.2 Анализ изменения концентрации загрязнителей от метеорологических параметров

В процессе данного исследования была проведена оценка взаимосвязи между метеорологическими параметрами и концентрацией загрязняющих веществ в атмосфере с использованием корреляционной матрицы (см. таб. 3.3). В ячейках, выделенных ярко красным и зелёным цветом, представлены показатели, демонстрирующие наиболее выраженные корреляции между различными параметрами.

Анализ показал, что такие метеорологические факторы, как температура воздуха, скорость ветра и уровень атмосферного давления, оказывают значительное влияние на распределение и концентрацию загрязняющих веществ. Например, увеличение температуры может способствовать повышению уровня озона на поверхности, тогда как сильные ветры могут способствовать рассеиванию загрязняющих веществ и тем самым приводить к снижению их концентрации в определённых районах.

Установлено, что повышенные положительные температуры воздуха (свыше 25 °С) способствуют протеканию химических реакций с участием загрязнителей, что приводит к образованию дополнительных химических соединений. Данный эффект наиболее выражен в летний период. Через шкалу Чеддока можно рассмотреть силу связи между концентрацией вещества и метеорологическими параметрами.

Таблица 3.2 – Шкала Чеддока

Теснота связи	Значение коэффициента корреляции при наличии	
	Прямой связи	Обратной связи
Связь отсутствует	0,1 – 0,3	(-0,3) – (-0,1)
Связь слабая	0,3 – 0,5	(-0,5) – (-0,3)
Средняя связь	0,5 – 0,7	(-0,7) – (-0,5)
Высокая	0,7 – 0,9	(-0,9) – (-0,7)
Очень сильная	0,9 – 1	(-1) – (-0,9)

Таблица 3.3 - Корреляционная матрица между загрязняющими веществами и метеопараметрами

	PM10	CO	NO2	NO	NH3
Туманы	0,31	0,27	-0,10	0,19	-0,51
Температура	0,67	0,05	-0,47	-0,49	0,05
Осадки	0,38	0,39	0,06	-0,11	-0,67
Скорость ветра	-0,38	-0,32	0,22	0,54	-0,26

Для взвешенных частиц коэффициенты корреляции с температурой воздуха достигли значения 0,7, что указывает на наличие значительной взаимосвязи (см. рис. 3.10).



Рисунок 3.10 - График зависимости концентрации взвешенных веществ от температуры воздуха

Оксид и диоксид азота демонстрируют умеренную взаимосвязь между параметрами, достигая коэффициента $-0,5$. Эти данные подробно отражены на рисунках 3.11 и 3.12.



Рисунок 3.11 - График зависимости концентрации оксида азота от температуры воздуха



Рисунок 3.12 - График зависимости концентрации диоксида азота от температуры воздуха

Таким образом, коэффициент корреляции между среднегодовыми концентрациями оксида углерода и аммиака с температурой воздуха составляет 0,1 или меньше, что свидетельствует об отсутствии взаимосвязи (см. рис. 3.13 и 3.14).

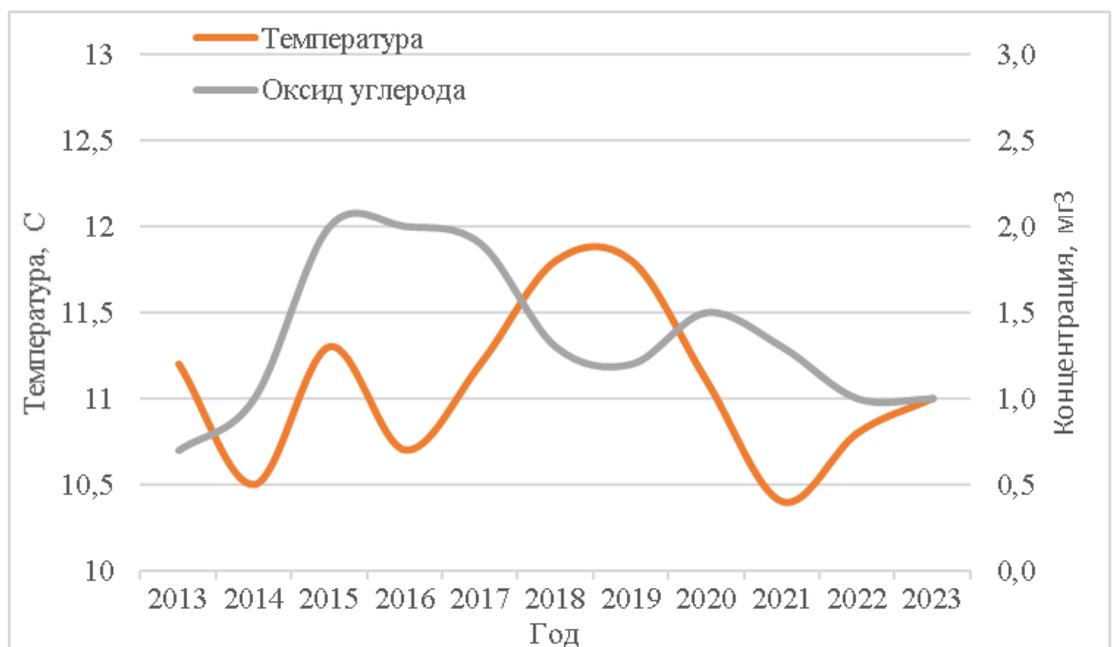


Рисунок 3.13 - График зависимости концентрации оксида углерода от температуры воздуха

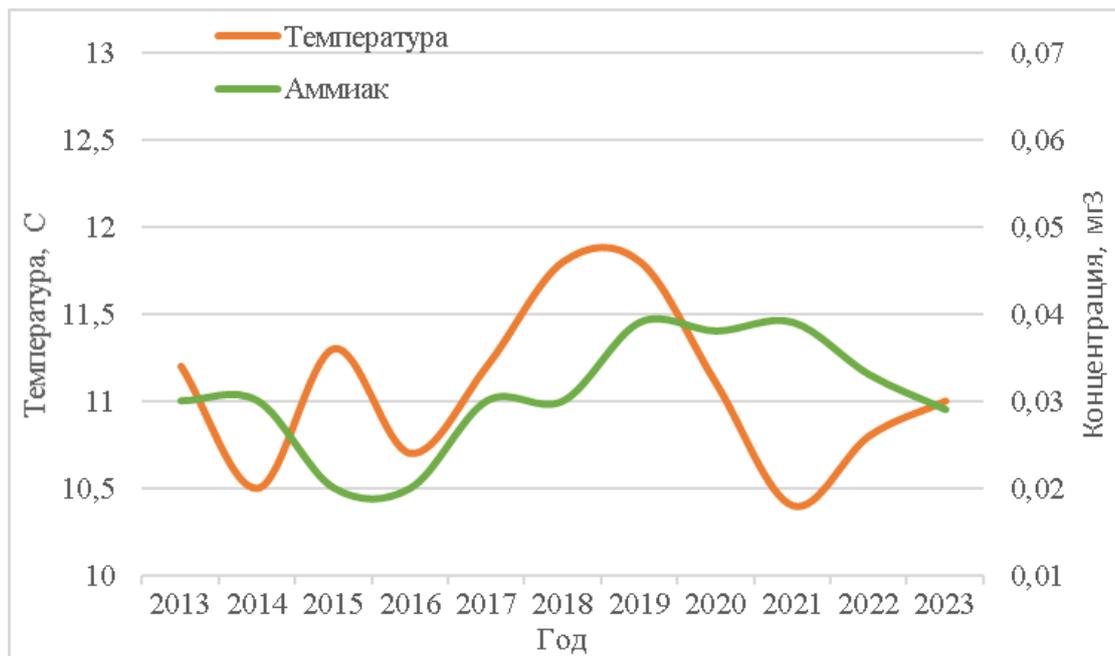


Рисунок 3.14 - График зависимости концентрации аммиака от температуры воздуха

В ходе проведенного исследования была оценена степень влияния температурных инверсий на концентрацию атмосферных загрязняющих веществ.

Как уже упоминалось, температурные инверсии функционируют как барьеры в атмосфере, под которыми происходит накопление водяного пара, пыли и конденсационных ядер. Это создает условия для образования слоев дымки и тумана. По результатам анализа выявлена слабая корреляционная зависимость между некоторыми параметрами (см. таб. 3.4). Ярко красным и зелёным цветами выделены ячейки, где прослеживается наибольшая взаимосвязь между параметрами.

Таблица 3.4 - Корреляционная матрица между загрязняющими веществами и инверсиями

	PM10	CO	NO2	NO	NH3
Приземные инверсии УТРО	-0,34	0,47	0,05	-0,24	0,00
Приземные инверсии ВЕЧЕР	-0,24	0,61	0,28	-0,12	-0,20
Приподнятые инверсии УТРО	0,16	-0,33	-0,07	0,32	-0,11
Приподнятые инверсии ВЕЧЕР	0,00	-0,62	-0,21	0,27	0,18

На рисунках 3.15 – 3.19 отображены данные по приземным и приподнятым инверсиям в утренние сроки и динамического изменения среднегодовых концентраций основных загрязняющих веществ и числа инверсий.

Средняя взаимосвязь с утренними инверсиями наблюдается только у оксида углерода (0,5). С остальными загрязнителями связь слабая или вовсе отсутствует.



Рисунок 3.15 - График зависимости концентрации взвешенных веществ от приземных и приподнятых инверсий за утренний срок



Рисунок 3.16 - График зависимости концентрации оксида углерода от приземных и приподнятых инверсий за утренний срок



Рисунок 3.17 - График зависимости концентрации диоксида азота от приземных и приподнятых инверсий за утренний срок



Рисунок 3.18 - График зависимости концентрации оксида азота от приземных и приподнятых инверсий за утренний срок



Рисунок 3.19 - График зависимости концентрации аммиака от приземных и приподнятых инверсий за утренний срок

В вечернее время взаимосвязь между показателями более высокая, что видно из рисунков 3.20 – 3.24. Наблюдается средняя прямая связь с оксидом углерода 0,6 у приземных инверсий в вечернее время и обратная средняя связь -0,6.

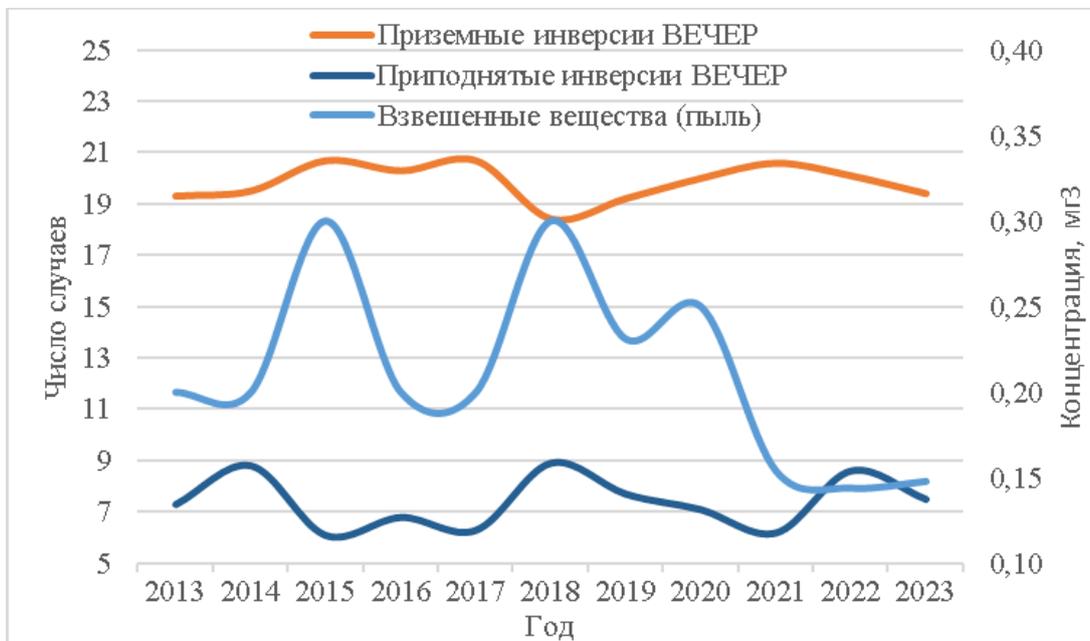


Рисунок 3.20 - График зависимости концентрации взвешенных веществ от приземных и приподнятых инверсий за вечерний срок

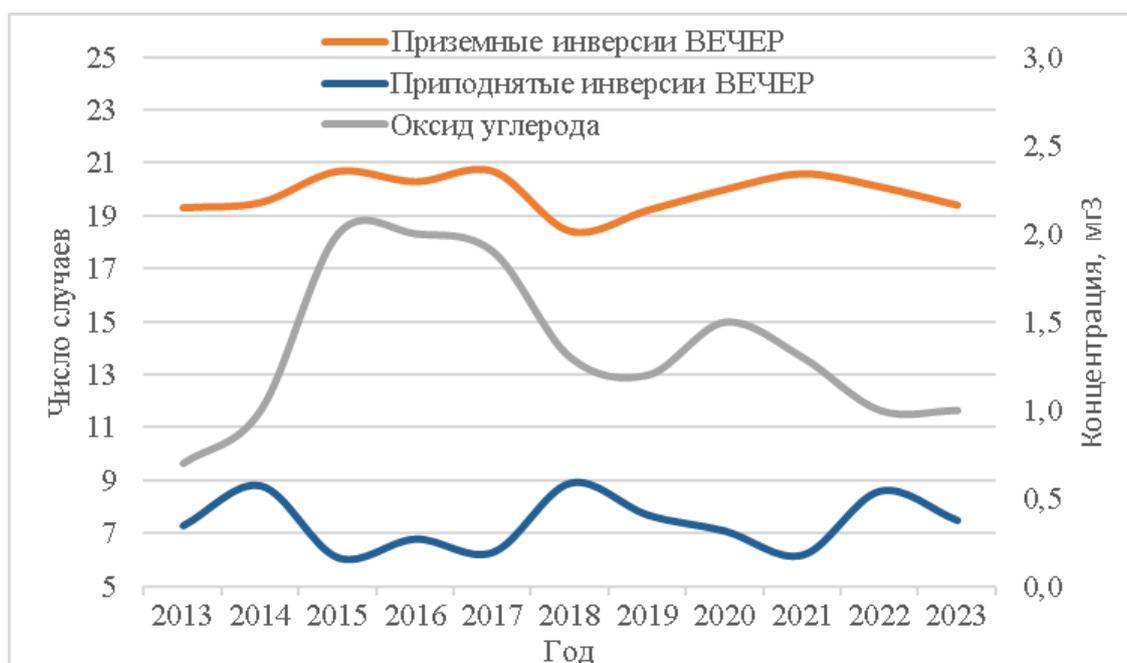


Рисунок 3.21 - График зависимости концентрации оксида углерода от приземных и приподнятых инверсий за вечерний Срок

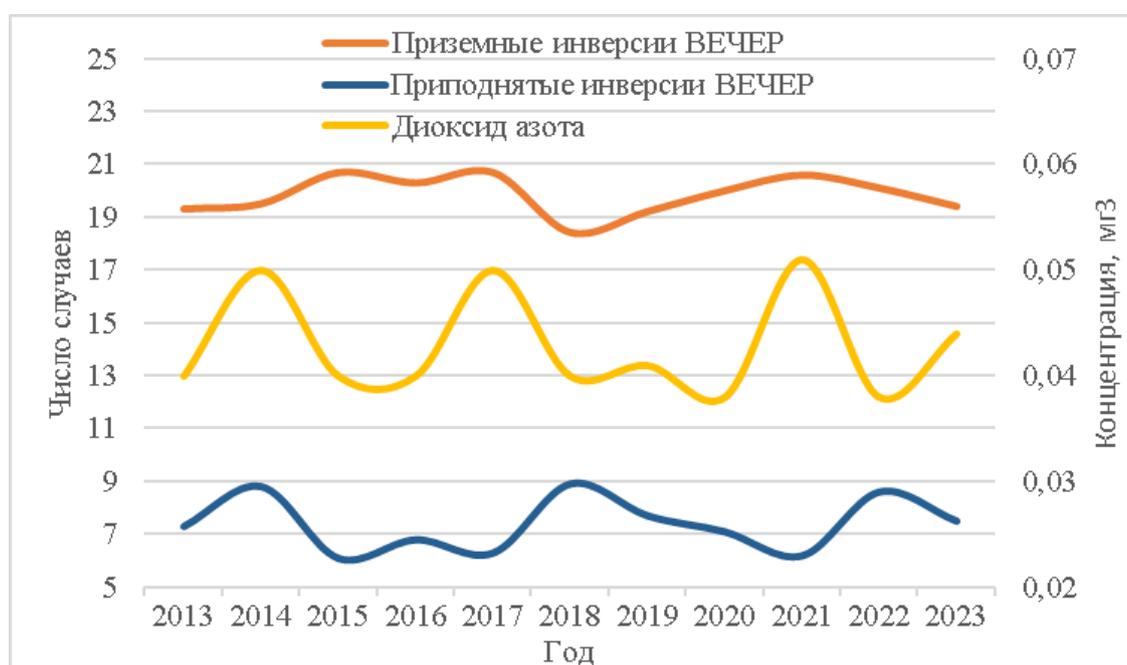


Рисунок 3.22 - График зависимости концентрации диоксида азота от приземных и приподнятых инверсий за вечерний Срок



Рисунок 3.23 - График зависимости концентрации оксида азота от приземных и приподнятых инверсий за вечерний срок

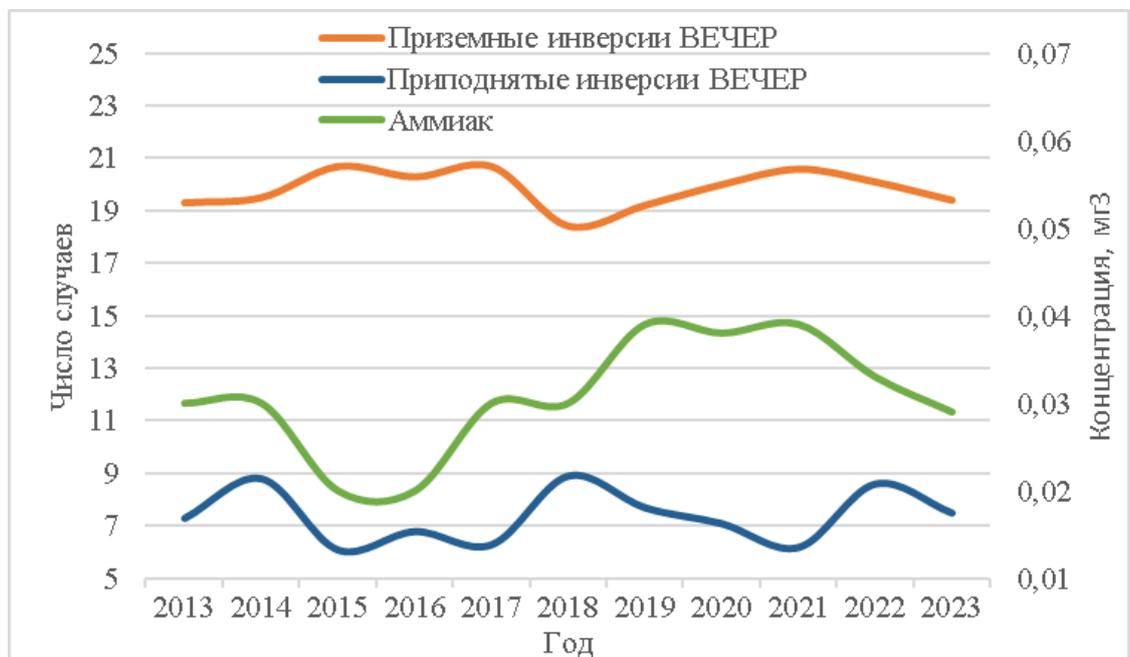


Рисунок 3.24 - График зависимости концентрации аммиака от приземных и приподнятых инверсий за вечерний срок

В рамках анализа была проведена оценка влияния среднегодовой скорости ветра на концентрации загрязняющих веществ.

Результаты показывают, что ветер в целом оказывает положительное влияние на качество воздуха, способствуя снижению уровня загрязнений. Тем не менее, анализ зависимости между скоростью ветра и концентрациями загрязняющих веществ в основном показывает слабую корреляцию. Исключение составляют данные по оксиду азота, для которого наблюдается умеренная взаимосвязь. Коэффициенты корреляции между скоростью ветра и концентрациями загрязняющих веществ составляют: 0,5 для оксида азота и 0,2 для диоксида азота. В то же время значения -0,3 и -0,4 указывают на обратные зависимости с аммиаком, оксидом углерода и взвешенными частицами, что свидетельствует о наличии обратной зависимости.

Представленные рисунки 3.25 – 3.29 демонстрируют усреднённое годовое изменение средних значений концентраций ключевых загрязняющих веществ (NO, PM10, NH3, NO2) и скорости ветра.



Рисунок 3.25 - График зависимости концентрации взвешенных веществ от скорости ветра



Рисунок 3.26 - График зависимости концентрации оксида углерода от скорости ветра



Рисунок 3.27 - График зависимости концентрации диоксида азота от скорости ветра



Рисунок 3.28 - График зависимости концентрации оксида азота от скорости ветра

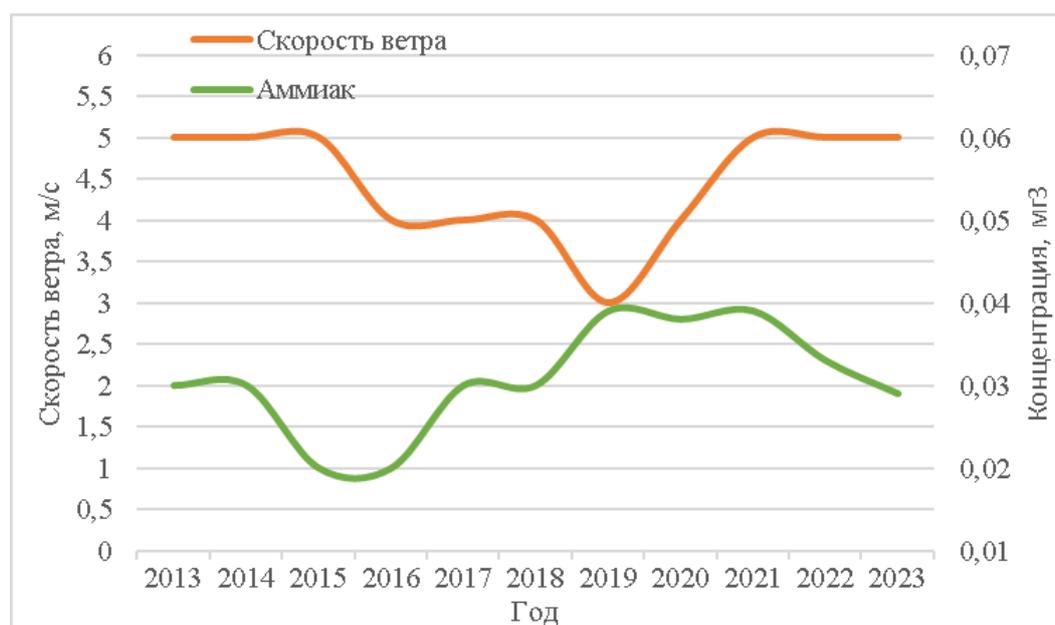


Рисунок 3.29 - График зависимости концентрации аммиака от скорости ветра

Рассмотрим влияния осадков на атмосферу и исследуем связь между количеством осадков и концентрациями атмосферных загрязняющих веществ.

Анализ показал неоднозначное влияние осадков: с одной стороны, вымывание загрязняющих веществ, с другой – образование кислотных дождей. Корреляционный анализ выявил следующие зависимости между среднегодовыми значениями (см. рис. 3.30 – 3.34):

Наблюдается высокая отрицательная корреляция между количеством осадков и уровнем аммиака (-0,7), что указывает на то, что увеличивающееся количество осадков может способствовать снижению концентрации этого газа в атмосфере. В то же время существует умеренная прямая зависимость с оксидом азота (коэффициент 0,5), что может свидетельствовать о том, что повышение уровня осадков способствует увеличению содержания оксида азота в воздухе.

Кроме того, показатели отрицательной корреляции между количеством осадков и взвешенными частицами составляют -0,4, что указывает на слабую связь. Можно также отметить, что для оксида углерода коэффициент корреляции равен -0,3, что также указывает на слабую отрицательную связь. В то же время, корреляция с диоксидом азота составляет 0,2, что свидетельствует об отсутствии значимой зависимости. Следовательно, можно заключить, что существует обратная зависимость между осадками и концентрацией аммиака, а также прямая связь с оксидом азота, в то время как влияние на уровень оксида углерода и взвешенных частиц является менее выраженным.



Рисунок 3.30 - График зависимости концентрации взвешенных веществ от количества осадков



Рисунок 3.31 - График зависимости концентрации оксида углерода от количества осадков

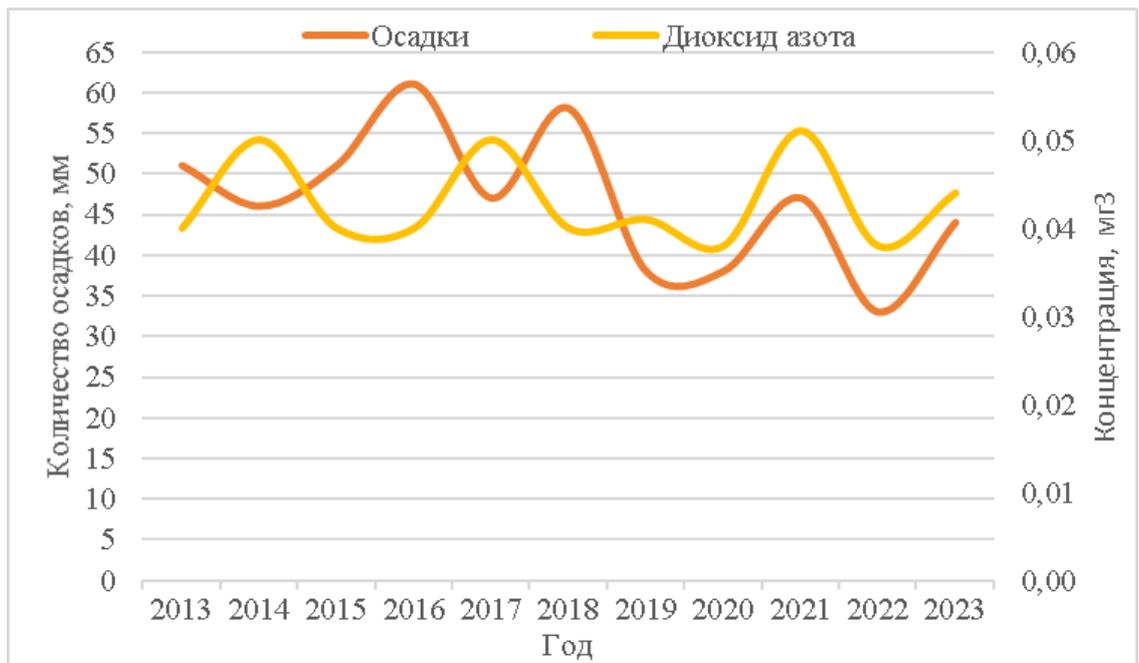


Рисунок 3.32 - График зависимости концентрации диоксида азота от количества осадков



Рисунок 3.33 - График зависимости концентрации оксида азота от количества осадков

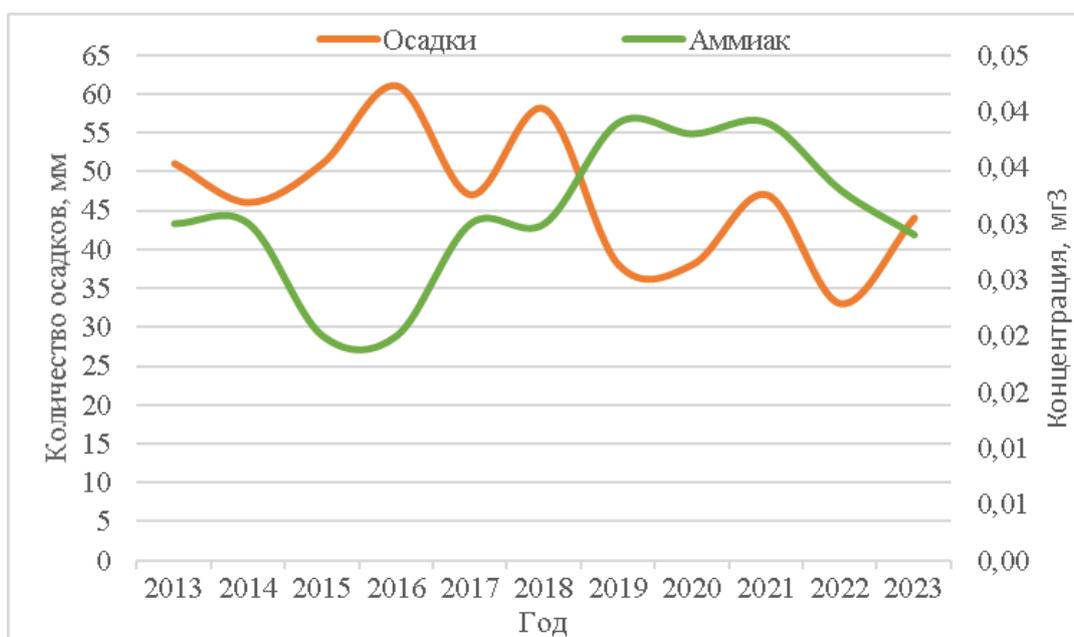


Рисунок 3.34 - График зависимости концентрации аммиака от количества осадков

В результате проведенного исследования было установлено, что в условиях образования тумана концентрация атмосферных загрязняющих веществ увеличивается в диапазоне от 40% до 110% по сравнению с показателями, зафиксированными до появления тумана. Это повышение уровня примесей может быть связано с несколькими факторами, включая процесс конденсации, который способствует накоплению частиц и газов в воздухе, а также с особенностями метеорологических условий, способствующих ухудшению качества атмосферного воздуха.

На рисунках 3.35 – 3.39 представлены данные, отражающие взаимосвязь или её отсутствие количества дней с туманом и средних значений концентраций ключевых загрязняющих веществ.



Рисунок 3.35 - График зависимости концентрации взвешенных веществ от количества туманов



Рисунок 3.36 - График зависимости концентрации оксида углерода от количества туманов



Рисунок 3.37 - График зависимости концентрации диоксида азота от количества туманов

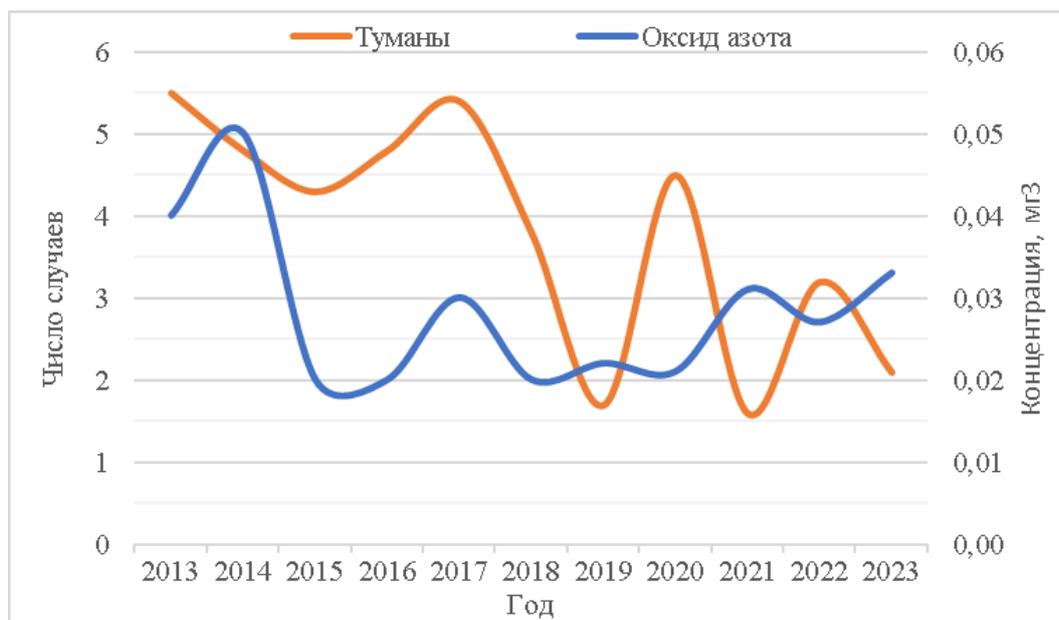


Рисунок 3.38 - График зависимости концентрации оксида азота от количества туманов

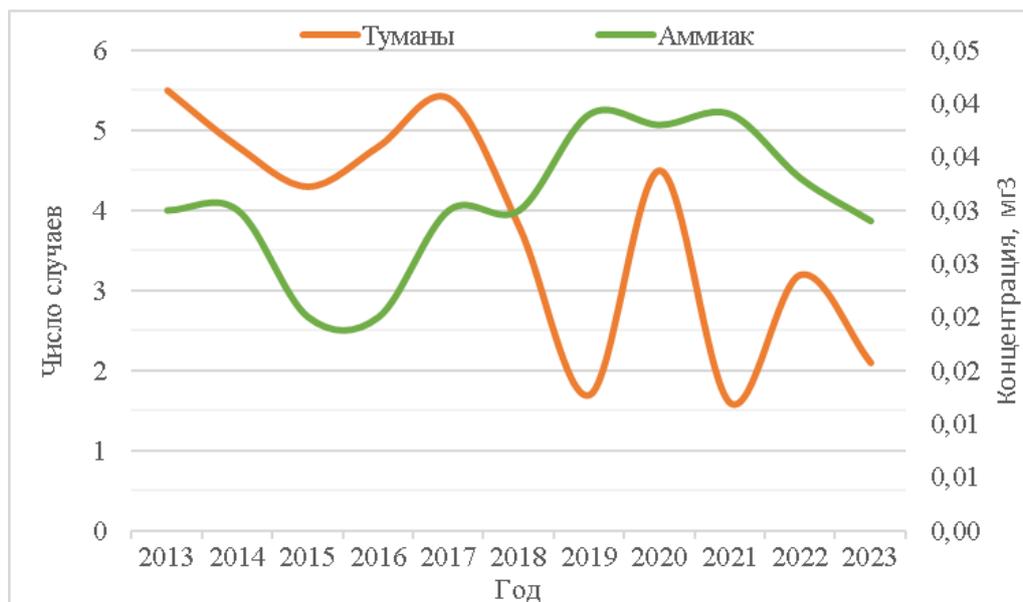


Рисунок 3.39 - График зависимости концентрации аммиака от количества туманов

При проведении анализа взаимосвязей между атмосферными загрязняющими веществами и количеством дней с туманом были получены следующие результаты: между среднегодовыми значениями концентраций аммиака и числом туманов установлен отрицательный коэффициент корреляции, равный $-0,5$. Это указывает на среднюю степень взаимосвязи, что может означать, что с увеличением числа дней с туманом концентрация аммиака в воздухе снижается.

Далее, коэффициенты корреляции для среднегодовых концентраций оксида углерода и взвешенных частиц в сочетании с количеством дней туманов составляют $0,3$. Это значение говорит о существовании слабой корреляционной зависимости, что может свидетельствовать о том, что изменения в количестве туманов лишь незначительно сказываются на уровнях этих загрязнителей.

Что касается диоксида азота, то коэффициент корреляции, равный $0,43$, подтверждает наличие средней степени взаимосвязи с количеством дней тумана. Это может указывать на то, что в условиях увеличенного числа туманов наблюдается рост концентрации данного вещества в атмосфере.

Наконец, для взаимосвязи между оксидом и диоксидом азота был установлен коэффициент корреляции 0,2 и -0,11 соответственно. Эти значения указывают на то, что связь между этими двумя загрязняющими веществами либо очень слабая, либо отсутствует, что подчеркивает необходимость дальнейшего исследования их взаимодействия в условиях изменяющейся атмосферы.

Заключение

В данном исследовании была проведена всесторонняя оценка многолетних средних данных основных метеорологических параметров, собранных на станции в Ростове-на-Дону, в сочетании с концентрациями ключевых загрязняющих веществ — оксида азота (NO), аммиака (NH₃), оксида углерода (CO), диоксида азота (NO₂) и взвешенных частиц (PM₁₀ и PM_{2.5}). С целью анализа влияния метеорологических факторов на качество атмосферного воздуха использовался корреляционный анализ, позволяющий установить зависимости загрязнения от таких параметров, как скорость ветра, количество туманов, температура воздуха и различные типы инверсий.

Исходя из исследований, проведенных на основании среднегодовых данных за период с 2013 по 2023 годы, были получены следующие ключевые результаты:

1. Влияние осадков: Значительное снижение уровней атмосферного загрязнения связано с увеличением количества осадков. Исследования показывают, что каждые 10 миллиметров осадков способны снижать концентрацию взвешенных частиц до 30%, что подтверждает их высокую эффективность в процессе естественного очищения воздуха.

2. Туман: Обнаружена обратная взаимосвязь между уровнем загрязнения и числом дней с туманами. Например, коэффициент корреляции -0,5 для аммиака указывает на среднюю степень взаимосвязи, что может означать конденсацию и осаждение загрязняющих веществ в туманных условиях.

3. Скорость ветра: Установлена прямая зависимость между загрязнением воздуха и скоростью ветра. При скоростях свыше 5 м/с уровень загрязняющих веществ может снижаться до 40% за счет их рассеивания и разбавления.

4. Температурные инверсии: на уровне загрязнения умеренное влияние оказали приземные инверсии, тогда как приподнятые инверсии

способствовали очищению атмосферы. Это объясняется тем, что, располагаясь на значительных высотах, они предотвращают попадание загрязняющих веществ в нижние слои атмосферы.

5. Температура и загрязнители: Температура воздуха продемонстрировала среднее влияние на уровень диоксида и оксида азота, но была обнаружена высокая положительная корреляция для взвешенных частиц, что свидетельствует о возможности их накопления в условиях инверсии.

Стоит отметить, что для борьбы с загрязнением в Ростове-на-Дону разработаны и активно внедряются законодательные инициативы, направленные на ограничение выбросов вредных веществ от промышленных предприятий и транспорта. Одним из главных источников загрязнения воздуха является транспорт. Местные власти работают над развитием общественного транспорта, созданием велосипедных дорожек и внедрением мер по снижению загруженности дорог. Также есть инициативы по переходу на экологически чистые виды транспорта, такие как электробусы.

Ростов активно развивает зеленые зоны и программы озеленения, что способствует улучшению качества воздуха. Насажение деревьев и создание парков помогает абсорбировать загрязняющие вещества и повышает уровень кислорода в воздухе.

Несмотря на предпринимаемые меры, уровень загрязнения воздуха в Ростове-на-Дону остаётся проблемой, требующей комплексного и устойчивого подхода, поэтому с этой задачей необходимо продолжать работать, привлекая как государственные, так и общественные ресурсы.

Список литературы

1. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году». – Москва: [Официальный сайт Минприроды России], 2024. – 369 с.
2. Коробкин, В.И., Передельский, Л.В. Экология: 12-е изд., доп. и перераб. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 602 с.
3. Якунина, И.В., Попов, Н.С. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг: учебное пособие. – Тамбов: Издательство Тамбовского государственного технического университета, 2009. – 188 с.
4. Исаева, Л.К. Пожары и окружающая среда. – Москва: Изд. дом Калан, 2001. – 222 с.
5. Игнатьева, Л.П., Чирцова, М.В., Потапова, М.О. Гигиена атмосферного воздуха. – Иркутск: ИГМУ, 2015. – 79 с.
6. Штокман, Е.А. Очистка воздуха. – Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ), 2007. – 312 с.
7. Аристархова, Л.Б. Процессы аридного рельефообразования. – Москва: Изд-во МГУ, 1971. – 179 с.
8. Крюкова, С.В. Контроль загрязнения природной среды: анализ данных загрязнения. Лабораторный практикум. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2015. – 46 с.
9. Матвеев, Л.Т. Основы общей метеорологии. – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1955. – 876 с.
10. Боровский, Е.Г. Химическое загрязнение атмосферы. Химия. Приложение к газете «Первое сентября». – 2010. – № 20. – С. 1-8.
11. Беккер, А.А., Агаев, Т.Б. Охрана и контроль загрязнения природной среды. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 67 с.

12. Устав города Ростова-на-Дону (с изменениями на 17 декабря 2024 года). – Ростов-на-Дону, 1996.

13. Скатерщиков, С.В., Красовская, О.В., Петров, А.Г., Солдатенков, Я.Ю. Материалы по обоснованию проекта внесения изменений в генеральный план. Том 1. Анализ современного состояния территории (комплексная градостроительная оценка). Муниципальное образование городской округ город Ростов-на-Дону. – Санкт-Петербург; Ростов-на-Дону, 2014. – 310 с.

14. Архив погоды в Платове (аэропорт) RP5. [Электронный ресурс]. — Режим доступа:

[https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Платове_\(аэропорт\),_METAR](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Платове_(аэропорт),_METAR) (дата обращения: 22.05.2025).

15. Погода и климат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 28.05.2025).

16. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.meteorf.gov.ru/> (дата обращения: 01.06.2025).

Приложение 1

Таблица 1 – Обработанный архив данных количества основных
загрязняющих веществ за 2013-2023 гг.

Год	Взвешенные вещества (пыль)	Оксид углеро да	Диоксид азота	Оксид азота	Аммиак
2013	0,2	0,7	0,04	0,04	0,03
2014	0,2	1	0,05	0,05	0,03
2015	0,3	2	0,04	0,02	0,02
2016	0,2	2	0,04	0,02	0,02
2017	0,2	1,9	0,05	0,03	0,03
2018	0,3	1,3	0,04	0,02	0,03
2019	0,231	1,2	0,041	0,022	0,039
2020	0,25	1,5	0,038	0,021	0,038
2021	0,154	1,3	0,051	0,031	0,039
2022	0,144	1	0,038	0,027	0,033
2023	0,148	1	0,044	0,033	0,029

Таблица 2 – Обработанный архив метеорологических данных за
2013-2023 гг.

Год	Туманы	Температура	Осадки	Скорость ветра
2013	5,5	11,2	51	4
2014	4,8	10,5	46	5
2015	4,3	11,3	51	5
2016	4,8	10,7	61	4
2017	5,4	11,2	47	4
2018	3,8	11,8	58	4
2019	1,7	11,8	38	5
2020	4,5	11,1	38	5
2021	1,6	10,4	47	5
2022	3,2	10,8	33	5
2023	2,1	11	44	5

Таблица 3 – Обработанный архив данных повторяемости
температурных инверсий за 2013-2023 гг.

Год	Приземные инверсии УТРО	Приземные инверсии ВЕЧЕР	Приподнятые инверсии УТРО	Приподнятые инверсии ВЕЧЕР
2013	11,2	19,3	7,8	7,3
2014	10,8	19,5	8,9	8,8
2015	11,3	20,7	7,9	6,1
2016	13,9	20,3	7,3	6,8
2017	15,3	20,7	5,3	6,3
2018	10,5	18,4	8	8,9
2019	11	19,2	6,3	7,7
2020	13,5	20	8,1	7,1
2021	12,4	20,6	7,8	6,2
2022	14,2	20,1	6,9	8,6
2023	11,1	19,4	7,9	7,5