



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему «Исследование влияния метеорологических параметров на загрязнение  
воздуха в г. Архангельск»

Исполнитель Петухова Елизавета Андреевна  
(фамилия, имя, отчество)

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

Крюкова Светлана Викторовна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

И. о. Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент  
Восканян Карина Левановна

«24» мая 2023г.

Санкт-Петербург  
2023

## Содержание

Введение.....	3
1 Загрязнение атмосферы .....	5
1.1 Строение и состав газовой оболочки Земли.....	5
1.2 Источники загрязнения атмосферы и их классификация.....	9
1.3 Основные загрязняющие вещества.....	11
1.4 Нормирование содержания вредных веществ в атмосфере.....	14
1.5 Метеорологические факторы, влияющие на качество атмосферного воздуха.....	17
1.5.1 Температура воздуха.....	17
1.5.2 Ветер.....	18
1.5.3 Осадки.....	19
1.5.4 Инверсии температуры.....	20
2 Состояние атмосферного воздуха в г.Архангельск.....	22
2.1 Физико-географическая и климатическая характеристика Архангельска.....	22
2.2 Экологический мониторинг окружающей среды .....	25
2.3 Система мониторинга атмосферного воздуха в Архангельске.....	27
3 Исследование загрязнения атмосферного воздуха в Архангельске в зимне - летний период 2021-2022 года.....	29
3.1 Анализ месячного хода концентраций загрязняющих веществ.....	30
3.2 Оценка влияния метеорологических параметров на концентрации загрязняющих веществ .....	43
Заключение .....	62
Список использованной литературы.....	64
Приложение 1 Среднесуточные концентрации загрязняющих веществ в Архангельске за зимне-летний период 2021-2022 гг .....	67
Приложение 2 Метеорологические параметры в Архангельске за зимне-летний период 2021-2022 гг.....	73

## Введение

Загрязнение окружающего нас мира, в частности атмосферного воздуха, является довольно серьёзной проблемой, с которой общество борется по сей день. Угроза загрязнения атмосферы заключается не только в попадании в воздух вредных примесей, которые крайне негативно сказываются на организмах, населяющих нашу планету, но и в изменении климата, примером которого может послужить глобальное потепление.

Загрязнение нашей окружающей среды является следствием научно-технической революции, которая стартовала во второй половине 20 века и представляла собой значительную динамику развития предприятий промышленной отрасли, использование средств передвижения в большом количестве.

Загрязнение атмосферы в Архангельске, в основном, связано с большими выбросами вредных для живых организмов веществ от стационарных источников, а также с автомобильными выхлопами.

Актуальность выбранной темы исследования состоит в том, что атмосферный воздух является важнейшей средой, обеспечивающей жизнь на Земле. Загрязнение воздуха зачастую приводит к сильному ухудшению качества жизни, крайне негативно сказывается на состоянии здоровья, влечет за собой серьёзные экологические, экономические и социальные последствия для целого общества.

Целью данной бакалаврской работы является исследование влияния метеорологических параметров на уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Архангельск.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) Сформировать архив концентраций загрязняющих веществ и метеорологических параметров за зимне-летний период 2021-2022 годов.

2) Построить и проанализировать месячный ход концентраций загрязняющих веществ.

3) Провести корреляционный анализ концентраций основных загрязняющих веществ и метеопараметров.

4) Оценить влияние метеорологических параметров на значения концентраций вредных веществ.

В качестве объекта исследования выступают концентрации загрязняющих веществ, полученные с автомобильного стационарного поста наблюдения, расположенного на перекрестке улицы Тимме – Воскресенская в г. Архангельск.

Предметом исследования являются концентрации оксида углерода (CO), оксида азота (NO), диоксида азота (NO<sub>2</sub>), взвешенных частиц (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>) и озона (O<sub>3</sub>) за зимний (декабрь, январь, февраль) и летний (июнь, июль, август) периоды 2021-2022 годов.

Структура выпускной квалификационной работы: работа состоит из введения, трех глав, которые подразделены на подглавы, заключения, списка использованной литературы и приложения.

В первой главе рассматриваются основные загрязняющие вещества, их источники, а также метеорологические параметры, влияющие на качество атмосферного воздуха.

Вторая глава посвящена экологическому мониторингу окружающей среды.

В третьей главе рассматривается оценка содержания загрязняющих веществ в атмосфере, а также влияние метеорологических параметров на качество окружающего воздуха Архангельске.

В заключение дипломной работы отражены основные выводы по результатам исследования.

# 1 Загрязнение атмосферы

## 1.1 строение и состав газовой оболочки земли

Атмосфера Земли представляет собой тонкую газовую оболочку планеты Земля массой примерно  $5,157 \cdot 10^{15}$  тонн (для сравнения масса Земли принимает значение около  $5,98 \cdot 10^{21}$  тонн).

Атмосфера имеет характерное слоистое строение и в зависимости от температуры воздуха делится на тропосферу и стратосферу, разделенные переходным слоем — тропопаузой, а также мезосферу, которая отделяется от стратосферы стратопаузой, термосферу и самый внешний слой атмосферы Земли — экзосферу [1].

Вышеперечисленные слои представлены на рисунке 1.1.

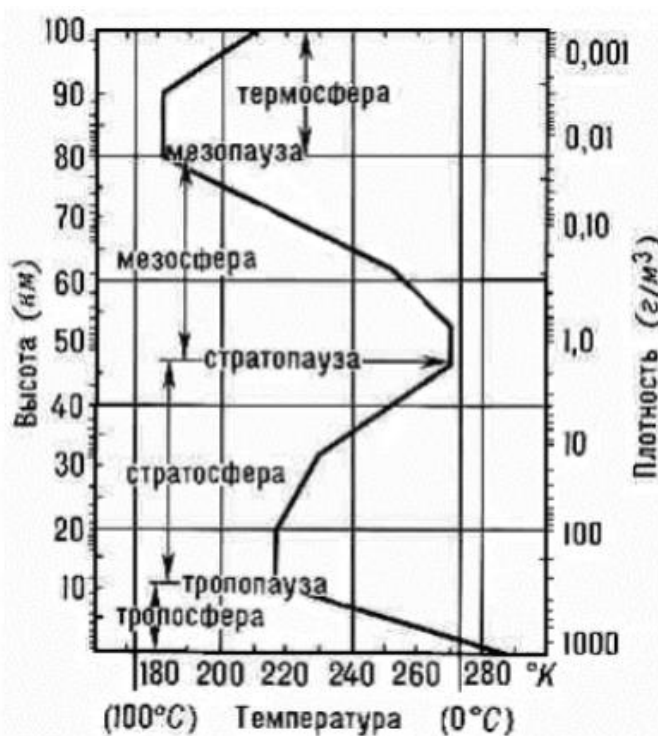


Рисунок 1.1 - Строение атмосферы Земли

Тропосфера — нижний слой атмосферы, граничащий напрямую с поверхностью земли и достигающий среднего уровня 12 км. Это значение

меняется в зависимости от широты. Так, в полярных регионах верхняя граница тропосферы приходится на высоту 8-10 км, в умеренных широтах на 10-12 км, а в тропических на 16-18 км. Вертикальный градиент температуры в нижнем слое атмосферы принимает значение 6,4 °С/км. В тропосфере содержится около 80% всей массы окружающей среды, а также 90 % водяного пара, находящегося в атмосфере. Для тропосферы характерны сильно развитая турбулентность и конвекция, возникновение облаков и развитие циклонов и антициклонов.

Стратосфера – слой атмосферы, лежащий выше тропосферы и простирающийся до высоты 50 - 55 км. До уровня 25 км температура остается практически неизменной, затем медленно растет до высоты 40 км, изменяя свое значение от -56,5 °С до 0,8 °С, и до высоты стратосферы (55 км), являющейся границей между стратосферой и мезосферой, остается постоянной, равной около 0 °С. Стратосфера характеризуется наличием озонового слоя, поглощающего большую часть ультрафиолетовой радиации, отсутствием почти полностью облаков и других форм погоды, малой турбулентностью.

Мезосфера – слой атмосферы от 50 – 55 км до 80 - 85 км. Температура с высотой уменьшается, достигая – 90 °С на верхней границе (мезопаузе). Средний вертикальный градиент температуры составляет 3 °С/км. На высоте около 85 км наблюдаются серебристые облака. И для этого слоя характерно свечение атмосферы, к которому приводят фотохимические процессы [2].

Термосфера – слой, простирающийся от мезопаузы на высоте около 80 км до термопаузы в диапазоне высот 500–1000 км. До уровня 200-300 км температура воздуха увеличивается до 1500 К, после чего не меняется, то есть принимает постоянное значение до больших высот. Слой полностью безоблачный и не содержит водяных паров. В термосфере образуются полярные сияния причиной которых является ионизация воздуха.

Экзосфера — это самая верхняя граница атмосферы. Данный слой простирается от термопаузы (500 до 1000 км) до около 10 000 км. Из экзосферы основные атмосферные газы в довольно значительной степени выходят в безвоздушное космическое пространство. Основными экзосферными газами являются водород и гелий.

В составе атмосферного воздуха принято выделять:

1. Постоянные вещества - азот, кислород, аргон и углекислый газ, инертные газы, озон.
2. Непостоянные – примеси природного происхождения, и являющиеся следствием деятельности человека [3].

Газовый состав атмосферы представлен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Газовый состав атмосферы

Газ	Объемное содержание, %
Азот	78,08
Кислород	20,95
Аргон	0,93
Углекислый газ	0,03
Неон	0,0018
Криптон	0,0001
Водород	0,00005
Ксенон	0,000009
Озон	0,000001

Азот ( $N_2$ ). Самый распространенный газ атмосферы с объемным содержанием 78 %. Главным образом возникает при извержениях вулканов и является инертным газом, то есть он не подвергается химическим реакциям, приводящим к образованию новых соединений. Именно с азотом связано происхождение жизни на Земле, так как он входит в состав белков и азотистых соединений.

Кислород ( $O_2$ ). На его долю приходится около 20,95 %. Представляет собой активный газ, который возникает вследствие фотосинтеза в растениях.

Необходим для дыхания всех живых организмов на Земле. Кислород участвует в окислении, примером которого является ржавление железа.

Аргон (Ar). В атмосфере на его долю приходится менее одного процента (0,93%). Представляет собой инертный газ без запаха и цвета.

Вышеперечисленные три газа составляют 99,96% атмосферы. Доля остальных газов (углекислый газ, неон, радон, гелий, криптон, водород, метан, закись азота и озон) равняется примерно 1 %.

Углекислый газ (CO<sub>2</sub>). Составляет около 0,03 % атмосферы. CO<sub>2</sub> является парниковым газом, то есть газом, состоящим из молекул, которые поглощают и излучают инфракрасное излучение, ощущаемое как тепло. Объем углекислого газа увеличивался в течение последних нескольких десятилетий, в основном в результате сжигания ископаемого топлива, что и послужило возникновению глобального потепления.

Водяной пар (H<sub>2</sub>O). Представляет собой газообразную форму воды. Несмотря на то, что он почти отсутствует в большей части атмосферы, его концентрация может принимать значения до 4% в теплых и влажных регионах. Является основным источником всех типов осадков. Содержание H<sub>2</sub>O уменьшается с высотой и от полюсов к экватору. Водяной пар также является парниковым газом. Существует два пути проникновения водяного пара в атмосферу: испарение и транспирация. Транспирация- процесс движения воды, происходит от растений, деревьев и других живых существ, а испарение происходит в океанах, морях, реках, прудах и озерах. Также водяной пар удерживает тепло, которое излучает планета, поглощая часть поступающего солнечного излучения (инсоляции) от Солнца, не давая Земле становиться слишком горячей или слишком холодной.

Озон (O<sub>3</sub>). В основном находится на высоте от 10 до 50 километров над поверхностью земного шара. Стратосферный озон, приходящийся на высоты, указанные выше, служит экраном, поглощая ультрафиолетовое излучение от Солнца и преграждая ему путь к поверхности земли. На более же низких



высотах озоновый газ (тропосферный озон) раздражает глаза и кожу и химически атакует резину и растительные ткани.

К непостоянным веществам, содержащимся в атмосферном воздухе, относятся взвешенные (твердые) и газообразные вещества, аэрозоли, пары.

Аэрозоли в окружающем нас атмосферном воздухе обычно появляются либо в результате непосредственного поступления в атмосферу Земли готовых частиц из первичных источников загрязнения, либо же они образуются в самой атмосфере в ходе довольно сложных физико-химических реакций превращений газ-частица, т.е. из условно называемых вторичных источников [4].

В качестве примера загрязняющих атмосферу аэрозолей можно привести мелкие взвешенные частицы почвы или песка пустыни, частицы дыма от лесных пожаров, частицы соли из испаренной океанской воды, частицы, образующиеся в ходе загрязнения. Аэрозоли, как правило, отражают часть поступающей в приземный слой солнечной радиации назад в космос, что в значительной степени снижает температуру поверхностного слоя Земли.

## 1.2 Источники загрязнения атмосферы и их классификация

При попадании в воздух вредных примесей происходит его загрязнение, которое влечет за собой негативные последствия, связанные с изменением состава и свойств атмосферы. Также отмечается неблагоприятное влияние на здоровье человека и других живых организмов, населяющих планету.

Все источники загрязнения делятся на естественные и антропогенные.

Примером естественных источников может служить кислород, выделяемый растениями при реакции фотосинтеза, углекислый газ при дыхании человека, частицы пыли, дым от природных пожаров, пыль, переносимая воздушным потоком из мест с небольшой или вовсе отсутствующей растительностью.

К антропогенным источникам, которые имеют связь с деятельностью человека, относятся:

— промышленные источники загрязнения, то есть промышленные предприятия, добыча полезных ископаемых. Примером загрязнения, связанного с данным типом источник может служить сжигание топлива, которое выделяет такие опасные вещества, как  $SO_2$ ,  $CO_2$  и  $NO$ .

— транспортные источники загрязнения. Работа автомобилей, тяжелых грузовиков, поездов, водных судов и самолетов требует сжигания ископаемого топлива, при котором выделяется большое количество загрязняющих веществ, таких как: угарный газ, углеводороды и твердые частицы;

— сельскохозяйственные источники загрязнения, возникающие, например, в результате применения различных удобрений на основе аммиака с целью увеличения урожайности;

— хозяйственно- бытовые источники загрязнения, среди которых можно выделить вещества, применяемые человеком в быту для хозяйственных нужд, например, для ремонта помещений (краски, растворители). Также примеров данного источника является керосин, используемый в осветительных приборах;

— специфические военные источники загрязнения, связанные, например, с испытанием различных видов оружия.

По степени подвижности антропогенные источники подразделяются на стационарные и передвижные. Под передвижным источником загрязнения атмосферного воздуха понимается источник, способный перемещаться. Как правило, передвижные источники подразумевают «дорожный» транспорт, который включает в себя автомобили, самолеты, железнодорожный транспорт.

Стационарные источники загрязнения атмосферы, т.е. источники, которые не способны перемещаться, по своим геометрическим параметрам могут быть точечными, площадными и линейными [5].

1) Точечный источник загрязнения - это источник, из которого вредные примеси проникают в атмосферу отверстия, независимо от его диаметра и формы (дымовые трубы, вентиляционные вытяжки).

2) Линейный источник загрязнения - это источник, из которого выбросы попадают в окружающий воздух по линии (оконные проемы, газопроводы).

3) Площадной источник загрязнения - это источник, из которого загрязняющие вещества выбрасываются в окружающую среду с поверхности (отсеки хранения производственных и бытовых отходов).

По назначению источники загрязнения подразделяются на:

- 1) вентиляционные (местные отсосы, вытяжки от оборудования);
- 2) технологические (трубы котельных и теплоэлектростанций).

В зависимости от высоты над уровнем поверхности устья источника выброса и по месту расположения выделяют:

1) незатененные (высокие) источники. К ним относятся трубы и точечные источники, удаляющие загрязнение на высоту, превышающую высоту здания в 2,5 раз;

2) затененные (низкие) источники. Удаляют загрязнения на высоту в 2,5 раза меньше производственного здания;

3) наземные источники. Находятся непосредственно у земной поверхности [6].

### 1.3 Основные загрязняющие вещества

В загрязнении атмосферы участвует множество вредных веществ. И по происхождению они делятся на первичные и вторичные.

— первичные загрязнители ухудшают качество воздуха выбросами напрямую от источников загрязнения, то есть в ходе человеческой деятельности и животной в том числе. Среди огромного множества первичных загрязнителей можно выделить следующие: твердые частицы (PM),

углеводороды (СН), окись углерода (СО), двуокись серы (SO<sub>2</sub>), оксиды азота (NO<sub>x</sub>), тяжелые металлы;

— вторичные загрязнители являются результатом множества химических и фотохимических реакций первичных загрязнителей с атмосферой. Примером таких загрязнителей служат тропосферный озон (O<sub>3</sub>), кислотные дожди, фотохимические окислители.

По видам загрязнители делятся на химические, физические и биологические.

1) Химические загрязнители – вещества, выбрасываемые в атмосферу от промышленных предприятий, транспорта, и, представляющие угрозу населению и атмосферного воздуха в целом. Загрязнителями химического вида являются тяжелые металлы и синтетические органические соединения [7];

2) К биологическому виду загрязнителей относятся: патогенные бактерии, грибные споры и токсины, вырабатываемые железами животных или растений. Данный вид загрязнителей поступает в атмосферу при формировании вегетативных процессов, для которых образуется благоприятная среда.

3) В качестве физических загрязнителей выступают твердые тела (сажа, пепел, пыль), громкие звуки, пар, радиоволны.

К основным веществам, загрязняющим атмосферу, относятся:

1) Оксид углерода (СО), или «угарный газ» - токсичный бесцветный газ без запаха, образующийся при неполном сгорании углеводородного топлива (угля, газа, нефти). Способствует созданию парникового эффекта на планете.

2) Двуокись углерода (СО<sub>2</sub>), или углекислый газ - бесцветный газ, имеющий кислый запах и вкус, продукт полного окисления углерода. Является одним из парниковых газов.

3) Диоксид серы (SO<sub>2</sub>) - это токсичный газ, образующийся в результате сгорания серы. В свою очередь сгорание серы происходит в ходе сжигания угля на электростанциях и дизельного топлива, например, на кораблях. Участвует в формировании кислотных дождей, которые приводят к эрозии почв, повреждению инфраструктуры.

4) Оксиды азота: оксид (NO) и диоксид азота (NO<sub>2</sub>) - газообразные вещества, не имеющие запаха. Возникают, как правило, при достаточно высоких значениях температуры окружающего воздуха, а также при чрезмерном содержании кислорода. Источниками оксида азота выступают транспортные средства, электростанции, предприятия, в ходе работы изготавливают азотные удобрения, азотную кислоту и нитраты.

5) Углеводороды — химические соединения углерода и водорода. К ним относят загрязняющие атмосферу вещества, содержащиеся в несгоревшем бензине, жидкостях, применяемых в химчистке, промышленных растворителях и т. д.

6) Свинец (Pb) — серебристо-серый токсичный металл. Применяется для изготовления красок, компонентов вооружения и т. п. Основным источником загрязнения атмосферы свинцовыми соединениями — выхлопной газ транспортными средствами, которые используют этилированный бензин.

7) Взвешенные частицы (PM), также известные как сажа, представляют собой смесь твердых частиц довольно маленького диаметра и жидких капель. Данная смесь включает в себя кислоты, органические химические вещества и токсичные металлы, а также частицы почвы или пыли.

По размеру взвешенные частицы классифицируются на:

— PM<sub>10</sub> - вдыхаемые крупные частицы диаметром от 2,5 микрон до 10 микрон. Примером служит пыль, пыльца.

— PM<sub>2,5</sub>- мелкие частицы размером 2,5 микрон или меньше. Выбрасываются в атмосферу во время лесных пожаров, а также могут образовываться, когда газы, выбрасываемые электростанциями, промышленными предприятиями и транспортом, вступают в реакцию в атмосферном воздухе.

8) Аэрозоли – это твердые или жидкие частицы, которые наблюдаются в атмосфере во взвешенном состоянии. В зависимости от содержания частиц в качестве аэрозолей может выступать дым, состоящий из твердых частиц, туман, представляющий собой скопление мелких частиц жидкости. Основные

источники аэрозольного загрязнения воздуха - промышленные предприятия, тепловые электростанции, которые используют уголь высокой зольности [8].

#### 1.4 Нормирование содержания вредных веществ в атмосфере

Нормирование качества окружающей среды — установление государственными органами нормативов (показателей) предельно допустимых деятельностью человека на качество окружающей среды.

Нормативы качества окружающей среды – регламентирующие параметры, которые необходимы для оценки качества окружающей среды, придерживаясь которых, можно создать наиболее условия среды обитания живых организмов.

Нормативы качества окружающей среды делятся на две группы:

1) Гигиенические нормативы – критерии качества атмосферного воздуха, которые отражают предельно допустимое максимальное содержание вредных веществ в атмосфере, не влияющих негативно на человека и его здоровье. Цель данных нормативов - охрана здоровья человека и сохранение растительности и животных.

2) Экологические нормативы – критерии качества атмосферного воздуха, отражающие предельно допустимое максимальное содержание вредных веществ в атмосфере, которые не наносят вред окружающей среде. Этот вид нормативов создает благоприятные условия для окружающей среды, в том числе и для здоровья человека [9].

Кардинально исключить выбросы вредных веществ в атмосферу не невозможно из-за экономических причин, поэтому вводятся нормы предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – это уровень (объемная или массовая концентрация загрязняющих веществ), при котором ежедневное воздействие в течение неограниченного количества времени на человека и

других живых организмов не влечет за собой каких-либо негативных последствий для здоровья. Величины ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе выражаются в мг/м<sup>3</sup>.

Применительно к атмосфере выделяют следующие виды ПДК в зависимости от периода осреднения проб:

1. Максимально разовая предельно допустимая концентрация (ПДК<sub>мр</sub>) - это такая концентрация загрязняющего вещества в атмосфере, которая при воздействии на человека в течение 20- 30 минут не вызывает у него непроизвольных реакций (головная боль, ощущение запаха, тошнота и др.).

2. Среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК<sub>сс</sub>) - это такая концентрация загрязняющего вещества в атмосфере, которая не влечет за негативных последствий, связанных со здоровьем человека при неограниченно длительном, круглосуточном воздействии [10].

Таким образом, среднесуточная предельно допустимая концентрация вредных веществ является самым грубым санитарно-гигиеническим нормативом, поскольку она рассчитана на все слои общества и на длительный период. Помимо этого, ПДК<sub>сс</sub> служить эталонной величиной для оценки качества атмосферного воздуха.

Нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ контролируются санитарно-эпидемиологическими службами (в России – Роспотребнадзором) при помощи токсикологических исследований.

Наряду с максимально разовыми и среднесуточными предельно допустимыми концентрациями загрязняющих веществ выделяют и ПДК рабочей зоны.

Предельно допустимая концентрация рабочей зоны (ПДК<sub>рз</sub>) - это такая концентрация загрязняющего вещества в атмосфере, которая не вызывает негативных реакций, связанных со здоровьем человека, при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов, или при другой продолжительности, но не более 41 часа в неделю, на протяжении всего рабочего стажа.

В свою очередь рабочей зоной считается территория высотой до 2 м над уровнем пола или площади, на которой находятся места работы людей.

Таким образом, ПДК<sub>рз</sub> рассчитана не на все слои общества, в отличие от ПДК<sub>сс</sub>, а лишь на работоспособное население.

Гигиеническими нормами, помимо предельно допустимых концентраций, установлены также классы опасности загрязняющих веществ.

Под классом опасности понимается условная величина, которая характеризует степень опасности для человека загрязняющих веществ.

По степени воздействия на организм все загрязняющие вещества подразделяют на четыре класса опасности:

- 1 класс - чрезвычайно опасные (ПДК менее 0,1 мг/м<sup>3</sup>);
- 2 класс - высоко опасные (ПДК<sub>рз</sub> 0,1–1 мг/м<sup>3</sup>);
- 3 класс - умеренно опасные (ПДК<sub>рз</sub> 1,1–10 мг/м<sup>3</sup>);
- 4 класс – малоопасные (ПДК<sub>рз</sub> более 10 мг/м<sup>3</sup>).

Принятие во внимание класса опасности дает возможность организованно обосновать требующиеся меры профилактики (например, к мерам безопасности при работе с различными веществами), а также заранее оценить опасность воздействия тех или иных веществ на организм человека [11].

В таблице 1.2 представлены ПДК загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу на территории Российской Федерации, а также их класс опасности.

Таблица 1.2 - Предельно допустимые концентрации и класс опасности загрязняющих веществ в РФ

Загрязняющее вещество	ПДК <sub>сс</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>мр</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
Оксид углерода	3	5	4
Диоксид азота	0,04	0,2	2
Оксид азота	0,06	0,4	3
Диоксид серы	0,05	0,5	3
Аммиак	0,04	0,2	4
Озон	0,03	0,16	1
Взвешенные частицы	0,15	0,5	3



## 1.5 метеорологические факторы, влияющие на качество атмосферного воздуха

Ухудшение качества атмосферного воздуха зависит не только от антропогенных и природных факторов, но и метеорологических параметров.

В качестве метеорологических факторов выступают температура воздуха, скорость и направление ветра, устойчивость атмосферы, слои инверсии и изотермии, облачность, туманы и др.

Все вышеперечисленные метеорологические параметры при постоянных выбросах вредных веществ способны изменять уровень загрязнения приземного слоя. То есть они в разы могут либо увеличивать, либо уменьшать содержание загрязняющих веществ.

Поскольку метеорологические условия, приводящие к увеличению загрязнения атмосферы, наблюдаются в течение всех сезонов, то основной задачей является мониторинг неблагоприятных синоптических условий для соблюдения чистоты атмосферного воздуха.

В разделах 1.5.1-1.5.4 рассмотрены основные метеорологические факторы, влияющие на качество атмосферного воздуха, и их особенности.

### 1.5.1 Температура воздуха

Температура воздуха является важным фактором в образовании фотохимических загрязнений. В свою очередь фотохимические загрязнения возникают под действием ультрафиолетовой радиации Солнца при помощи реакций, протекающих под действием света и происходящих в атмосфере в присутствии выбросов вредных веществ от производств химической отрасли и автотранспорта. Скорость фотохимических реакций растет при повышении температуры, что и приводит к увеличению загрязнения атмосферного воздуха [12].

В городских условиях при уменьшении температуры воздуха усиливается эффект «острова тепла», который представляет собой явление, состоящее в росте температуры городских территорий относительно окружающей сельской местности. Увеличивается и местная циркуляция, которая дает возможность чистому воздуху проникать с прилежащих территорий непосредственно в город. Также при уменьшении температуры увеличивается разность температур между выбросами вредных веществ и атмосферным воздухом, что способствует большему подъёму загрязняющих веществ в вышележащие слои и уменьшению их воздействия на приземный слой атмосферы.

Рассмотренное выше влияние температуры воздуха на загрязнение атмосферы является прямым, то есть происходит непосредственное изменение содержания вредных веществ в окружающей среде при увеличении или уменьшении температуры. Но во многом температура воздуха оказывает косвенное влияние на загрязнение атмосферы. В холодный сезон года люди вынуждены расходовать большее количество топлива на обогрев помещений по сравнению с летним периодом, что в свою очередь приводит к увеличению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Таким образом, температура воздуха и загрязнение атмосферы обратно пропорциональны друг другу: чем ниже температура окружающего воздуха, тем большее количество вредных веществ будет поступать в воздух.

### 1.5.2 Ветер

Ветровой режим - не менее важный фактор, чем температура, который оказывает влияние на формирование повышенного или пониженного уровня загрязнения атмосферы.

Скорости ветра напрямую влияют на распространение загрязняющих веществ в атмосферный воздух. При этом данный метеорологический фактор

воздействует на рассеивание примесей в зависимости от типа источника и характеристики выбросов.

При низких или холодных источниках выбросов уровень загрязнения воздуха, неблагоприятно влияющий на здоровье человека, наблюдается при слабых ветрах, т.е. при скоростях 0-1 м/с. Качество атмосферного воздуха ухудшается в данном случае из-за накапливания вредных примесей в приземном слое. В ситуациях, когда слабые ветры господствуют довольно длительный промежуток времени и наблюдаются над обширной территорией, создаются наилучшие условия для возможного ухудшения качества атмосферного воздуха. Если газы, выбрасываемые предприятиями, составляют большую температуру по отношению к окружающему воздуху, то они обладают так называемой начальной высотой подъема. Из-за этого вблизи с источником выбросов возникает поле вертикальных скоростей, которое приводит к увеличению подъема факела при малых скоростях ветра и уносу примесей в атмосферу. Этот вертикальный подъем является одной из причин уменьшения уровня загрязнения у поверхности земли. Снижение концентрации происходит и при достаточно сильных ветрах, причиной которого является довольно быстрый перенос примесей в горизонтальном направлении.

Таким образом, рост скорости ветра у поверхности земли и на других высотах выносит загрязненную массу за пределы городского пространства, тем самым способствуя очищению окружающего воздуха.

Увеличение значений концентраций вредных веществ в атмосфере наблюдается, когда преобладают ветры со стороны промышленных предприятий [13].

### 1.5.3 Осадки

Интенсивность, количество, продолжительность осадков могут изменять содержание вредных примесей в атмосфере в широком диапазоне.

Интенсивность осадков – количество осадков, выпавшее в течение единицы времени, количество – это слой жидкости, который образовался бы, если бы выпал на непроницаемую горизонтальную поверхность в качестве осадков [14].

Осадки приводят к очищению атмосферы, т.е. к «вымыванию» вредных примесей. Причем это очищение начинает проявляться при выпадении количества осадков от 5 мм и более за сутки. Положительный эффект длится несколько часов, после чего уровень загрязнения воздуха в городе стремится принять свое начальное состояние. В первый час выпадения дождя концентрация примесей значительно уменьшается. В следующие 12 часов после того, как закончились осадки, высокие концентрации вредных веществ отмечаются в меньшем количестве по сравнению с последующими часами. Но такой процесс очищения атмосферы от вредных примесей наблюдается лишь вне зоны прямого контакта с источником загрязнения. Под факелом же выбросов концентрации возвращаются в исходное состояние сразу после окончания осадков.

Очищению атмосферы от вредных примесей помогают не только осадки, но и облака, за счет поглощения их каплями или кристаллами. Поэтому при низкой облачности уменьшается приземная концентрация загрязняющих веществ за счет поглощения.

#### 1.5.4 Инверсии температуры

Инверсии температуры оказывают крайне негативное влияние на качество окружающего воздуха. В большинстве случаев температура воздуха с высотой уменьшается. Но в нижнем слое атмосферы при определенных условиях возникают слои воздуха, в которых температура с высотой повышается (слои температурной инверсии). Толщина этих инверсионных слоев изменяется от нескольких метров до 2-3 км, а температура может

значительно меняться от 2 до 15 °С и более. Инверсии температуры бывают как у поверхности земли (приземные инверсии) так и в свободной атмосфере (приподнятые инверсии). Образуются они в основном в безветренное ночное время в из-за охлаждения поверхности, вызванного интенсивным излучением тепла, что приводит к охлаждению её самой и окружающего воздуха [15].

Температурные инверсии влияют на загрязнение окружающей среды, так как они изменяют динамику движения воздуха. Теплый воздух в силу своей меньшей плотности и, следовательно, большей плавучести, чем более холодный воздух, поднимается в атмосферу. Тем самым создается вертикальное движение воздушной массы - конвекция. Однако инверсия температуры препятствует этому движению. То есть температурные инверсии являются задерживающими слоями. В результате отсутствия вертикальных движений воздуха в приземном слое атмосферы накапливаются вредные вещества.

В случае приподнятой над поверхностью земли инверсии основное распространение загрязняющих веществ в вертикальном направлении также ограничивается, а объем приземных концентраций зависит от того на какой высоте расположен источник загрязнения по отношению к нижней границе. В случае, когда источник выброса располагается на большей высоте по сравнению с приподнятой инверсией, то к земной поверхности примеси будут опускаться в относительно небольших объемах. Однако в случае, когда источник загрязнения находится ниже задерживающего слоя, то большая часть примеси скапливается у поверхности земли [16].

Увеличение числа инверсий наблюдается, как правило, при антициклональной погоде. Разрушаются инверсии при возникновении сильных ветров и циклоническом характере погоды [17].

В городских условиях довольно большому накоплению загрязняющих веществ слое атмосферы, примыкающем к поверхности земли, способствует «застой воздуха» - сочетание приземной температурной инверсии со слабыми ветрами (0-1 м/с).

## 2 Состояние атмосферного воздуха в г.Архангельск

### 2.1 Физико-географическая и климатическая характеристики Архангельска

Архангельск - это город, расположенный на севере европейской части России и представляющий собой административный и промышленный центр Архангельской области.

Город с географическими координатами 64°33' с.ш., 40°32' в.д. расположен в 50 км от Белого моря на правом берегу устья Северной Двины. Площадь Архангельска составляет 294,42 км<sup>2</sup>, а протяженность вдоль берегов Северной Двины около 40 км. По состоянию на 2021 год численность населения составила 301 199 человек. По этим показателям Архангельск является третьим городом в Северо-западном федеральном округе после Санкт-Петербурга и Калининграда.

Климат рассматриваемого города – Архангельска умеренно-континентальный, на северо-западе преимущественно морской, на северо-востоке субарктический с довольно продолжительной умеренно холодной зимой и коротким прохладным летом. Формирование климата происходит в результате воздействием северных морей и переносов воздушных масс с Атлантики при малой солнечной радиации. Архангельск склонен к значительному воздействию атлантических циклонов, особенно в осенний и зимний периоды, а также частым вторжениям арктических циклонов. Неоднократная смена различных воздушных масс определяет большую изменчивость погоды. [18]

Особенностью климата Архангельска является повышенная влажность и относительно высокая среднегодовая температура воздуха. Согласно таблице 2.1, которая составлена по данным архива погоды в г. Архангельск за период с 1991 по 2021 года, средняя годовая температура воздуха составляет +2,3°C, средняя температура января –11,2 °С, июля +17,3 °С. Продолжительность

периода с температурами ниже нуля градусов в Архангельске достигает 205 дней. Зимой периодически отмечаются морозы до  $-40^{\circ}\text{C}$ , связанные с вторжением холодного воздуха со стороны Сибири. Последний раз аномальные для города холода были зафиксированы 25 января 1999 года. Летом при вторжении теплого воздуха со стороны степей Казахстана возможно повышение температуры до  $30-35^{\circ}\text{C}$ .

Как было сказано ранее, для Архангельска присуще частая смена погоды, довольно высокая влажность воздуха, а вторжение Атлантических масс сопровождается выпадением осадков [19]. Атмосферные осадки во многом связаны с активной циклонической деятельностью. Особенно обильные осадки выпадают при южных циклонах. Циклоны с запада приносят осадки менее интенсивные, но более продолжительные. По данным таблицы 2.1, приведенной ниже, минимальное количество осадков отмечается в зимние месяцы и в начале весны. Максимум осадков наблюдается в июле-августе. Амплитуда годового хода составляет 52 мм. Наименьшее значение относительной влажности приходится на май (66 %), а наибольшее – на октябрь (86 %). В среднем меньше всего дождливых дней отмечается в конце зимы – начале весны (7 дней), а больше всего – в октябре (10 дней).

Таблица 2.1 – Климатическая справка Архангельска за период 1991-2021 годов

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Среднемесячная температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ )	-11,2	-10,1	-5,6	0,8	7,5	13	17,3	14,2	9,4	2,9	-3,4	-7
Минимальная температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ )	-13,6	-12,8	-8,9	-3,4	2,5	8,3	13	10,8	6,7	1,2	-5,2	-9,2
Максимальная температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ )	-9	-7,8	-2,8	4,5	11,6	16,6	20,9	17,4	12,1	4,6	-1,8	-5
Количество осадков (мм)	40	32	36	37	58	73	80	84	68	67	51	46
Влажность (%)	82	82	81	75	66	66	70	76	81	86	86	85
Дождливые дни (дни)	8	7	7	7	8	9	9	9	9	10	9	9

Направление ветра формируется под влиянием исландского минимума. И повторяемость тех или иных румбов за период с 2018 года по 2021 год представлена в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Направление ветра в г. Архангельск в январе 2018-2021 гг.

Направление ветра	2018	2019	2020	2021
С	6,4%	10,1%	11,9%	0,8%
СВ	3,9%	4,8%	5,9%	4,4%
В	17,5%	15,3%	6,8%	20,5%
ЮВ	24,7%	25%	15%	28,3%
Ю	47,6%	52%	48,8%	54,9%
ЮЗ	15,1%	13,4%	12,5%	16,3%
З	7,8%	5,1%	14,2%	0,8%
СЗ	13%	4,1%	14,8%	0,7%

Согласно данным таблице 2.2 преобладающим направлением ветра является южное. С сентября по март господствуют юго-восточные, южные, юго-западные ветры, а в летний период доминирующим являются ветры северного и северо- западного направлений [20].

Наибольшие скорости ветра отмечаются в прибрежных зонах города. Более низкие значения наблюдаются в черте города вблизи построек, то есть на территориях, препятствующих проникновению воздушных потоков.

В таблице 2.3 представлены средние и максимальные значения скорости ветра по сезонам за 2020 год.

Таблица 2.3 – Скорость ветра в Архангельске за 2020 год

Период	Средняя скорость ветра, м/с	Максимальная скорость ветра, м/с
Зима	3,5	26
Весна	2,5	18
Лето	2,1	20
Осень	4,5	22

Анализируя приведенную выше таблицу, можно заметить, что наибольшие скорости ветра отмечаются осенью и зимой, так как в этот период циклоническая деятельность в Северном полушарии максимальна.



Наименьшая среднемесячная скорость ветра приходится на летний период, чаще всего на июль или август и составляет около 2 м/с.

## 2.2 Экологический мониторинг окружающей среды

Экологический мониторинг – это система наблюдений, главной целью которой является создание информационной системы, с помощью которой в дальнейшем можно получить достоверные данные о состоянии окружающей среды и ее физических изменениях под действием природных и антропогенных факторов [21].

Экологический мониторинг выполняет следующий ряд задач:

- сбор исходной информации, ее накопление, группировка, анализ и создание банка данных;
- обработка данных и их представление в графическом, табличном и других видах;
- оценка фактического состояния окружающей среды и прогноза;
- анализ основных наблюдаемых причин и изменений состояния;
- обеспечение необходимой информацией потребителей.

По результатам экологического мониторинга окружающей среды представляется возможным дать качественную оценку степени влияния антропогенных источников загрязнения на состав и свойства этой среды.

В зависимости от объектов наблюдения, целей и задач выделяют несколько видов мониторинга.

По масштабам воздействия экологический мониторинг делится на:

- фоновый - слежение за общебиосферными природными явлениями для получения информации биосфере и её процессах;
- глобальный – система наблюдений, охватывающая всю биосферу Земли и включающая в себя слежение за природными и антропогенными явлениями, а также прогнозирование неблагоприятных изменений ;

- национальный – слежение за взаимодействием природы и человека на территории государства;
- региональный – слежение за процессами и явлениями на территории отдельного региона, которые имеют отличия от естественных биологических процессов по характеру воздействию;
- локальный – наблюдения за отдельными антропогенными источниками загрязнения;
- импактный (точечный) – мониторинг антропогенных воздействий регионального и локального характеров, осуществляемый в особо опасных местностях [22].

По методам наблюдения выделяют четыре вида мониторинга:

- Дистанционный мониторинг – наблюдения, проводимые без непосредственного контакта с исследуемым объектом, то есть с использованием летательных аппаратов, снабженных радиометрической аппаратурой (авиационный, космический мониторинг);
- Биологический мониторинг – система наблюдений, основанная на использовании биоиндикаторов, то есть организмов, поведение и состояние которых говорит об изменениях в природной среде;
- Физический мониторинг – слежение за основными явлениями и процессами физического характера, а также их влиянием на окружающую нас среду (наводнения, природные пожары, засухи и т.д.).
- Химический мониторинг – это слежение за химическим составом атмосферы, поверхностных и подземных вод, почв, растительности, животных и контроль за характером распространения химических загрязняющих веществ [23].

Экологический мониторинг ведется с различных постов наблюдений, которые делятся на три категории:

- Стационарный пост наблюдения – небольшое помещение, оснащенное специальными приборами для осуществления непрерывной регистрации содержания концентрации загрязняющих веществ и метеорологических

параметров. Как правило, стационарные посты устанавливают в местах постоянного пребывания людей, т.е. в городах.

– Маршрутный пост наблюдения - осуществляет непрерывный отбор проб в определенной точке местности, где нет возможности разместить стационарный пост наблюдения или нет необходимости в данной точке постоянно следить за уровнем содержания загрязняющих веществ. Наблюдения выполняются с помощью специализированной передвижной аппаратуры.

– Передвижной (подфакельный) пост наблюдения служит для отбора проб под дымовым факелом для оценки воздействия данного источника на качество окружающей среды [24].

### 2.3 Система мониторинга атмосферного воздуха в Архангельске

Архангельск представляет собой крупный промышленный центр, предприятия которого выбрасывают огромные объемы вредных для атмосферы веществ.

Основными источниками загрязнения окружающей среды г. Архангельска являются предприятия тепловой энергетики, деревообрабатывающей и машиностроительной промышленности, а также автомобильный, воздушный и железнодорожный транспорт [25].

В Архангельске наблюдения за качеством атмосферного воздуха осуществляет ФГБУ «Северное УГМС» на 3 стационарных постах, расположение которых приведено на рисунке 2.1

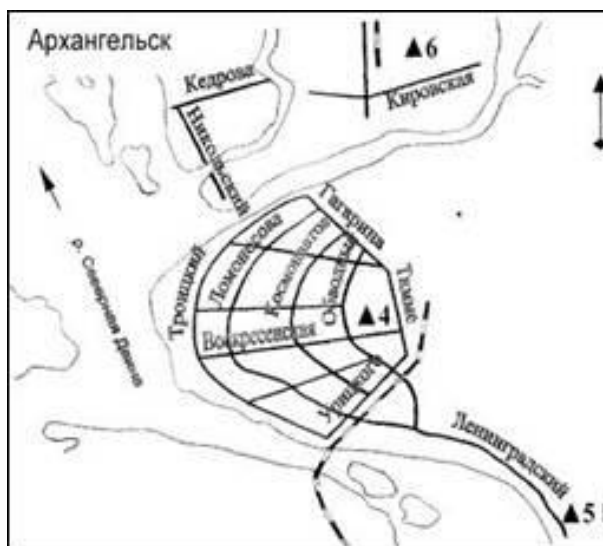


Рисунок 2.1 - Схема размещения стационарных постов в Архангельске

Среди стационарных постов наблюдений, расположенных в черте города, выделяют 3 категории:

- «городские фоновые», установленные в жилых районах (пост №5 – Ленинградский проспект, 283);
- «промышленные» – поблизости от городских предприятий (пост №6 - перекресток Кировской - Орджоникидзе);
- «автомобильные» – около автомагистралей с интенсивным движением транспорта (пост №4 - перекресток улицы Тимме - Воскресенская).

Однако это разделение носит условный характер, потому что городская застройка и расположение предприятий не дают возможности осуществить четкое деление районов. Так, например, на пост №5, который располагается на Ленинградском проспекте, одновременно оказывают влияние выхлопы автомобильного транспорта и выбросы Архангельского целлюлозно-бумажного комбината.

На постах, расположенных в черте города Архангельск, наблюдения за концентрациями загрязняющих атмосферу веществ проводятся по неполной программе в 7, 13 и 19 часов. Загрязнители атмосферного воздуха, наблюдения за которыми проводятся на перечисленных выше постах, указаны в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Перечень контролируемых веществ в атмосферном воздухе

Пост	Взвешенные частицы	Диоксид серы	Оксид углерода	Диоксид азота	Оксид азота	Сероводород	Сероуглерод	Формальдегид	Бенз(а)пирен	Твердые металлы
4	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-
5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Также производятся наблюдения за метеорологическими параметрами атмосферного воздуха: температурой и относительной влажностью воздуха, направлением и скоростью ветра, атмосферным давлением.

Данные, полученные в ходе измерений параметров окружающего воздуха, отправляются в Северное УГМС, министерство природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области, а также размещаются на сайте ГБУ Архангельской области «Центр природопользования и охраны окружающей среды».

### 3 Исследование загрязнения атмосферного воздуха в Архангельске в зимне - летний период 2021-2022 года

Исходными данными для бакалаврской работы являются концентрации загрязняющих веществ за зимний и летний периоды 2021-2022 годов в г. Архангельск, полученные с автомобильного стационарного поста наблюдения. В качестве исследуемых загрязняющих веществ выступают: оксида углерода (CO), оксида азота (NO), диоксида азота (NO<sub>2</sub>), взвешенные частицы (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>) и озон (O<sub>3</sub>). Данные представлены государственным бюджетным учреждением Архангельской области «Центром природопользования и охраны окружающей среды».

### 3.1 Анализ месячного хода концентраций загрязняющих веществ

Значения концентраций основных загрязняющих веществ в г.Архангельске за рассматриваемые зимний и летний периоды 2021-2022 годов представлены в таблицах 1.1 и 1.2 в Приложении 1 и выражены в долях предельно допустимой среднесуточной концентрации (ПДК<sub>сс</sub>). По данным таблиц 1.1 и 1.2 были построены графики распределения среднесуточных концентраций оксида углерода, оксида азота, диоксида азота и озона за декабрь, январь и февраль (рисунки 3.1, 3.3 и 3.5), а также за июнь, июль и август (рисунки 3.7, 3.9, 3.11 соответственно). Месячный ход концентраций взвешенных частиц представлен на рисунках 3.2, 3.4, 3.6 (зимний период) и 3.8, 3.10, 3.12 (летний период).

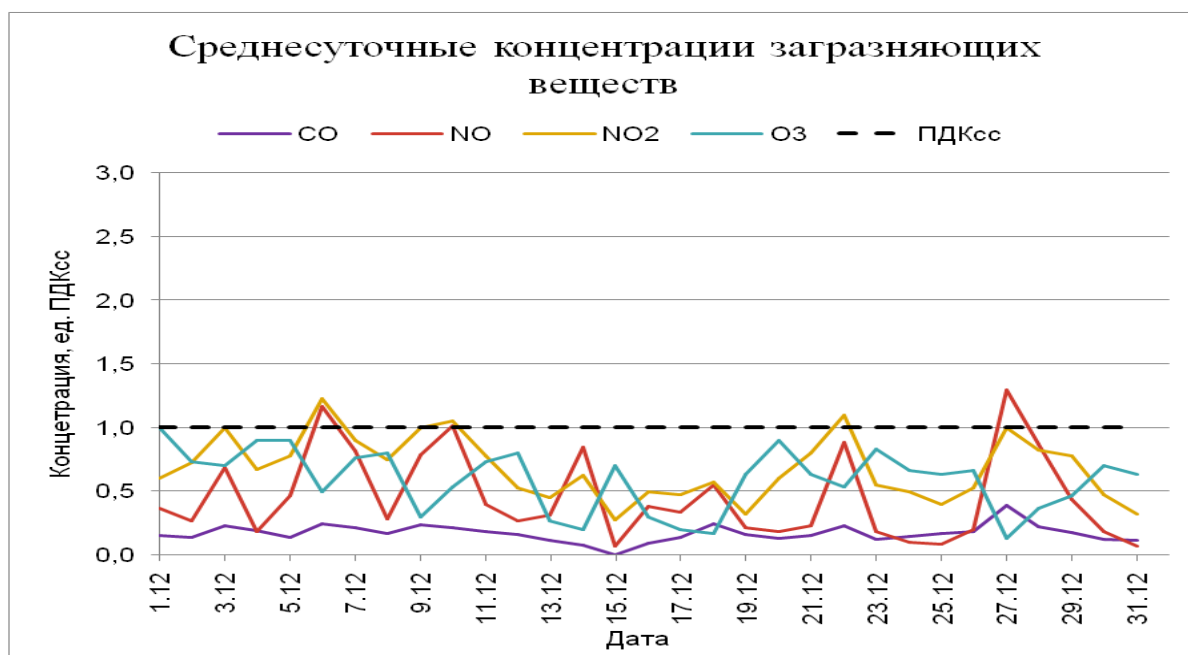


Рисунок 3.1 – График распределения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ в декабре

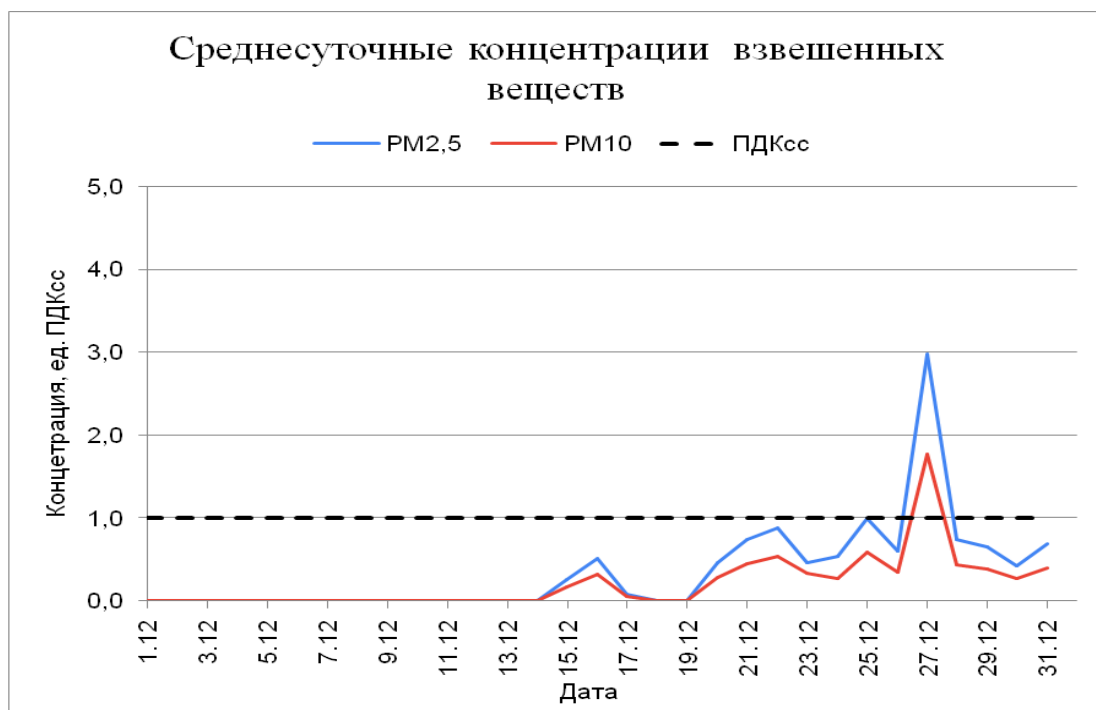


Рисунок 3.2 – График распределения среднесуточных концентраций взвешенных веществ в декабре

#### Анализ распределения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ в декабре

- СО: максимум (0,388 ед. ПДК<sub>сс</sub>) пришлось на 27 декабря, наименьшее (0,096 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – на 16 декабря. Средняя концентрация составила 0,170 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышений ПДК<sub>сс</sub> не наблюдалось.

- NO: максимум (1,300 ед. ПДК<sub>сс</sub>) отмечался 27 декабря, минимум (0,067 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – 15 и 31 декабря. Средний показатель NO: 0,456 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышения ПДК<sub>сс</sub> NO наблюдались 6, 10 и 27 декабря до 1,167 ед. ПДК<sub>сс</sub>, 1,017 ед. ПДК<sub>сс</sub> и 1,300 ед. ед. ПДК<sub>сс</sub> соответственно.

- NO<sub>2</sub>: максимум концентрации (1,225 ед. ПДК<sub>сс</sub>) наблюдался 6 декабря, минимум (0,275 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – 15 декабря. Средний показатель NO<sub>2</sub>: 0,681 ед. ПДК<sub>сс</sub>. За месяц рижды зафиксированы превышения ПДК<sub>сс</sub> NO<sub>2</sub>, а именно: 6, 10 и 22 декабря NO<sub>2</sub> принимал значения 1,225 ед. ПДК<sub>сс</sub>, 1,050 ед. ПДК<sub>сс</sub> и 1,100 ед. ПДК<sub>сс</sub> соответственно.

●O<sub>3</sub>: максимум (1,000 ед. ПДК<sub>сс</sub>) пришелся на 1 декабря, а минимум (0,133 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – на 27 декабря. Средний показатель O<sub>3</sub> составил 0,590 ПДК<sub>сс</sub>. Превышений ПДК<sub>сс</sub> O<sub>3</sub> выявлено не было.

●PM<sub>2,5</sub>: максимум отмечался 27 декабря и составил 2,971 ед. ПДК<sub>сс</sub>, а минимум (0,000 ед. ПДК<sub>сс</sub>) наблюдался с 1 по 14 декабря, 18 и 19 декабря. Средний показатель PM<sub>2,5</sub> составил 0,356 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышение ПДК<sub>сс</sub> PM<sub>2,5</sub> наблюдалось 27 декабря 2,971 ед. ПДК<sub>сс</sub>.

●PM<sub>10</sub>: максимум пришелся на 27 декабря (1,767 ед. ПДК<sub>сс</sub>), а минимум (0,000 ед. ПДК<sub>сс</sub>) с 1 по 14 декабря, 18 и 19 декабря. Средняя концентрация составила 0,212 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышение ПДК<sub>сс</sub> PM<sub>10</sub> наблюдалось лишь 27 декабря до 1,767 ед. ПДК<sub>сс</sub>.

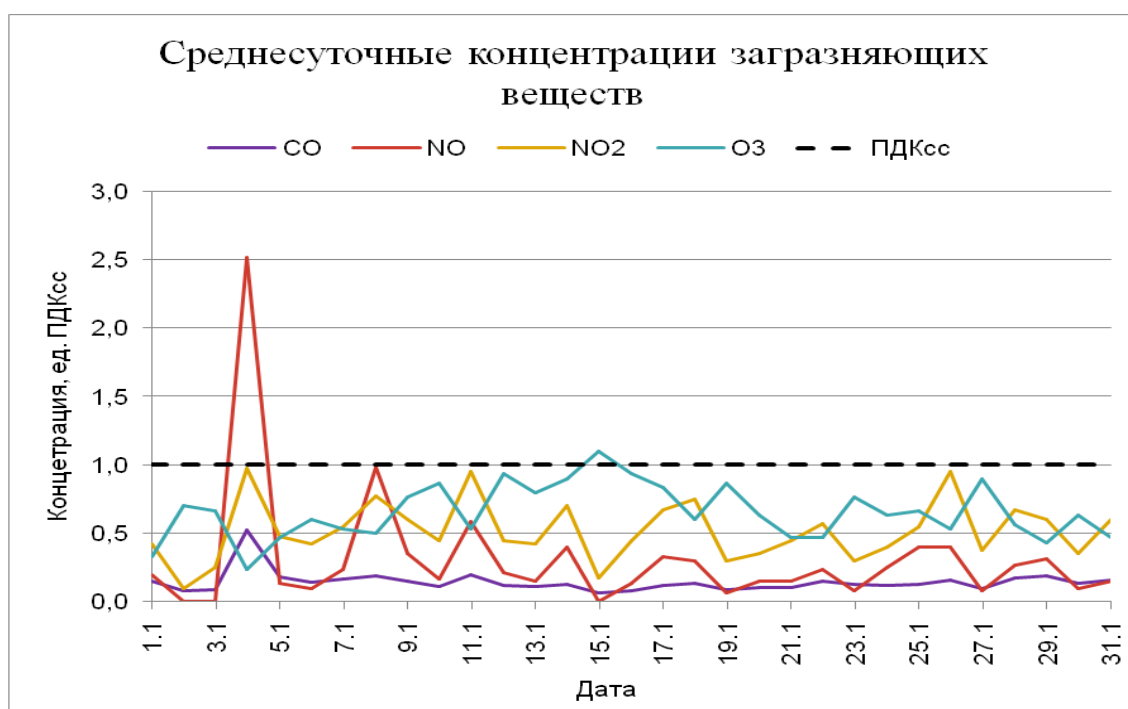


Рисунок 3.3 – График распределения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ в январе



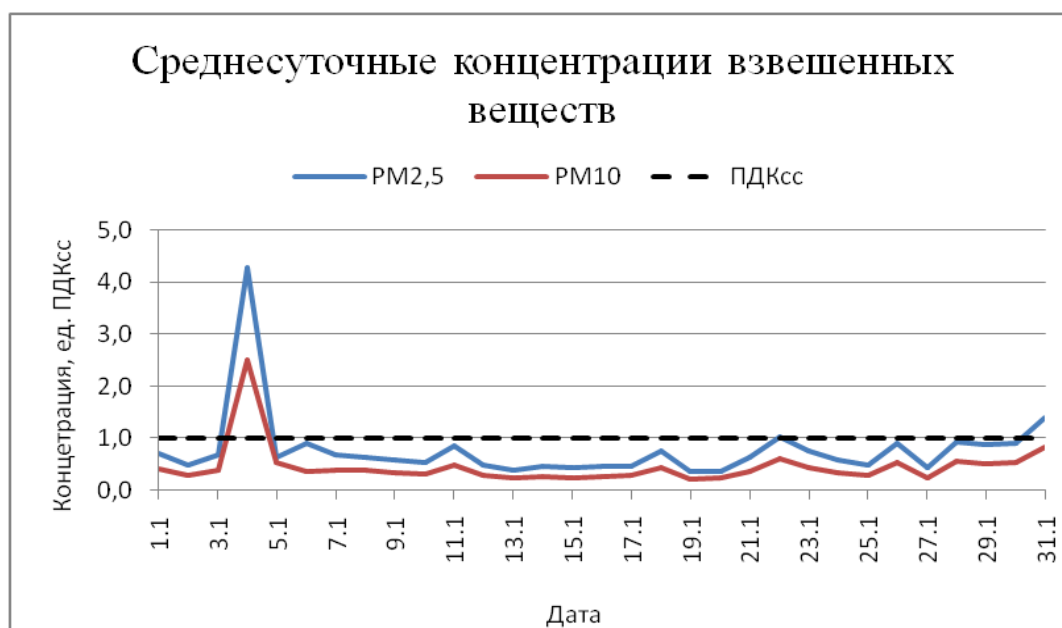


Рисунок 3.4 – График распределения среднесуточных концентраций взвешенных веществ в январе

#### Анализ распределения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ в январе

- СО: максимум (0,523 ед. ПДК<sub>сс</sub>) пришелся на 4 января, а минимум (0,062 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – на 15 января. В среднем СО составил 0,144 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышений ПДК<sub>сс</sub> не наблюдалось.

- NO: максимум отмечался 4 января и составил 2,517 ед. ПДК<sub>сс</sub>, а минимум – 2 и 3 января ( 0,000 ед. ПДК<sub>сс</sub>). Средний показатель NO: 0,305 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышение ПДК<sub>сс</sub> NO до 2,517 ед. ПДК<sub>сс</sub> наблюдалось 4 января.

- NO<sub>2</sub>: максимум (0,975 ед. ПДК<sub>сс</sub>) наблюдался 4 января, а минимум (0,100 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – 2 января. В среднем NO<sub>2</sub> составил 0,519 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышений ПДК<sub>сс</sub> NO<sub>2</sub> замечено не было.

- O<sub>3</sub>: наибольшее значение (1,100 ед. ПДК<sub>сс</sub>) пришлось на 15 января, а наименьшее (0,233 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – на 4 января. Средний показатель O<sub>3</sub>: 0,656 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышение ПДК<sub>сс</sub> O<sub>3</sub> до 1,100 ед. ПДК<sub>сс</sub> отмечалось 15 января.

- PM<sub>2,5</sub>: максимум отмечался 4 января и составил 4,286 ед. ПДК<sub>сс</sub>, а минимум (0,371 ед. ПДК<sub>сс</sub>) наблюдался 19 и 20 января. Средний показатель:

0,782 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышения ПДК<sub>сс</sub> РМ<sub>2,5</sub> наблюдались 4, 22 и 31 января до 4,286 ед. ПДК<sub>сс</sub>, 1,029 ед. ПДК<sub>сс</sub> и 1,400 ед. ПДК<sub>сс</sub> соответственно.

●РМ<sub>10</sub>: максимум пришелся на 4 января (2,517 ед. ПДК<sub>сс</sub>), а минимум (0,217 ед. ПДК<sub>сс</sub>) наблюдался 19 января. Средний показатель концентрации составил 0,460 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышение ПДК<sub>сс</sub> РМ<sub>10</sub> наблюдалось 4 января до 2,517 ед. ПДК<sub>сс</sub>.

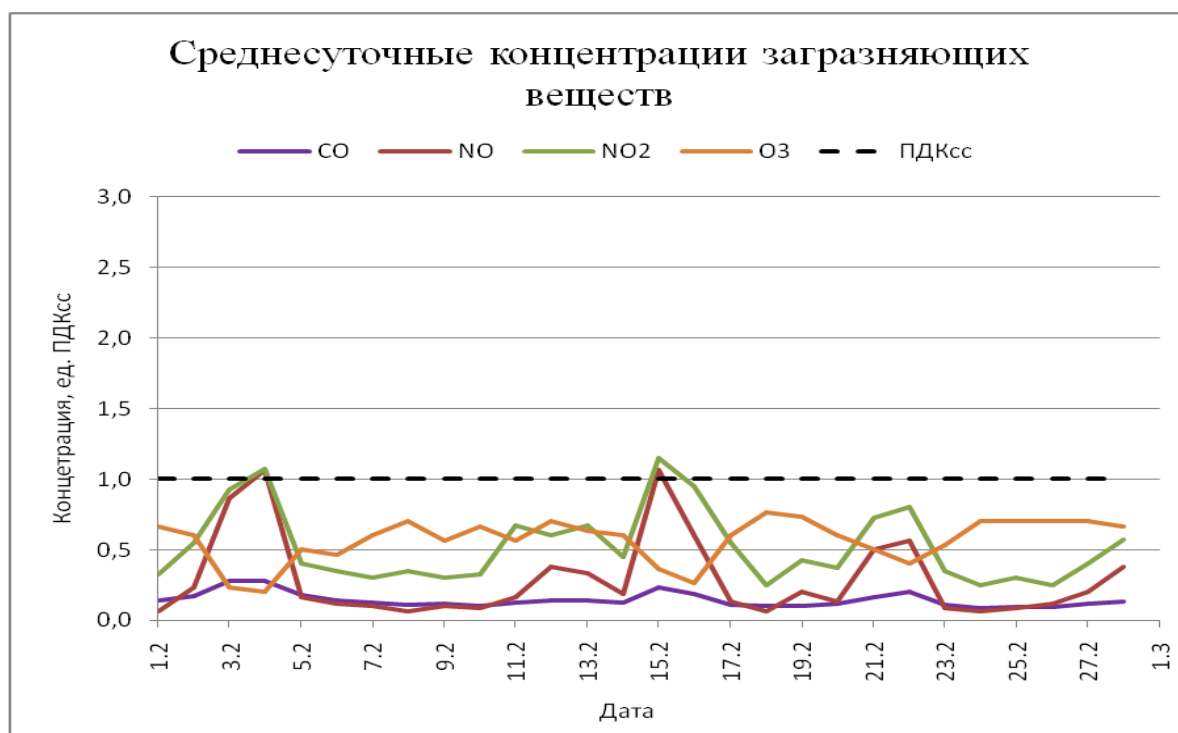


Рисунок 3.5 – График распределения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ в феврале

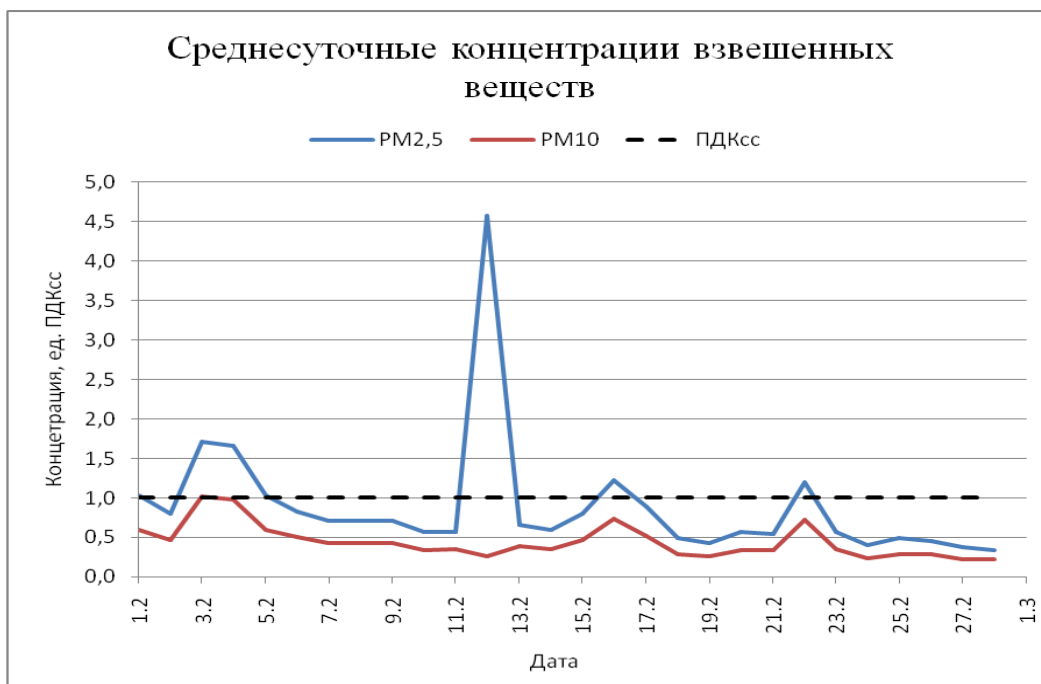


Рисунок 3.6 – График распределения среднесуточных концентраций взвешенных веществ в феврале

### Анализ распределения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ в феврале

- СО: максимум (0,277 ед. ПДК<sub>сс</sub>) пришелся на 4 февраля, а минимум (0,089 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – на 24 февраля. В среднем показатель концентрации СО составил 0,144 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышений ПДК<sub>сс</sub> не наблюдалось.

- NO: максимум отмечался 4 и 15 февраля и составил 1,067 ед. ПДК<sub>сс</sub>, а минимум – 8 и 18 февраля (0,067 ед. ПДК<sub>сс</sub>). Средний показатель NO: 0,290 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышения ПДК<sub>сс</sub> NO до 1,067 ед. ПДК<sub>сс</sub> наблюдались 4 и 15 февраля.

- NO<sub>2</sub>: наибольшая концентрация (1,150 ед. ПДК<sub>сс</sub>) наблюдалась 15 февраля, а наименьшая (0,250 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – 18 и 24 февраля. Средний показатель: 0,523 ед. ПДК<sub>сс</sub>. NO<sub>2</sub> дважды превышал ПДК<sub>сс</sub>, а именно: 4 февраля и 15 февраля значения поднимались до 1,075 ед. ПДК<sub>сс</sub> и 1,150 ед. ПДК<sub>сс</sub> соответственно.

●O<sub>3</sub>: максимум (0,767 ед. ПДК<sub>сс</sub>) пришелся на 18 февраля, а минимум (0,200 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – на 4 февраля. O<sub>3</sub> в среднем составил 0,569 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышений ПДК<sub>сс</sub> O<sub>3</sub> зафиксировано не было.

● PM<sub>2,5</sub>: максимум (4,571 ед. ПДК<sub>сс</sub>) отмечался 12 февраля, а минимум (0,343 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – 28 февраля. Средний показатель: 0,891 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышения ПДК<sub>сс</sub> PM<sub>2,5</sub>: 3,4,16 и 22 февраля до 1,714 ед. ПДК<sub>сс</sub>, 1,657 ед. ПДК<sub>сс</sub>, 1,229 ед. ПДК<sub>сс</sub> и 1,200 ед. ПДК<sub>сс</sub> соответственно.

●PM<sub>10</sub>: максимум (1,017 ед. ПДК<sub>сс</sub>) пришелся на 3 февраля, минимум (0,217 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – на 27 и 28 февраля. Средний показатель концентрации: 0,442 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышение ПДК<sub>сс</sub> PM<sub>10</sub> наблюдалось 3 февраля до 1,017 ед. ПДК<sub>сс</sub>.

В таблице 3.1 отражены дни, в которые наблюдались превышения ПДК<sub>сс</sub> каждого из загрязняющих веществ в зимний период.

Таблица 3.1 – Превышения ПДК<sub>сс</sub> загрязняющих веществ в зимний период

Месяц	Зимний период					
	СО	NO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>
декабрь	-	6 дек, 10 дек, 27 дек	6 дек, 10 дек, 22 дек	-	27 дек	27 дек
январь	-	4 янв	-	15 янв	4 янв, 22 янв, 31 янв	4 янв
февраль	-	4 фев, 15 фев	4 фев, 15 фев	-	3 фев, 4 фев, 16 фев, 22 фев	3 фев

Таким образом, на протяжении всего рассматриваемого зимнего периода наблюдались превышения ПДК<sub>сс</sub> оксидом азота и взвешенными веществами. Концентрации NO<sub>2</sub> принимали значения больше ПДК<sub>сс</sub> только в декабре и феврале, а O<sub>3</sub> – только в январе. Повышенные значения концентраций СО и вовсе не отмечались. Наиболее загрязненными днями оказались: 27 декабря, 4 января и 4 февраля.

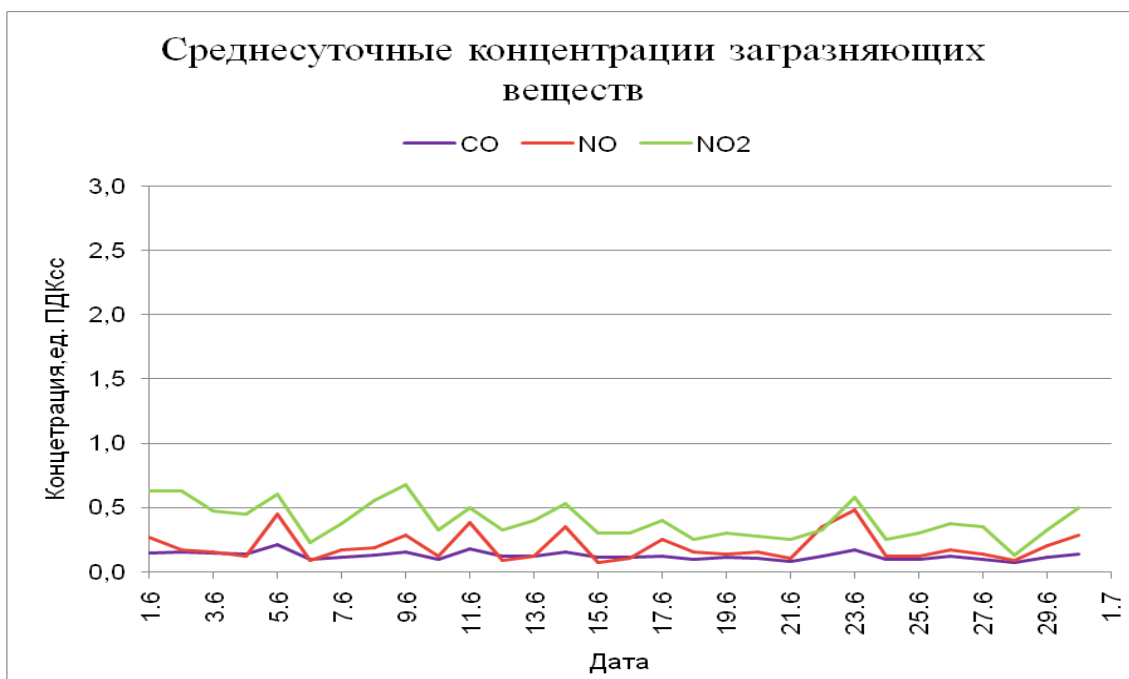


Рисунок 3.7 – График распределения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ в июне

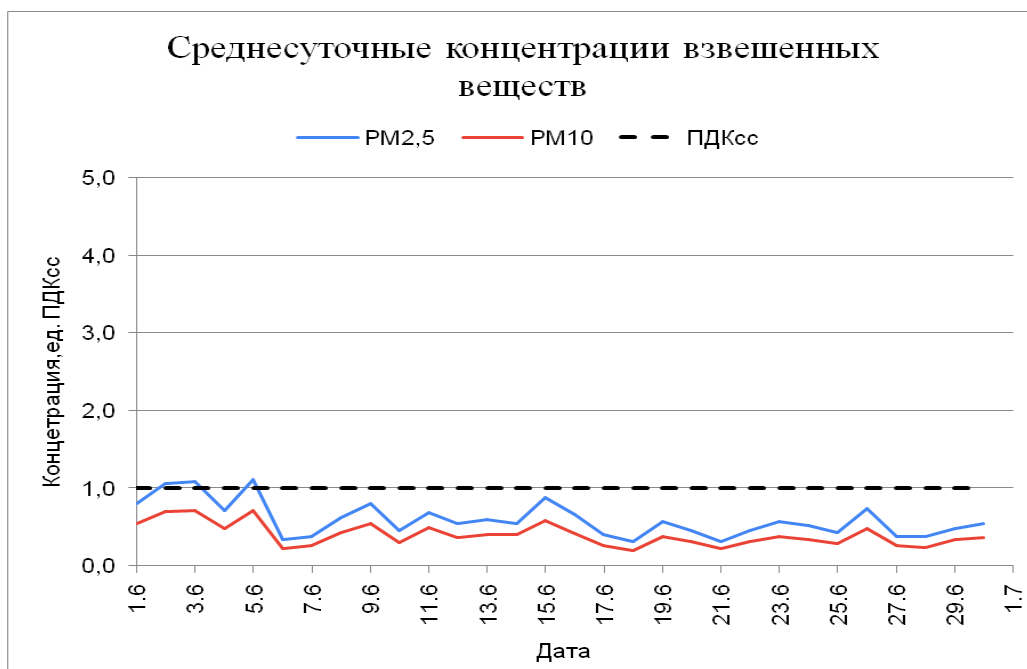


Рисунок 3.8 – График распределения среднесуточных концентраций взвешенных веществ в июне

Анализ распределения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ в  
июне

● СО: максимум (0,208 ед. ПДК<sub>сс</sub>) пришелся на 5 июня, а минимум (0,073 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – на 28 июня. Средний показатель СО составил 0,123 ед. ПДК<sub>сс</sub>.

● NO: максимум отмечался 23 июня и составил 0,483 ед. ПДК<sub>сс</sub>, а минимум – 15 июня (0,067 ед. ПДК<sub>сс</sub>). Средний показатель NO составил 0,193 ед. ПДК<sub>сс</sub>.

● NO<sub>2</sub>: максимальная концентрация (0,675 ед. ПДК<sub>сс</sub>) наблюдалась 9 июня, а минимальная (0,125 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – 28 июня. Средний показатель NO<sub>2</sub> составил 0,396 ед. ПДК<sub>сс</sub>.

В течение июня превышений ПДК<sub>сс</sub> СО, NO и NO<sub>2</sub> зафиксировано не было.

● PM<sub>2,5</sub>: максимум (1,114 ед. ПДК<sub>сс</sub>) отмечался 5 июня, минимум (0,314 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – 21 июня. Средний показатель PM<sub>2,5</sub> составил 0,594 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышения ПДК<sub>сс</sub> PM<sub>2,5</sub>: 2,3 и 5 июня до 1,057 ед. ПДК<sub>сс</sub>, 1,086 ед. ПДК<sub>сс</sub> и 1,114 ед. ПДК<sub>сс</sub> соответственно.

● PM<sub>10</sub>: максимум (0,717 ед. ПДК<sub>сс</sub>) пришелся на 3 и 5 июня, минимум (0,200 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – на 18 июня. Средний показатель: 0,399 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышение ПДК<sub>сс</sub> не отмечалось.

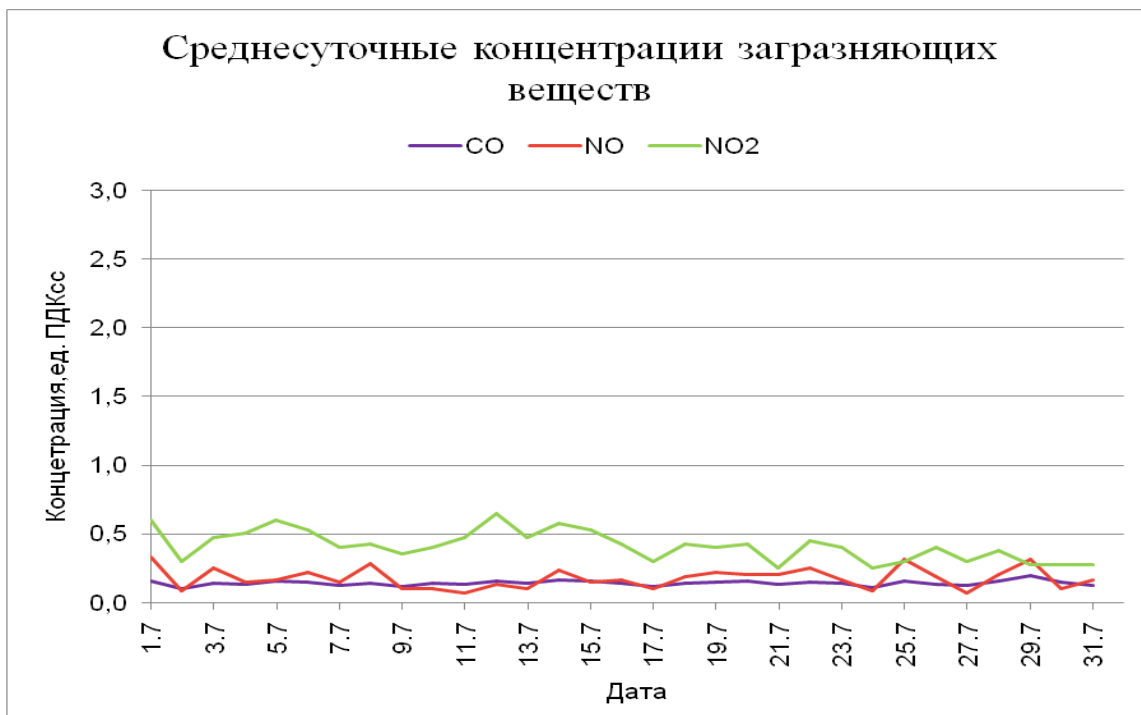


Рисунок 3.9 – График распределения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ в июле

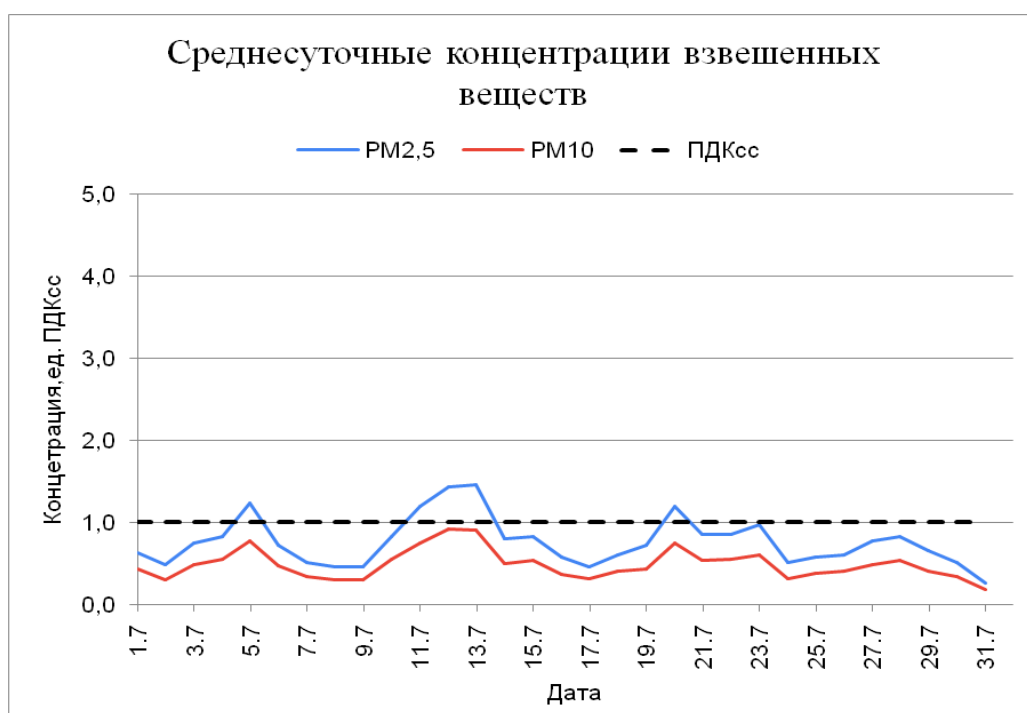


Рисунок 3.10 – График распределения среднесуточных концентраций взвешенных веществ в июле

Анализ распределения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ в  
июле

● СО: максимум (0,193 ед. ПДК<sub>сс</sub>) пришелся на 29 июля, а минимум (0,103 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – на 2 июля. Средний показатель концентрации СО: 0,140 ед. ПДК<sub>сс</sub>.

● NO: максимум отмечался 1 июля и составил 0,333 ед. ПДК<sub>сс</sub>, а минимум – 11 и 27 июля (0,067 ед. ПДК<sub>сс</sub>). Средний показатель NO составил 0,175 ед. ПДК<sub>сс</sub>.

● NO<sub>2</sub>: максимум концентрации (0,650 ед. ПДК<sub>сс</sub>) наблюдался 12 июля, а минимум (0,250 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – 21 и 24 июля. Средний показатель NO<sub>2</sub> составил 0,413 ед. ПДК<sub>сс</sub>.

В июле превышений ПДК<sub>сс</sub> СО, NO и NO<sub>2</sub> не отмечалось.

● PM<sub>2,5</sub>: максимум (1,457 ед. ПДК<sub>сс</sub>) отмечался 13 июля, а минимум (0,257 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – 31 июля. Средний показатель концентрации: 0,759 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышения ПДК<sub>сс</sub> PM<sub>2,5</sub>: 5, 12, 13 и 20 июля до 1,229 ед. ПДК<sub>сс</sub>, 1,429 ед. ПДК<sub>сс</sub>, 1,457 ед. ПДК<sub>сс</sub> и 1,200 ед. ПДК<sub>сс</sub> соответственно.

● PM<sub>10</sub>: максимальная концентрация (0,917 ед. ПДК<sub>сс</sub>) пришлась на 12 июля, минимальная (0,183 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – на 31 июля. Средний показатель PM<sub>10</sub> составил: 0,486 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышение ПДК<sub>сс</sub> не отмечалось.



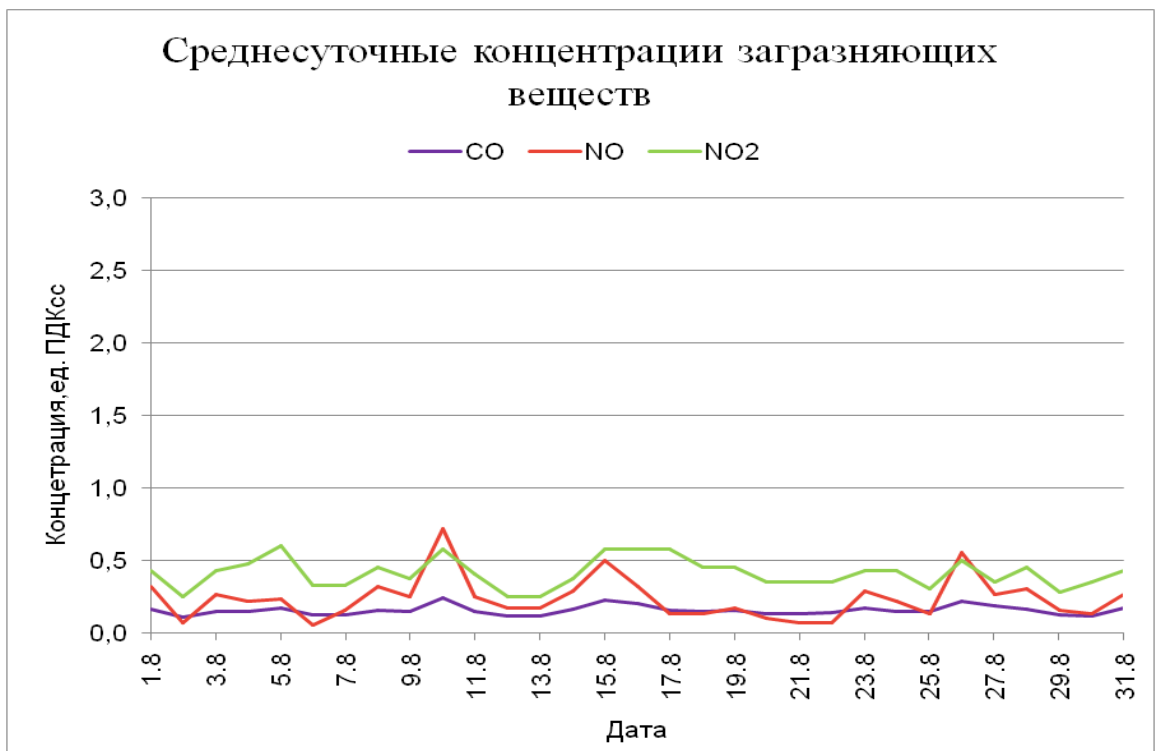


Рисунок 3.11 – График распределения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ в августе

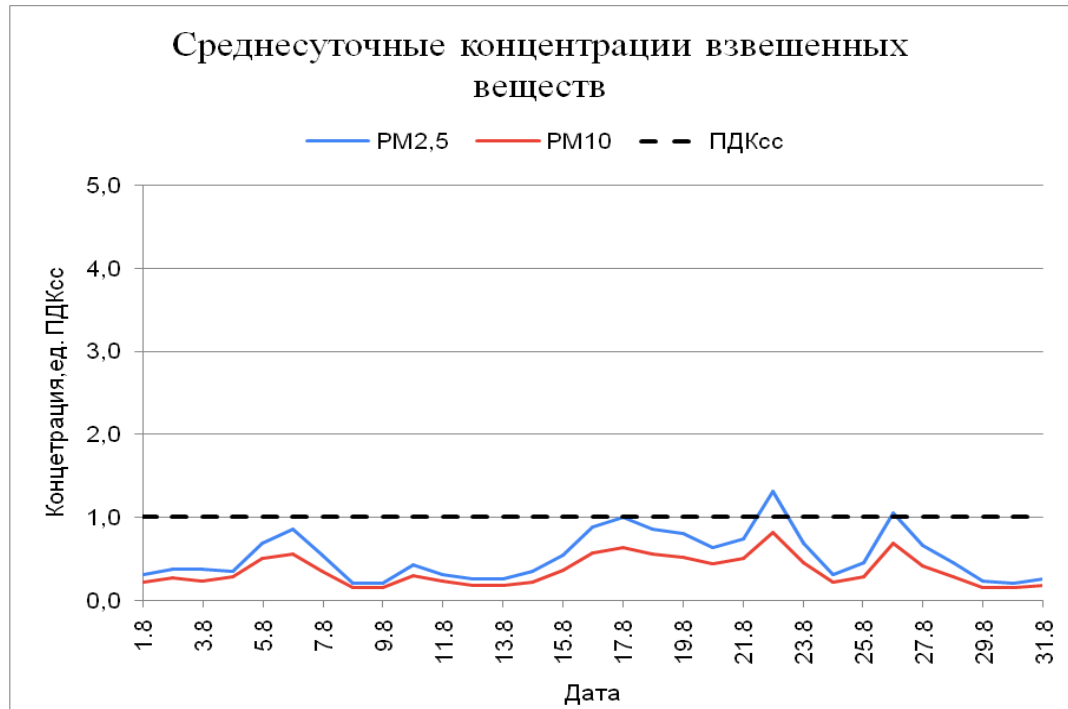


Рисунок 3.12 – График распределения среднесуточных концентраций взвешенных веществ в августе

## Анализ распределения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ в августе

- СО: максимум (0,242 ед. ПДК<sub>сс</sub>) пришелся на 10 августа, а минимум (0,106 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – на 2 августа. Средний показатель СО составил 0,153 ед. ПДК<sub>сс</sub>.

- NO: максимум отмечался 10 августа и составил 0,717 ед. ПДК<sub>сс</sub>, а минимум – 6 августа со значением 0,050 ед. ПДК<sub>сс</sub>. В среднем концентрация составила 0,233 ед. ПДК<sub>сс</sub>.

- NO<sub>2</sub>: максимум концентрации (0,600 ед. ПДК<sub>сс</sub>) наблюдался 5 августа, а минимум (0,250 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – 2,12 и 13 августа. Средний показатель NO<sub>2</sub> составил 409 ед. ПДК<sub>сс</sub>.

В августе превышений ПДК<sub>сс</sub> СО, NO и NO<sub>2</sub> замечено не было.

- PM<sub>2,5</sub>: максимум (1,314 ед. ПДК<sub>сс</sub>) отмечался 22 августа, а минимум (0,200 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – 8,9 и 30 августа. В Средний показатель составил 0,535 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышения ПДК<sub>сс</sub> PM<sub>2,5</sub>: 22 и 26 августа до 1,314 ед. ПДК<sub>сс</sub> и 1,057 ед. ПДК<sub>сс</sub> соответственно.

- PM<sub>10</sub>: максимум (0,817 ед. ПДК<sub>сс</sub>) пришелся на 22 августа, минимум (0,150 ед. ПДК<sub>сс</sub>) – на 8, 29 и 30 августа. Средний показатель PM<sub>10</sub>: 0,355 ед. ПДК<sub>сс</sub>. Превышение ПДК<sub>сс</sub> не отмечалось.

В таблице 3.2 отражены дни, в которые вредные примеси превышали ПДК<sub>сс</sub>.

Таблица 3.2 – Превышения ПДК<sub>сс</sub> загрязняющих веществ в летний период

Месяц	Летний период				
	СО	NO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>
ИЮНЬ	-	-	-	2 июн, 3 июн, 5 июн	-
ИЮЛЬ	-	-	-	5 июл, 12 июл, 13 июл, 20 июл	-
АВГУСТ	-	-	-	22 авг, 26 авг	-

По результатам таблицы 3.2 можно сделать вывод, что в рассматриваемый летний период предельно допустимую среднесуточную концентрацию превысили лишь взвешенные вещества –  $PM_{2,5}$ .

Анализируя рисунки 3.1 - 3.12, можно отметить, что в зимний период максимальные и средние концентрации загрязняющих веществ имеют большие значения по сравнению с летним периодом.

Также согласно таблицам 3.1 и 3.2 в зимний период большее количество загрязняющих веществ превысило ПДК<sub>сс</sub> в течение сезона по сравнению с летним периодом.

Таким образом, зимний период по сравнению с летним является наиболее загрязненным. Это можно объяснить, например, сжиганием большого объема топлива и расхода огромного количества электроэнергии для обогрева помещений зимой. Однако основное влияние на значения концентраций загрязняющих веществ оказывают метеорологические параметры, речь о которых пойдет в главе 3.2.

### 3.2 Оценка влияния метеорологических параметров на концентрации загрязняющих веществ

Зимний период в Архангельске довольно продолжительный и характеризуется устойчивыми морозами: среднемесячная температура воздуха в январе составляет – 12,8 °С. При вторжении холодных воздушных масс со стороны Сибири возможны морозы с температурой ниже -30 °С. Ветровой режим формируется, как правило, под влиянием исландского минимума. Зимой преобладают юго-восточные, южные и юго-западные ветры. Среднее количество осадков, выпадающих за зимний период, составляет 39 мм. Наименьшее количество приходится на февраль (32 мм).

Лето непродолжительное и прохладное: среднемесячная температура в июле колеблется около 16 °С. Температура воздуха может подниматься до 35°С

при вторжение воздушных масс со стороны казахстанских степей. Летом преобладают ветры северного и северо-западного направлений. Летний период отличается обилием осадков. В среднем, за лето в Архангельске выпадает 53 мм осадков, а наибольшее количество приходится на август и в среднем составляет 84 мм.

При использовании архива метеорологических данных на сайте [gr5.ru](http://gr5.ru) [26], а также информации с портала ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» были составлены обзоры гидрометеорологических условий за каждый месяц летнего и зимнего сезонов [27].

#### Обзор гидрометеорологических условий в декабре 2021 года

Погода в декабре имела морозный характер. Среднемесячная температура воздуха составила - 13,1°C, что ниже климатической нормы (-8.2°C) на 4,9 °C. Минимум температуры воздуха (-31 °C) был зафиксирован 27 декабря в 05:00, а максимум (-1,0°C) – 15 декабря в 02:00. Наименьшая среднесуточная температура (-30,5°C) также пришлась на 27 декабря, а наибольшая (-1,9°C) – на 15 декабря. В течение месяца выпало 48 мм осадков, что составляет 101 % от нормы. Относительная влажность варьировалась от 74% до 95%. Самый сухой день пришелся на 27 декабря (74%).

#### Обзор гидрометеорологических условий в январе 2022 года

В январе наблюдалась преимущественно теплая, снежная погода с небольшими по продолжительности морозами. Среднемесячная температура воздуха: -9,6°C, что выше климатической нормы (-11,6 °C) на 2,0°C. Минимум температуры воздуха (-30°C) наблюдался 4 января в 20:00, а максимум (0°C) - 20 января в 17:00. Наименьшая среднесуточная температура (-23,6°C) отмечалась также 4 января, а наибольшая (-1,0°C) - 21 января. Относительная влажность варьировалась от 81% до 93%. Самый сухой день пришелся на 4 и 5

января, а самый влажный – на 20 января. В течение месяца выпало около 61 мм осадков, что составляет 147 % от климатической нормы (42 мм).

#### Обзор гидрометеорологических условий в феврале 2022 года

Последний зимний месяц отмечался теплой погодой с частыми осадками в виде снега и мокрого снега. Среднемесячная температура воздуха составила  $-6,5^{\circ}\text{C}$ , что выше климатической нормы ( $-10,7^{\circ}\text{C}$ ) на  $4,2^{\circ}\text{C}$ . Минимум температуры воздуха ( $-19^{\circ}\text{C}$ ) наблюдался 5 февраля в 05:00, а максимум ( $+2^{\circ}\text{C}$ ) – 18 февраля в 14:00. Наименьшая среднесуточная температура ( $-18,4^{\circ}\text{C}$ ) отмечалась также 5 февраля, а наибольшая ( $+0,6^{\circ}\text{C}$ ) – 25 февраля. Относительная влажность колебалась от 74 до 95 %. Наименьшая влажность (74 %) пришлась на 19 февраля, а наибольшая (95%) - на 17 февраля. За весь февраль выпало 37 мм осадков, что составляет 117% от климатической нормы (32 мм).

#### Обзор гидрометеорологических условий в июне 2022 года

Погода в июне имела преимущественно теплый характер. Среднемесячная температура воздуха составила  $14,6^{\circ}\text{C}$ , что выше климатической нормы ( $13,1^{\circ}\text{C}$ ) на  $1,5^{\circ}\text{C}$ . Минимум температуры воздуха ( $4^{\circ}\text{C}$ ) наблюдался 11 июня в 02:00, а максимум ( $26^{\circ}\text{C}$ ) – 26 июня в 17:00. Наименьшая среднесуточная температура ( $10,0^{\circ}\text{C}$ ) отмечалась 7,18 и 21 июня, а наибольшая ( $20,5^{\circ}\text{C}$ ) – 3 июня. Относительная влажность варьировалась от 55% до 89 %. Самый сухой день пришелся на 12 июня, а самый влажный – на 18 июня. В течение июня выпало 50 мм осадков, что составляет 77% от климатической нормы (65 мм). Ливневые дожди с грозами наблюдались преимущественно в первую и вторую декады месяца.

#### Обзор гидрометеорологических условий в июле 2022 года

В июле наблюдалась преимущественно жаркая погода с непродолжительными осадками и грозами. Среднемесячная температура

воздуха: 19,3°C, что выше климатической нормы (16,5 °C) на 2,8°C. Минимум температуры воздуха (11°C) наблюдался 1 июля в 02:00, а максимум (30°C) – 12 июля в 14:00. Минимум среднесуточной температуры (15,3°C) отмечался 2 июля, а максимум (24,8°C) – 12 июля. Относительная влажность варьировалась от 60 до 97%. Самый сухой день пришелся на 9 июля, а самый влажный – на 29 июля. В течение июля выпало около 120 мм осадков, что составляет 161 % от климатической нормы (75 мм). В первую декаду наблюдалась преимущественно сухая погода, во вторую и третью декады отмечались кратковременные дожди с грозами.

#### Обзор гидрометеорологических условий в августе 2022 года

Последний месяц лета отмечался теплой и сухой погодой. Среднемесячная температура воздуха: 17,4°C, что превышает климатическую норму (13,6 °C) на 3,8°C. Минимум температуры воздуха (5°C) наблюдался 31 августа в 05:00, а максимум (29°C) – 6 августа в 14:00. Минимум среднесуточной температуры (8,7°C) отмечался также 31 августа, а максимум (23,9°C) – 6 августа. Относительная влажность принимала значения от 65 до 91%. Самым сухим днем стало 21 августа, а самым влажным – 27 августа. В течение месяца выпало 37 мм осадков, что составляет лишь 45 % от климатической нормы (82 мм).

#### *Анализ влияния метеорологических параметров на концентрации загрязняющих веществ в зимний период*

На повышение концентраций загрязняющих атмосферу веществ в зимний период наибольшее влияние оказали температура воздуха и скорость ветра. Минимум температуры воздуха в первом зимнем месяце пришелся на 27 декабря, во втором – на 4 января. И именно эти дни являются наиболее загрязненными в зимний период. Помимо довольно низкой температуры воздуха значительному увеличению вредных веществ в атмосфере

поспособствовали слабые скорости ветра, а именно – штиль, наблюдавшийся в дни повышенных значений концентраций загрязняющих веществ - 4 января и 4 февраля. Как известно, штиль в сочетании с приземной температурной инверсией ведет к большому скоплению загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы. Про влияние температурных инверсий на качество атмосферного воздуха в зимний период в Архангельске речь пойдет позже.

#### *Анализ влияния метеорологических параметров на концентрации загрязняющих веществ в летний период*

Концентрации загрязняющих окружающую среду веществ в рассматриваемый летний период 2022 года в Архангельске определялись в основном температурой воздуха и относительной влажностью. Необходимость отопления помещений летом при высоких температурах воздуха отпадает, следовательно, происходит снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Превышение ПДК<sub>сс</sub> взвешенными веществами в июне, июле и августе можно объяснить невысокими значениями относительной влажности воздуха. Как известно, увеличение влажности ведет к снижению загрязнения атмосферы твердыми взвешенными веществами. То есть размер твердых частиц возрастает при увеличении влажности. В результате твердые частицы становятся слишком тяжелыми, чтобы оставаться в воздухе, и начинают опускаться вниз, то есть происходит сухое осаждение. В рассматриваемые нами сезоны наименьшее среднее значение относительной влажности (74 %) пришлось именно на летний период, что в 1,2 раза меньше относительной влажности воздуха в зимний период (87 %).

#### *Корреляционный анализ концентраций загрязняющих веществ и метеорологических параметров*

Для выявления взаимосвязи между концентрациями загрязняющих веществ и метеорологических параметров по данным из таблиц,

представленных в Приложении 1 и 2, были построены корреляционные матрицы. Значения коэффициентов корреляции между основными загрязняющими веществами (CO, NO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> и O<sub>3</sub>) и метеопараметрами (температура воздуха, относительная влажность, скорость и направление ветра) за зимний период представлены в таблицах 3.3-3.5, а за летний – в таблицах 3.7-3.9. Значимые коэффициенты корреляции выделены красным цветом.

### Корреляционный анализ в зимний период

Таблица 3.3 – Коэффициенты корреляции между загрязняющими веществами и метеопараметрами в декабре

Декабрь						
Загрязняющие вещества \ Метеопараметры	CO	NO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>
Температура воздуха,	-0,59	-0,24	-0,42	-0,49	-0,48	-0,15
Относительная влажность, %	-0,54	-0,15	-0,36	-0,48	-0,48	-0,34
Скорость ветра, м/с	-0,39	-0,46	-0,54	-0,10	-0,11	0,35
Направление ветра, °	0,03	0,38	0,09	0,13	0,12	-0,40

Таблица 3.4 – Коэффициенты корреляции между загрязняющими веществами и метеопараметрами в январе

Январь						
Загрязняющие вещества \ Метеопараметры	CO	NO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>
Температура воздуха,	-0,61	-0,53	-0,33	-0,49	-0,52	0,31
Относительная влажность, %	-0,44	-0,38	-0,05	-0,37	-0,39	0,08
Скорость ветра, м/с	-0,63	-0,57	-0,63	-0,54	-0,55	0,56
Направление ветра, °	-0,08	-0,0001	-0,26	0,08	0,07	0,32

Таблица 3.5 – Коэффициенты корреляции между загрязняющими веществами и метеопараметрами в феврале

Февраль						
Загрязняющие вещества \ Метеопараметры	CO	NO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>
Температура воздуха,	-0,53	-0,25	-0,20	-0,20	-0,58	0,50
Относительная влажность, %	0,07	0,03	0,13	0,21	0,27	-0,23
Скорость ветра, м/с	-0,74	-0,69	-0,75	-0,28	-0,67	0,74
Направление ветра, °	-0,20	0,09	0,10	0,09	-0,50	0,29



Анализируя таблицы 3.3-3.5, можно отметить, что в декабре значимых коэффициентов корреляции - 75 %, в январе – 58 %, а в феврале – 38 %. Это говорит о том, в декабре метеорологические параметры оказали влияние на большее количество загрязняющих веществ по сравнению с январем и февралем.

В декабре и январе между загрязняющими веществами и метеорологическими параметрами преимущественно обратная связь от слабой до средней, а в феврале – от слабой до высокой. Обратная связь, то есть отрицательные коэффициенты корреляции свидетельствуют о том, что при увеличении значений метеорологических параметров концентрации загрязняющих веществ уменьшаются. И наоборот. Положительная связь наблюдается в декабре между  $O_3$  и скоростью ветра, а также между  $NO$  и направлением ветра, в январе – между  $O_3$  и скоростью ветра, в феврале – между  $O_3$  и температурой и между  $O_3$  и скоростью ветра.

Наибольшие значимые положительные и отрицательные, а также наименьшие по модулю коэффициенты корреляции в зимний период представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Наибольшие и наименьшие значимые коэффициенты корреляции в зимний период

Декабрь		Январь		Февраль	
Значимые пары	Коэффициент корреляции	Значимые пары	Коэффициент корреляции	Значимые пары	Коэффициент корреляции
$NO-WD$	0,38	$O_3-WS$	0,56	$O_3-WS$	0,74
$CO-T$	(-0,59)	$NO_2-WS$ $CO-WS$	(-0,63)	$NO_2-WS$	(-0,75)
$O_3-RH$	0,34	$PM_{2,5}-RH$	0,37	$O_3-T$	0,497

В декабре наибольший отрицательный коэффициент (-0,59) наблюдался между  $CO$  и температурой воздуха, наибольший положительный (0,38) – между  $NO$  и направлением ветра, а наименее слабая статистическая связь (0,34) отмечалась между  $O_3$  и относительной влажностью.

В январе наибольшая обратная связь (-0,63) отмечалась между  $\text{NO}_2$  и скоростью ветра, а также между  $\text{CO}$  и скоростью ветра, наибольшая прямая связь (0,56) – между  $\text{O}_3$  и скоростью ветра. Наименее слабая статистическая связь (0,37) была отмечена между  $\text{PM}_{2,5}$  и относительной влажностью.

В феврале наибольший отрицательный коэффициент (-0,75) наблюдался между  $\text{NO}_2$  и скоростью ветра, наибольший положительный (0,74) – между  $\text{O}_3$  и скоростью ветра, а наименее слабая статистическая связь (0,497) отмечалась между  $\text{O}_3$  и температурой воздуха.

Таким образом, в зимний период наиболее взаимосвязанными оказались диоксид азота и скорость ветра. И эта наибольшая обратная статистическая связь пришлось на февраль и представлена на рисунке 3.13.

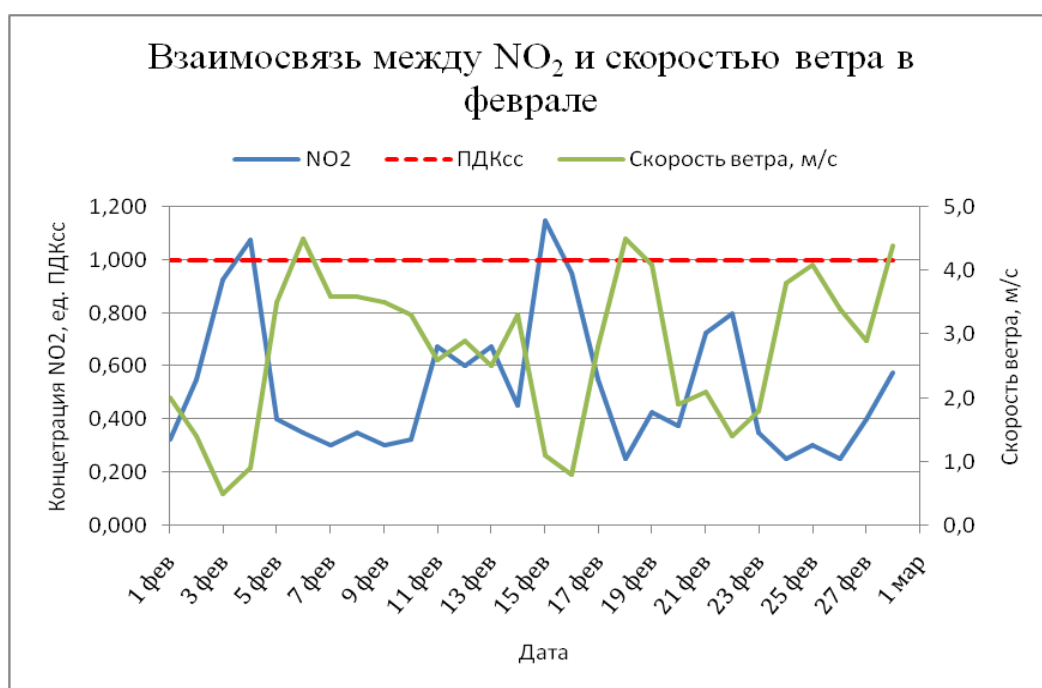


Рисунок 3.13 – График распределения концентрации  $\text{NO}_2$  и скорости ветра в феврале

На рисунке 3.13 видно, что концентрации  $\text{NO}_2$  обратно пропорциональны скорости ветра, то есть между этими параметрами наблюдается обратная статистическая связь.

### Корреляционный анализ в летний период

Значения коэффициентов корреляции между загрязняющими веществами метеорологическими параметрами за летний период представлены в таблицах 3.7-3.9, приведенных ниже.

Таблица 3.7 – Коэффициенты корреляции между загрязняющими веществами и метеопараметрами в июне

Июнь					
Загрязняющие вещества Метеопараметры ..	CO	NO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>
Температура воздуха,	0,33	-0,05	<b>0,41</b>	<b>0,66</b>	<b>0,65</b>
Относительная влажность, %	-0,19	-0,02	-0,32	-0,26	-0,30
Скорость ветра, м/с	<b>-0,59</b>	<b>-0,71</b>	<b>-0,55</b>	-0,24	-0,28
Направление ветра, °	0,12	0,13	0,03	-0,14	-0,13

Таблица 3.8 – Коэффициенты корреляции между загрязняющими веществами и метеопараметрами в июле

Июль					
Загрязняющие вещества Метеопараметры ..	CO	NO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>
Температура воздуха,	0,15	-0,31	<b>0,55</b>	<b>0,83</b>	<b>0,84</b>
Относительная влажность, %	<b>0,38</b>	0,16	<b>-0,39</b>	-0,05	-0,11
Скорость ветра, м/с	-0,004	-0,19	-0,22	0,19	0,16
Направление ветра, °	-0,10	-0,11	0,24	-0,07	-0,05

Таблица 3.9 – Коэффициенты корреляции между загрязняющими веществами и метеопараметрами в августе

Август					
Загрязняющие вещества Метеопараметры ..	CO	NO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>
Температура воздуха,	-0,17	<b>-0,38</b>	0,19	<b>0,58</b>	<b>0,60</b>
Относительная влажность, %	0,25	0,32	-0,03	-0,28	-0,32
Скорость ветра, м/с	<b>-0,73</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,63</b>	-0,16	-0,16
Направление ветра, °	-0,31	-0,16	-0,18	-0,28	-0,27

Анализируя таблицы 3.7-3.9, можно отметить, что в июне и августе значимые коэффициенты корреляции составляли одинаковое количество – 30%, а в июне на один коэффициент меньше - 25 %.

Во все рассматриваемы месяца летнего периода статистическая связь принимала значения от слабых до высоких.

В течение всего летнего периода между взвешенными веществами и температурой воздуха наблюдались положительные коэффициенты корреляции. Причем наибольшие значения пришлось на июль. Прямая статистическая связь отмечалась также между диоксидов азота и температурой воздуха в июне и июле и между CO и относительной влажностью в июле. В июне и августе коэффициенты корреляции между CO, NO, NO<sub>2</sub> и скоростью ветра принимали отрицательные значения. Помимо этого, обратная связь наблюдалась в июле между NO<sub>2</sub> и относительной влажностью, в августе – между NO и температурой воздуха.

Наибольшие значимые положительные и отрицательные, а также наименьшие по модулю коэффициенты корреляции в летний период представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Наибольшие и наименьшие значимые коэффициенты корреляции в летний период

Июнь		Июль		Август	
Значимые пары	Коэффициент корреляции	Значимые пары	Коэффициент корреляции	Значимые пары	Коэффициент корреляции
PM <sub>2,5</sub> -T	0,66	PM <sub>10</sub> -T	0,84	PM <sub>10</sub> -T	0,60
NO-WS	(-0,71)	NO <sub>2</sub> -RH	(-0,39)	CO-WS	(-0,73)
NO <sub>2</sub> -T	0,41	CO-RH	0,38	NO-T	0,38

В июне наибольший отрицательный коэффициент (-0,71) наблюдался между NO и скоростью ветра, наибольший положительный (0,66) – PM<sub>2,5</sub> и температурой воздуха, а наименее слабая статистическая связь (0,41) отмечалась между NO<sub>2</sub> и температурой.

В июле наибольшая обратная связь (-0,39) отмечалась между  $\text{NO}_2$  и относительной влажностью, наибольшая прямая связь (0,84) – между  $\text{PM}_{10}$  и температурой воздуха. Наименее слабая статистическая связь (0,38) была отмечена между  $\text{CO}$  и относительной влажностью.

В августе наибольший отрицательный коэффициент (-0,73) наблюдался между  $\text{CO}$  и скоростью ветра, наибольший положительный (0,60) – между  $\text{PM}_{10}$  и температурой воздуха, а наименее слабая статистическая связь (0,38) отмечалась между  $\text{NO}$  и температурой воздуха.

Таким образом, в летний период наиболее взаимосвязанными оказались взвешенные вещества и температура воздуха. Причем эта наибольшая статистическая связь оказалась прямой, пришлось на июль и представлена на рисунке 3.14.



Рисунок 3.14 – График распределения концентрации  $\text{PM}_{10}$  и температуры воздуха в июле

Глядя на рисунок 3.14, можно заметить, что концентрации взвешенных веществ действительно прямопропорциональны температуре воздуха, то есть между этими параметрами наблюдается прямая статистическая связь.

Подводя итоги корреляционного анализа между загрязняющими веществами и метеорологическими параметрами в зимний и летний периоды, можно сделать следующие выводы:

1) В зимний период количество значимых коэффициентов корреляции больше, то есть зимой метеорологические параметры оказали влияние на большее количество загрязняющих веществ по сравнению с летним периодом.

2) Зимой наблюдаются преимущественно обратные статистические связи, в то время как летом – прямые.

3) В зимние месяцы на уровень загрязнения атмосферы наибольшее влияние оказала скорость ветра, а в летние – температура воздуха.

*Анализ влияния температурных инверсий на концентрации загрязняющих веществ в Архангельске в зимний и летний периоды 2021-2022 годов.*

Для оценки влияния погодных условий, благоприятно влияющих на повышение уровня загрязнения воздуха, по данным радиозондирования атмосферы в Архангельске за 2021-2022 года в дни превышения ПДК<sub>сс</sub> вредными примесями были рассчитаны основные характеристики температурных инверсий за зимний и летний периоды. [28] Полученные показатели таких характеристик инверсии как: высота нижней границы, мощность, интенсивность, температура нижней границы и вертикальный градиент температуры за 00 и 12 часов по Гринвичу представлены в таблицах 3.11-3.13 (зимний период) и 3.14-3.16 (летний период).

Таблица 3.11 – Характеристики температурных инверсий в декабре 2021  
Года

Декабрь. 00ч (04:00)						
Дата	Высота НГ инверсии, м	Мощность инверсии, м	Интенсивность инверсии по модулю, °С	Температура НГ инверсии, °С	Вертикальный градиент температуры, °С/100м	Вид инверсии
6 дек	6	353	10,6	-17,7	-3,00	приземная
10 дек	6	158	4,2	-10,3	-2,66	приземная
22 дек	6	318	9,2	-23,5	-2,89	приземная
27 дек	6	436	12	-31,1	-2,75	приземная
Декабрь. 12ч (16:00)						
Дата	Высота НГ инверсии, м	Мощность инверсии, м	Интенсивность инверсии по модулю, °С	Температура НГ инверсии, °С	Вертикальный градиент температуры, °С/100м	Вид инверсии
10 дек	6	175	1,2	-10,3	-0,69	приземная
27 дек	6	494	13,8	-29,9	-2,79	приземная

При анализе таблицы 3.11 и графиков распределения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ в декабре (рисунок 3.1, 3.2) можно отметить следующее:

1) В каждый из дней, когда отмечались превышения загрязняющими веществами ПДК<sub>сс</sub>, наблюдались приземные температурные инверсии.

2) Концентрации вредных веществ находятся в прямой зависимости между мощностью и интенсивностью температурных инверсий. Так, максимум концентрации загрязняющих веществ (2,971 ед. ПДК<sub>сс</sub>) в декабре пришелся на 27 число. В этот же день мощность и интенсивность инверсии принимали максимальные значения в 00 часов (436 м и 12 °С) и 12 часов по Гринвичу (494 м и 13,8 °С). Наименьшему превышению NO ПДК<sub>сс</sub> 10 декабря (1,017 ед. ПДК<sub>сс</sub>) соответствует минимальная мощность и интенсивность температурной инверсии, которая была зафиксирована тоже 10 числа.

3) Повышенной концентрации NO<sub>2</sub> (1,100 ед. ПДК<sub>сс</sub>) 22 декабря способствовал «застой воздуха» - сочетание приземной температурной инверсии со слабым ветром (0,5 м/с).

Таблица 3.12 – Характеристики температурных инверсий в январе 2022 года

Январь. 00ч (04:00)						
Дата	Высота НГ инверсии, м	Мощность инверсии, м	Интенсивность инверсии по модулю, °С	Температура НГ инверсии, °С	Вертикальный градиент температуры, °С/100м	Вид инверсии
4 янв	6	342	9,4	-23,7	-2,75	приземная
31 янв	854	182	4	-13,1	-2,20	приподнятая
Январь. 12ч (16:00)						
Дата	Высота НГ инверсии, м	Мощность инверсии, м	Интенсивность инверсии по модулю, °С	Температура НГ инверсии, °С	Вертикальный градиент температуры, °С/100м	Вид инверсии
4 янв	6	316	8,6	-24,3	-2,72	приземная
22 янв	534	216	1,4	-8,7	-0,65	приподнятая
31 янв	366	331	3,2	-9,7	-0,97	приподнятая

Превышения NO и взвешенными веществами ПДК<sub>сс</sub>, наблюдавшиеся 4, 22 и 31 января, можно объяснить наличием в эти дни приземных и приподнятых температурных инверсий. Причем максимальное зафиксированное в январе превышение ПДК<sub>сс</sub> (4,286 ед. ПДК<sub>сс</sub>) пришлось на тот же день, что и наибольшее значение мощности и интенсивности инверсии (342 м и 9,4 °С), то есть на 4 января.

Таким образом, при увеличении мощности и интенсивности температурных инверсий наблюдается рост загрязняющих атмосферу веществ.

Повышенные концентрации оксида азота и взвешенных веществ 4 января наряду с мощной, интенсивной приземной инверсией объясняются наличием слабой скорости ветра (0,3 м/с), которые в совокупности привели к «застою воздуха».



Таблица 3.13 – Характеристики температурных инверсий в феврале 2022  
года

Февраль. 00ч (04:00)						
Дата	Высота НГ инверсии, м	Мощность инверсии, м	Интенсивность инверсии по модулю, °С	Температура НГ инверсии, °С	Вертикальный градиент температуры, °С/100м	Вид инверсии
3 фев	6	35	0	-11,3	0,00	изотермия
4 фев	91	998	0,6	-11,7	-0,06	приподнятая
16 фев	6	461	5,8	-9,1	-1,26	приземная
22 фев	6	334	0,8	-6,7	-0,24	приземная
Февраль. 12ч (16:00)						
Дата	Высота НГ инверсии, м	Мощность инверсии, м	Интенсивность инверсии по модулю, °С	Температура НГ инверсии, °С	Вертикальный градиент температуры, °С/100м	Вид инверсии
3 фев	215	1055	0,6	-11,7	-0,06	приподнятая
4 фев	6	347	2	-13,7	-0,58	приземная
15 фев	6	43	0	-4,5	0,00	изотермия
22 фев	959	213	2,4	-12,5	-1,13	приподнятая

Увеличению концентраций вредных примесей в феврале способствовали не только приземные и приподнятые инверсии, но и изотермии, наблюдавшиеся 3 и 15 февраля. 4 февраля мощные приподнятая и приземная инверсии, которые наблюдались в 00ч и 12ч по Гринвичу соответственно, в совокупности со слабой скоростью ветра (0,9 м/с) привели к превышению CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> ПДК<sub>сс</sub>.

Таблица 3.14 – Характеристики температурных инверсий в июне 2022  
года

Июнь. 00ч (04:00)						
Дата	Высота НГ инверсии, м	Мощность инверсии, м	Интенсивность инверсии по модулю, °С	Температура НГ инверсии, °С	Вертикальный градиент температуры, °С/100м	Вид инверсии
2 июн	6	183	4,6	11,8	-2,51	приземная
3 июн	6	345	2,8	16,2	-0,81	приземная
5 июн	6	135	3	9,2	-2,22	приземная

Таблица 3.15 – Характеристики температурных инверсий в июле 2022  
года

Июль. 00ч (04:00)						
Дата	Высота НГ инверсии, м	Мощность инверсии, м	Интенсивность инверсии по модулю, °С	Температура НГ инверсии, °С	Вертикальный градиент температуры, °С/100м	Вид инверсии
5 июл	6	440	4,6	16,8	-1,05	приземная
13 июл	6	332	3,2	18,8	-0,96	приземная
20 июл	6	400	1	17,6	-0,25	приземная

Таблица 3.16 – Характеристики температурных инверсий в августе 2022  
года

Август . 00ч (04:00)						
Дата	Высота НГ инверсии, м	Мощность инверсии, м	Интенсивность инверсии по модулю, °С	Температура НГ инверсии, °С	Вертикальный градиент температуры, °С/100м	Вид инверсии
22 авг	6	330	4,4	16,2	-1,33	приземная
26 авг	6	333	5	6,8	-1,50	приземная

Повышенные концентрации взвешенных веществ в июне, июле и августе объясняются наличием приземных температурных инверсий, наблюдавшихся в ночное время.

*Оценка влияния температурных инверсий на концентрации загрязняющих веществ в Архангельске в зимне-летний периоды 2021-2022 годов*

На рисунках 3.15 и 3.16 отражен характер распределения средней мощности температурных инверсий в зимний и летний периоды соответственно. О характере распределения средней интенсивности зимой и летом служат рисунки 3.17 и 3.18.

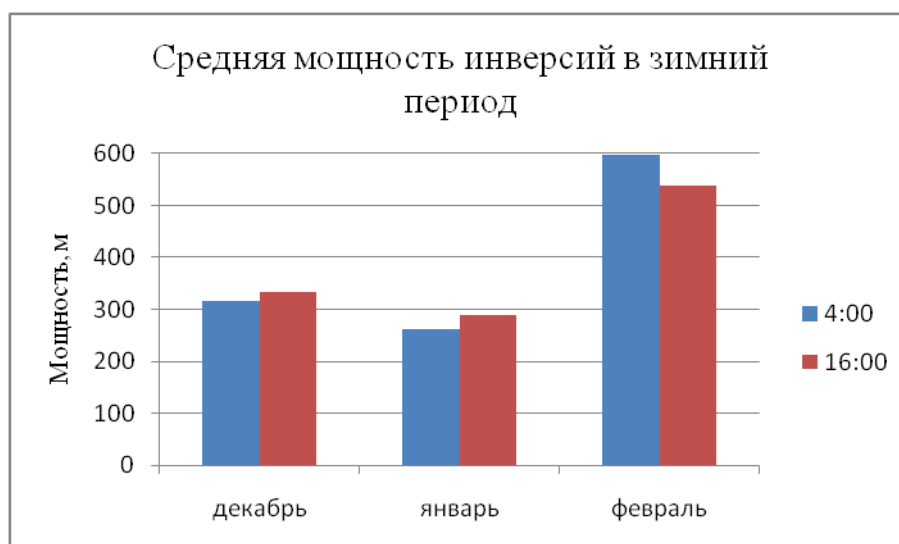


Рисунок 3.15 – График распределения средней мощности инверсий в зимний период

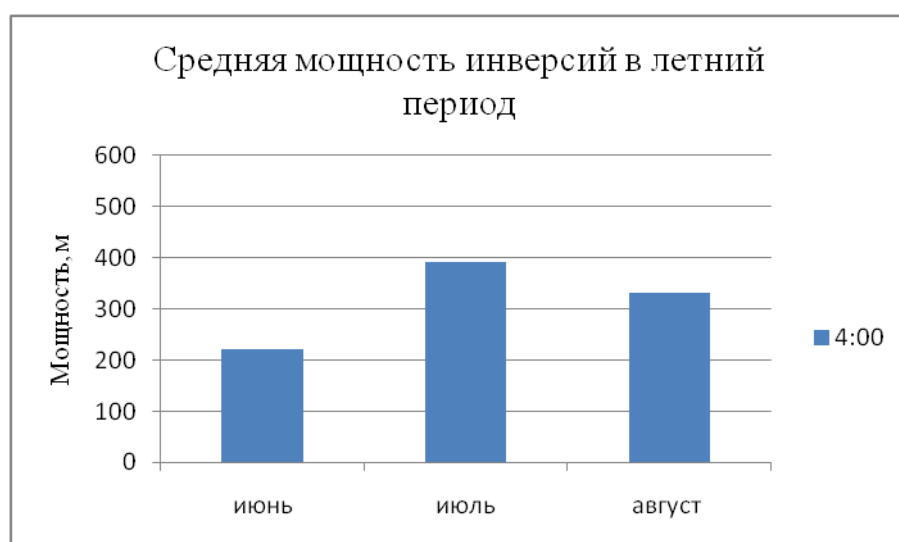


Рисунок 3.16 – График распределения средней мощности инверсий в летний период

Анализируя рисунки 3.15 и 3.16, можно заметить, что в среднем мощность температурных инверсий в зимний период в разы больше, чем в летний. Так, максимум средней мощности зимой пришелся на февраль и составил 597 м, а летом – на июль (391 м), что в 1,5 раз меньше февральского значения.

Наличие больших по мощности приземных инверсий температуры в июле привело к наибольшим средним значениям концентраций всех анализируемых загрязняющих веществ.

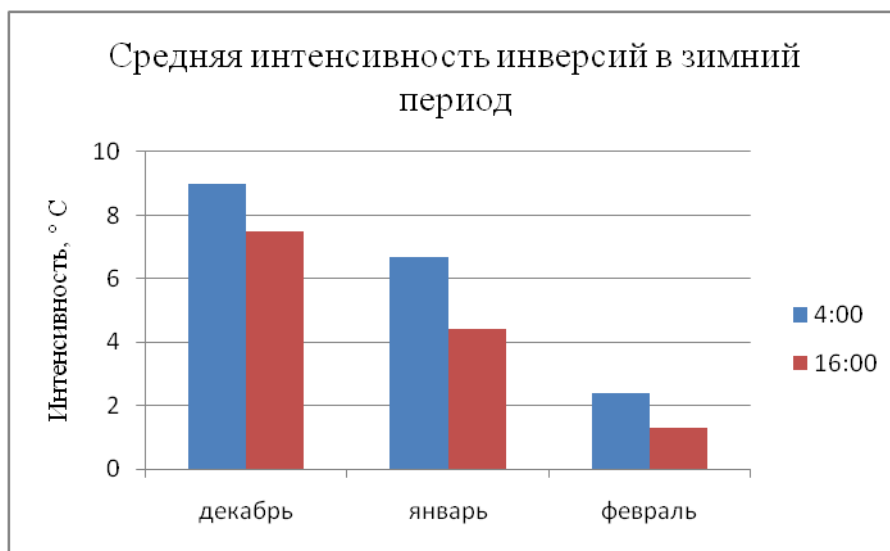


Рисунок 3.17 – График распределения средней интенсивности инверсий в зимний период

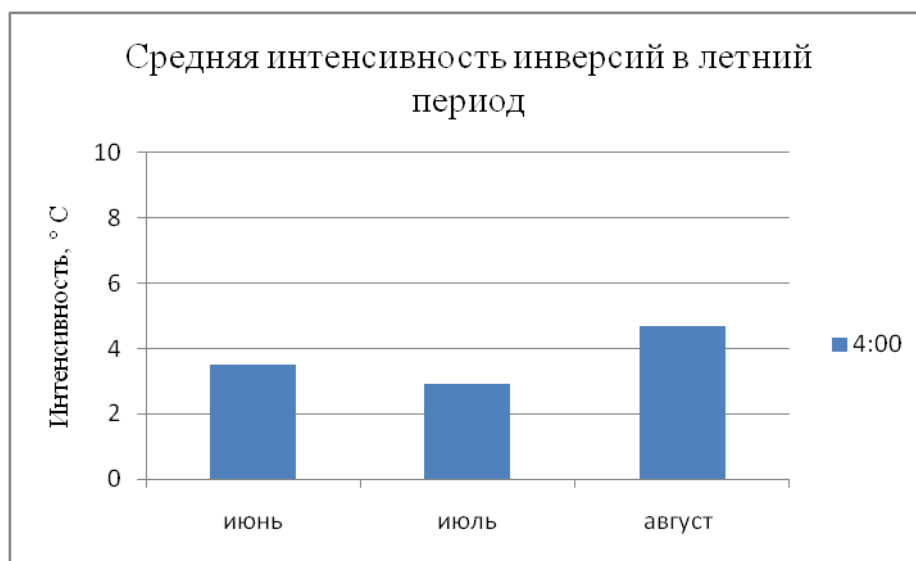


Рисунок 3.18 – График распределения средней интенсивности инверсий в летний период

Средняя интенсивность температурных инверсий в зимний период больше, чем в летний.

Интенсивность инверсий зимой имеет прямую зависимость с концентрациями загрязняющих веществ, рассматриваемых в этот же период.

Так, наибольшие средние концентрации вредных примесей в атмосфере были зафиксированы в декабре, а наименьшие в феврале.

В результате оценки влияния температурных инверсий на концентрации загрязняющих веществ в Архангельске в зимне-летний периоды 2021-2022 годов можно сделать следующие выводы:

1) Наличие приземных и приподнятых температурных инверсий оказало влияние на повышение уровня загрязнения атмосферы как в зимний, так и в летний периоды. В феврале увеличению концентраций вредных веществ также способствовала изотермия, наблюдавшаяся 3 и 15 февраля.

2) Зимой (22 декабря, 4 января и 4 февраля) к ухудшению качества атмосферного воздуха привели мощные приземные инверсии в совокупности со слабым ветром, которые вызвали «застой воздуха».

3) В зимний и летний периоды при увеличении мощности и интенсивности температурных инверсий наблюдается рост загрязняющих атмосферу веществ.

4) Зимний период характеризуется большими значениями концентраций загрязняющих веществ из-за наличия более мощных и интенсивных приземных и приподнятых инверсий температуры по сравнению с летним периодом.

## Заключение

В дипломной работе был произведен анализ особенностей влияния различных метеорологических параметров на уровень загрязнения атмосферного воздуха в городе Архангельск в рассматриваемые зимний и летний периоды 2021-2022 годов.

При использовании данных, полученных с автомобильного стационарного поста наблюдения, были построены таблицы и графики распределения среднесуточных концентраций оксида углерода, оксида азота, диоксида азота, озона и взвешенных веществ за зимний и летний периоды 2021-2022 годов.

По данным радиозондирования атмосферы были рассчитаны основные характеристики температурных инверсий и произведен анализ влияния этих параметров на уровень загрязнения воздуха в Архангельске за рассматриваемые периоды.

В ходе работы путем корреляционного анализа зависимости концентраций загрязняющих веществ от температуры воздуха, относительной влажности, скорости и направления ветра была выполнена оценка влияния метеорологических параметров на качество атмосферного воздуха на качество атмосферного воздуха зимой и летом.

На основании анализа графиков распределения среднесуточных концентраций вредных веществ в Архангельске сделан вывод, что в зимний период максимальные и средние концентрации загрязняющих веществ имеют большие значения по сравнению с летним периодом. То есть зимой уровень загрязнения атмосферы больше, чем летом.

Подтверждению вышесказанных слов служат следующие выводы, сделанные на основании анализа влияния метеорологических параметров на концентрации загрязняющих веществ в летний и зимний периоды 2021 – 2022 годов:

1) Наличие приземных и приподнятых температурных инверсий оказало влияние на повышение уровня загрязнения атмосферы как в зимний, так и в летний периоды. Зимой: 22 декабря, 4 января и 4 февраля большому скоплению вредных веществ в атмосферном воздухе наряду с мощными приземными инверсиями повлияли и слабые ветры, которые в совокупности вызвали «застой воздуха».

2) Зимний период характеризуется большими значениями концентраций загрязняющих веществ из-за наличия более мощных и интенсивных приземных и приподнятых инверсий температуры по сравнению с летним периодом.

3) Зимой метеорологические параметры оказали влияние на большее количество загрязняющих веществ по сравнению с летним периодом, так как в зимний период количество значимых коэффициентов корреляции больше.

4) В зимний период наиболее взаимосвязанными оказались диоксид азота и скорость ветра ( $r = -0,75$ ), а в летний - взвешенные вещества и температура воздуха ( $r = 0,84$ ). То есть в зимние месяцы на уровень загрязнения атмосферы наибольшее влияние оказала скорость ветра, а в летние – температура воздуха.

5) Помимо температуры воздуха на превышение предельно допустимых среднесуточных концентраций взвешенных веществ в июне, июле и августе оказали влияние невысокие значения относительной влажности воздуха. А в рассматриваемые нами сезоны наименьшее среднее значение относительной влажности (74 %) пришлось именно на летний период, что в 1,2 раза меньше относительной влажности воздуха в зимний период (87 %).

Загрязнение атмосферного воздуха в Архангельске как в летний, так и в зимний периоды во многом определяется особенностями метеорологического режима. Именно поэтому мониторинг неблагоприятных синоптических условий является важной задачей для поддержания чистоты атмосферного воздуха.

## Список использованной литературы

- 1) Комунальная гигиена / Е. И. Гончарук, В. Г. Бардов, С. И. Гаркавий, А. П. Яворовский и др.; под ред. Е. И. Гончарука. — К.: Здоров'я, 2006. — 792 с.
- 2) Физика Земли: учебное пособие / Швец А. И. ; Нац. открытый ин-т, г. Санкт-Петербург. - Санкт-Петербург: Информационно-консалтинговый центр, 2015. — 208 с.
- 3) Гигиена атмосферного воздуха: учебное пособие / Л.П. Игнатьева, М.В. Чирцова, М.О. Потапова; ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава России, Кафедра коммунальной гигиены и гигиены детей и подростков. – Иркутск: ИГМУ, 2015. – 79 с.
- 4) Береснев Сергей Анатольевич. Физика атмосферных аэрозолей: курс лекций: учеб. пособие для вузов / С. А. Береснев, В. И. Грязин. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. — 228 с.
- 5) Кирсанов Ю.Г. Оценка воздействия выбросов вредных веществ на атмосферный воздух [Текст]: учебное пособие: для студентов вуза, обучающихся по направлению подготовки 18.03.02, 18.04.02 "Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии". - Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018. – 107 с.
- 6) Дисперсные системы и загрязнение атмосферы и гидросферы: [монография] / В. П. Тищенко; [науч. ред. Л. П. Майорова]. - Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2017. – 204 с.
- 7) Коломиец Н.Э. Фармацевтическая экология: учебное пособие / Н. Э. Коломиец, Т. В. Полуэктова, Н. Ю. Абрамец. – Томск: Издательство СибГМУ, 2021. – 175 с.
- 8) Гусакова Н.В., Забалуева А.И., Румянцева В.В. Конспект лекций по курсу «Экология». Под редакцией А.Н. Королева. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006. – 176с.



- 9) Пименова Е.В. Нормирование качества окружающей среды и сельскохозяйственной продукции. ФГОУ ВПО Пермская ГСХА.- Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО Пермская ГСХА, 2009. – 74 с.
- 10) Пименова Елена Валентиновна. Гигиеническое и экологическое нормирование качества окружающей среды [Текст]: учебное пособие / Е. В. Пименова, Т. Ю. Насртдинова, С. В. Лихачёв; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова". - Пермь : Прокрость, 2017. – 151 с.
- 11) Л. П. Майорова. Оценка воздействия на среду: практикум для студентов направления 18.03.02- Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018.– 146 с.
- 12) Сонькин Л.Р. Синоптико-статический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. - JL: Гидрометеиздат, 1991 - 223 с.
- 13) Крюкова С.В. Контроль загрязнения природной среды: Анализ данных загрязнения. Лабораторный практикум. - СПб.: РГГМУ.- 2014. – 45 с.
- 14) Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии, Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, 1965. – 876 с.
- 15) Климатология и метеорология: учебное пособие по курсу «Науки о Земле» для студентов, обучающихся по специальности 28020265 «Инженерная защита окружающей среды» / сост. В. А. Михеев.- Ульяновск: УлГТУ, 2009. – 114 с.
- 16) Безуглая Э.Ю., Расторгуева Т.Л., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 251 с.
- 17) Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2011 году / Администрация Санкт-Петербурга. Упр. по охране окружающей среды. - Санкт-Петербург, 2012. – 401 с.
- 18) Климат Архангельской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://trasa.ru/region/arhangelskaya\\_clim.html](http://trasa.ru/region/arhangelskaya_clim.html) (дата обращения: 28.04.2023).

- 19) Физика облаков [Текст] / А. М. Боровиков, И. И. Гайворонский, Е. Г. Зак и др.; Под ред. А. Х. Хргиана. - Ленинград : Гидрометеиздат, 1961. - 459 с.
- 20) Воробьев, В.И. Синоптическая метеорология / В. И. Воробьев. — Л.: Гидрометеиздат, 1994 – 716 с.
- 21) Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды/ Ю. А. Израэль. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
- 22) Веницианов Е.В. и др. Экологический мониторинг: шаг за шагом – М.: РХТУ им. Менделеева. - 2003. – 252 с.
- 23) Экологический мониторинг: учебное пособие/ Р.Н. Апкин, Е.А. Минакова.– 2-е изд., испр. и доп. – Казань: Казан. гос. энерг.ун-т, 2015 – 127 с.
- 24) Герасимов Б.И., Коробейников И.В. и др. Методы и приборы экологического мониторинга – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 1996. – 111 с.
- 25) Попова, Л. Ф. Оценка загрязнения атмосферного воздуха в Архангельске / Л. Ф. Попова, О. Д. Боос. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2020. – 488-490 с.
- 26) Архив погоды в Архангельске [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rp5.ru> (дата обращения:08.05.2023).
- 27) Федеральное государственное учреждение «Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sevmeteo.ru> (дата обращения:08.05.2023).
- 28) Atmospheric Soundings [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (дата обращения:16.05.2023).

Среднесуточные концентрации загрязняющих веществ в Архангельске за  
зимне-летний период 2021-2022 гг.

Таблица 1.1 – Среднесуточные концентрации загрязняющих веществ за  
зимний период (декабрь, январь, февраль)

Дата	СО, ед.ПДКсс	NO, ед.ПДКсс	NO <sub>2</sub> , ед.ПДКсс	PM <sub>2,5</sub> , ед.ПДКсс	PM <sub>10</sub> , ед.ПДКсс	O <sub>3</sub> , ед.ПДКсс
1 дек	0,153	0,367	0,600	0,000	0,000	1,000
2 дек	0,136	0,267	0,725	0,000	0,000	0,733
3 дек	0,227	0,683	1,000	0,000	0,000	0,700
4 дек	0,191	0,183	0,675	0,000	0,000	0,900
5 дек	0,139	0,467	0,775	0,000	0,000	0,900
6 дек	0,246	1,167	1,225	0,000	0,000	0,500
7 дек	0,211	0,817	0,900	0,000	0,000	0,767
8 дек	0,171	0,283	0,750	0,000	0,000	0,800
9 дек	0,236	0,783	1,000	0,000	0,000	0,300
10 дек	0,216	1,017	1,050	0,000	0,000	0,533
11 дек	0,181	0,400	0,775	0,000	0,000	0,733
12 дек	0,162	0,267	0,525	0,000	0,000	0,800
13 дек	0,112	0,317	0,450	0,000	0,000	0,267
14 дек	0,078	0,850	0,625	0,000	0,000	0,200
15 дек	0,001	0,067	0,275	0,257	0,167	0,700
16 дек	0,096	0,383	0,500	0,514	0,317	0,300
17 дек	0,136	0,333	0,475	0,086	0,050	0,200
18 дек	0,249	0,550	0,575	0,000	0,000	0,167
19 дек	0,159	0,217	0,325	0,000	0,000	0,633
20 дек	0,131	0,183	0,600	0,457	0,283	0,900
21 дек	0,156	0,233	0,800	0,743	0,450	0,633
22 дек	0,231	0,883	1,100	0,886	0,533	0,533
23 дек	0,123	0,183	0,550	0,457	0,333	0,833
24 дек	0,147	0,100	0,500	0,543	0,267	0,667
25 дек	0,172	0,083	0,400	1,000	0,583	0,633
26 дек	0,181	0,200	0,525	0,600	0,350	0,667
27 дек	0,388	1,300	1,000	2,971	1,767	0,133
28 дек	0,219	0,867	0,825	0,743	0,433	0,367

Продолжение таблицы 1.1

Дата	СО, ед.ПДКсс	NO, ед.ПДКсс	NO2, ед.ПДКсс	PM2,5, ед.ПДКсс	PM10, ед.ПДКсс	O3, ед.ПДКсс
29 дек	0,178	0,433	0,775	0,657	0,383	0,467
30 дек	0,119	0,183	0,475	0,429	0,267	0,700
31 дек	0,117	0,067	0,325	0,686	0,400	0,633
1 янв	0,148	0,200	0,425	0,714	0,417	0,333
2 янв	0,082	0,000	0,100	0,486	0,283	0,700
3 янв	0,089	0,000	0,250	0,686	0,400	0,667
4 янв	0,523	2,517	0,975	4,286	2,517	0,233
5 янв	0,186	0,133	0,475	0,629	0,533	0,467
6 янв	0,142	0,100	0,425	0,914	0,367	0,600
7 янв	0,170	0,233	0,550	0,686	0,400	0,533
8 янв	0,190	0,983	0,775	0,629	0,383	0,500
9 янв	0,152	0,350	0,600	0,600	0,350	0,767
10 янв	0,110	0,167	0,450	0,543	0,317	0,867
11 янв	0,195	0,583	0,950	0,857	0,500	0,533
12 янв	0,116	0,217	0,450	0,486	0,283	0,933
13 янв	0,109	0,150	0,425	0,400	0,233	0,800
14 янв	0,131	0,400	0,700	0,457	0,267	0,900
15 янв	0,062	0,000	0,175	0,429	0,250	1,100
16 янв	0,084	0,133	0,450	0,457	0,267	0,933
17 янв	0,119	0,333	0,675	0,457	0,283	0,833
18 янв	0,139	0,300	0,750	0,771	0,450	0,600
19 янв	0,088	0,067	0,300	0,371	0,217	0,867
20 янв	0,102	0,150	0,350	0,371	0,233	0,633
21 янв	0,105	0,150	0,450	0,629	0,367	0,467
22 янв	0,153	0,233	0,575	1,029	0,617	0,467
23 янв	0,126	0,083	0,300	0,771	0,450	0,767
24 янв	0,116	0,250	0,400	0,600	0,350	0,633
25 янв	0,127	0,400	0,550	0,486	0,283	0,667
26 янв	0,155	0,400	0,950	0,914	0,533	0,533
27 янв	0,096	0,083	0,375	0,429	0,250	0,900
28 янв	0,171	0,267	0,675	0,943	0,567	0,567
29 янв	0,191	0,317	0,600	0,886	0,517	0,433
30 янв	0,132	0,100	0,350	0,914	0,550	0,633
31 янв	0,158	0,150	0,600	1,400	0,833	0,467

Продолжение таблицы 1.1

Дата	СО, ед.ПДКсс	NO, ед.ПДКсс	NO <sub>2</sub> , ед.ПДКсс	PM <sub>2,5</sub> , ед.ПДКсс	PM <sub>10</sub> , ед.ПДКсс	O <sub>3</sub> , ед.ПДКсс
1 фев	0,140	0,067	0,325	1,029	0,600	0,667
2 фев	0,168	0,233	0,550	0,800	0,467	0,600
3 фев	0,276	0,867	0,925	1,714	1,017	0,233
4 фев	0,277	1,067	1,075	1,657	0,983	0,200
5 фев	0,181	0,167	0,400	1,029	0,600	0,500
6 фев	0,140	0,117	0,350	0,829	0,500	0,467
7 фев	0,122	0,100	0,300	0,714	0,433	0,600
8 фев	0,106	0,067	0,350	0,714	0,433	0,700
9 фев	0,118	0,100	0,300	0,714	0,433	0,567
10 фев	0,099	0,083	0,325	0,571	0,333	0,667
11 фев	0,128	0,167	0,675	0,571	0,350	0,567
12 фев	0,139	0,383	0,600	4,571	0,267	0,700
13 фев	0,139	0,333	0,675	0,657	0,383	0,633
14 фев	0,125	0,183	0,450	0,600	0,350	0,600
15 фев	0,236	1,067	1,150	0,800	0,467	0,367
16 фев	0,189	0,600	0,950	1,229	0,733	0,267
17 фев	0,110	0,133	0,550	0,886	0,517	0,600
18 фев	0,099	0,067	0,250	0,486	0,283	0,767
19 фев	0,105	0,200	0,425	0,429	0,267	0,733
20 фев	0,119	0,133	0,375	0,571	0,333	0,600
21 фев	0,163	0,500	0,725	0,543	0,333	0,500
22 фев	0,199	0,567	0,800	1,200	0,717	0,400
23 фев	0,107	0,083	0,350	0,571	0,350	0,533
24 фев	0,089	0,067	0,250	0,400	0,233	0,700
25 фев	0,094	0,083	0,300	0,486	0,283	0,700
26 фев	0,095	0,117	0,250	0,457	0,283	0,700
27 фев	0,119	0,200	0,400	0,371	0,217	0,700
28 фев	0,137	0,383	0,575	0,343	0,217	0,667

Таблица 1.2 – Среднесуточные концентрации загрязняющих веществ за летний период (июнь, июль, август)

Дата	СО, ед.ПДКсс	NO, ед.ПДКсс	NO2, ед.ПДКсс	PM2,5, ед.ПДКсс	PM10, ед.ПДКсс
1 июн	0,145	0,267	0,625	0,800	0,550
2 июн	0,149	0,167	0,625	1,057	0,700
3 июн	0,147	0,150	0,475	1,086	0,717
4 июн	0,136	0,117	0,450	0,714	0,483
5 июн	0,208	0,450	0,600	1,114	0,717
6 июн	0,095	0,083	0,225	0,343	0,217
7 июн	0,108	0,167	0,375	0,371	0,267
8 июн	0,131	0,183	0,550	0,629	0,433
9 июн	0,153	0,283	0,675	0,800	0,550
10 июн	0,096	0,117	0,325	0,457	0,300
11 июн	0,178	0,383	0,500	0,686	0,500
12 июн	0,119	0,083	0,325	0,543	0,367
13 июн	0,121	0,117	0,400	0,600	0,400
14 июн	0,149	0,350	0,525	0,543	0,400
15 июн	0,112	0,067	0,300	0,886	0,583
16 июн	0,113	0,100	0,300	0,657	0,417
17 июн	0,123	0,250	0,400	0,400	0,267
18 июн	0,097	0,150	0,250	0,314	0,200
19 июн	0,115	0,133	0,300	0,571	0,383
20 июн	0,102	0,150	0,275	0,457	0,317
21 июн	0,076	0,100	0,250	0,314	0,217
22 июн	0,121	0,350	0,325	0,457	0,317
23 июн	0,169	0,483	0,575	0,571	0,383
24 июн	0,096	0,117	0,250	0,514	0,333
25 июн	0,098	0,117	0,300	0,429	0,283
26 июн	0,118	0,167	0,375	0,743	0,483
27 июн	0,093	0,133	0,350	0,371	0,267
28 июн	0,073	0,083	0,125	0,371	0,233
29 июн	0,110	0,200	0,325	0,486	0,333
30 июн	0,136	0,283	0,500	0,543	0,367
1 июл	0,153	0,333	0,600	0,629	0,433
2 июл	0,103	0,083	0,300	0,486	0,300

Продолжение таблицы 1.2

Дата	СО, ед.ПДКсс	NO, ед.ПДКсс	NO2, ед.ПДКсс	PM2,5, ед.ПДКсс	PM10, ед.ПДКсс
3 июл	0,141	0,250	0,475	0,743	0,483
4 июл	0,131	0,150	0,500	0,829	0,550
5 июл	0,157	0,167	0,600	1,229	0,767
6 июл	0,146	0,217	0,525	0,714	0,467
7 июл	0,124	0,150	0,400	0,514	0,333
8 июл	0,138	0,283	0,425	0,457	0,300
9 июл	0,115	0,100	0,350	0,457	0,300
10 июл	0,137	0,100	0,400	0,829	0,550
11 июл	0,132	0,067	0,475	1,200	0,750
12 июл	0,155	0,133	0,650	1,429	0,917
13 июл	0,139	0,100	0,475	1,457	0,900
14 июл	0,160	0,233	0,575	0,800	0,500
15 июл	0,152	0,150	0,525	0,829	0,533
16 июл	0,141	0,167	0,425	0,571	0,367
17 июл	0,118	0,100	0,300	0,457	0,317
18 июл	0,143	0,183	0,425	0,600	0,400
19 июл	0,151	0,217	0,400	0,714	0,433
20 июл	0,155	0,200	0,425	1,200	0,750
21 июл	0,128	0,200	0,250	0,857	0,533
22 июл	0,146	0,250	0,450	0,857	0,550
23 июл	0,141	0,167	0,400	0,971	0,600
24 июл	0,108	0,083	0,250	0,514	0,317
25 июл	0,157	0,317	0,300	0,571	0,383
26 июл	0,132	0,183	0,400	0,600	0,400
27 июл	0,122	0,067	0,300	0,771	0,483
28 июл	0,155	0,200	0,375	0,829	0,533
29 июл	0,193	0,317	0,275	0,657	0,400
30 июл	0,144	0,100	0,275	0,514	0,333
31 июл	0,127	0,167	0,275	0,257	0,183
1 авг	0,163	0,317	0,425	0,314	0,217
2 авг	0,106	0,067	0,250	0,371	0,267
3 авг	0,143	0,267	0,425	0,371	0,233
4 авг	0,143	0,217	0,475	0,343	0,283

Продолжение таблицы 1.2

Дата	СО, ед.ПДКсс	NO, ед.ПДКсс	NO2, ед.ПДКсс	PM2,5, ед.ПДКсс	PM10, ед.ПДКсс
5 авг	0,170	0,233	0,600	0,686	0,500
6 авг	0,122	0,050	0,325	0,857	0,550
7 авг	0,123	0,150	0,325	0,543	0,350
8 авг	0,155	0,317	0,450	0,200	0,150
9 авг	0,146	0,250	0,375	0,200	0,150
10 авг	0,242	0,717	0,575	0,429	0,300
11 авг	0,148	0,250	0,400	0,314	0,233
12 авг	0,114	0,167	0,250	0,257	0,183
13 авг	0,118	0,167	0,250	0,257	0,183
14 авг	0,158	0,283	0,375	0,343	0,217
15 авг	0,222	0,500	0,575	0,543	0,367
16 авг	0,197	0,317	0,575	0,886	0,567
17 авг	0,154	0,133	0,575	1,000	0,633
18 авг	0,142	0,133	0,450	0,857	0,550
19 авг	0,155	0,167	0,450	0,800	0,517
20 авг	0,129	0,100	0,350	0,629	0,433
21 авг	0,130	0,067	0,350	0,743	0,500
22 авг	0,138	0,067	0,350	1,314	0,817
23 авг	0,170	0,283	0,425	0,686	0,450
24 авг	0,146	0,217	0,425	0,314	0,217
25 авг	0,144	0,133	0,300	0,457	0,283
26 авг	0,216	0,550	0,500	1,057	0,683
27 авг	0,182	0,267	0,350	0,657	0,417
28 авг	0,165	0,300	0,450	0,457	0,283
29 авг	0,120	0,150	0,275	0,229	0,150
30 авг	0,115	0,133	0,350	0,200	0,150
31 авг	0,166	0,267	0,425	0,257	0,183



Метеорологические параметры в Архангельске за зимне-летний период 2021-2022 гг.

Таблица 2.1 – Метеорологические параметры за зимний период (декабрь, январь, февраль)

Дата	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость ветра, м/с	Направление ветра, °
01.12.2021	-8,8	85	2,9	68
02.12.2021	-9,0	88	1,8	0
03.12.2021	-14,6	85	1,0	23
04.12.2021	-19,8	82	1,9	45
05.12.2021	-14,9	86	1,8	0
06.12.2021	-12,5	85	1,9	248
07.12.2021	-14,3	84	2,1	113
08.12.2021	-11,2	86	1,9	90
09.12.2021	-16,0	86	1,1	135
10.12.2021	-12,0	89	1,3	158
11.12.2021	-15,6	84	2,4	135
12.12.2021	-12,1	85	2,5	135
13.12.2021	-10,5	88	2,0	158
14.12.2021	-4,3	93	1,6	225
15.12.2021	-1,9	93	2,6	180
16.12.2021	-3,0	95	1,8	135
17.12.2021	-5,2	95	1,1	0
18.12.2021	-6,8	93	0,9	113
19.12.2021	-16,9	84	2,5	45
20.12.2021	-28,9	77	0,6	0
21.12.2021	-24,9	79	0,5	0
22.12.2021	-19,3	83	0,5	113
23.12.2021	-10,2	88	2,4	113
24.12.2021	-12,5	84	3,8	113
25.12.2021	-11,2	86	3,3	113
26.12.2021	-19,7	82	1,3	90
27.12.2021	-30,5	74	1,1	135

Продолжение таблицы 2.1

Дата	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость ветра, м/с	Направление ветра, °
28.12.2021	-15,7	86	2,0	248
29.12.2021	-9,9	89	1,6	158
30.12.2021	-6,9	88	3,0	180
31.12.2021	-8,3	88	3,3	180
01.01.2022	-7,3	90	1,9	158
02.01.2022	-9,2	86	2,9	338
03.01.2022	-12,8	85	2,3	338
04.01.2022	-23,6	81	0,3	270
05.01.2022	-20,5	81	2,8	113
06.01.2022	-10,9	86	3,5	135
07.01.2022	-14,0	86	1,1	113
08.01.2022	-19,8	83	1,0	0
09.01.2022	-18,3	84	1,6	180
10.01.2022	-12,8	89	1,6	270
11.01.2022	-10,3	90	1,5	180
12.01.2022	-12,2	83	3,1	203
13.01.2022	-6,0	91	3,1	180
14.01.2022	-4,1	91	3,0	270
15.01.2022	-3,6	88	3,6	315
16.01.2022	-8,1	88	2,6	158
17.01.2022	-4,2	87	3,3	135
18.01.2022	-8,1	92	1,3	338
19.01.2022	-5,9	88	3,3	180
20.01.2022	-1,5	93	3,1	180
21.01.2022	-1,0	92	2,6	158
22.01.2022	-4,8	92	2,4	135
23.01.2022	-12,1	86	2,6	158
24.01.2022	-4,8	90	4,4	203
25.01.2022	-2,5	91	3,1	203
26.01.2022	-10,6	89	1,8	158
27.01.2022	-10,5	89	2,8	158
28.01.2022	-11,2	87	2,3	113
29.01.2022	-9,0	89	1,5	135
30.01.2022	-8,9	88	3,0	135

Продолжение таблицы 2.1

Дата	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость ветра, м/с	Направление ветра, °
31.01.2022	-8,2	89	1,6	113
01.02.2022	-9,2	87	2,0	90
02.02.2022	-12,0	87	1,4	45
03.02.2022	-12,5	87	0,5	0
04.02.2022	-15,1	86	0,9	113
05.02.2022	-18,4	84	3,5	135
06.02.2022	-15,0	84	4,5	135
07.02.2022	-11,0	86	3,6	135
08.02.2022	-8,5	89	3,6	135
09.02.2022	-5,5	91	3,5	135
10.02.2022	-3,6	90	3,3	135
11.02.2022	-2,5	88	2,6	158
12.02.2022	-4,9	89	2,9	248
13.02.2022	-10,2	86	2,5	180
14.02.2022	-6,2	90	3,3	135
15.02.2022	-5,5	89	1,1	248
16.02.2022	-4,3	93	0,8	180
17.02.2022	-0,7	95	2,8	135
18.02.2022	0,5	93	4,5	135
19.02.2022	-1,1	74	4,1	180
20.02.2022	-1,5	92	1,9	113
21.02.2022	-5,9	87	2,1	203
22.02.2022	-6,9	90	1,4	113
23.02.2022	-8,8	87	1,8	0
24.02.2022	-7,6	83	3,8	180
25.02.2022	0,6	84	4,1	180
26.02.2022	-0,1	89	3,4	180
27.02.2022	-5,0	76	2,9	203
28.02.2022	-0,9	76	4,4	248

Таблица 2.2 – Метеорологические параметры за летний период (июнь, июль, август)

Дата	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость ветра, м/с	Направление ветра, °
01.06.2022	17,1	61	2,0	90
02.06.2022	20,1	62	1,4	135
03.06.2022	20,5	62	2,5	113
04.06.2022	14,9	66	2,4	113
05.06.2022	14,3	80	1,3	158
06.06.2022	11,9	81	2,8	293
07.06.2022	10,0	75	1,8	293
08.06.2022	14,8	59	1,9	0
09.06.2022	15,1	76	1,0	158
10.06.2022	12,7	84	2,9	315
11.06.2022	11,1	64	1,3	315
12.06.2022	16,6	55	2,5	135
13.06.2022	16,4	73	2,0	135
14.06.2022	17,3	67	1,6	338
15.06.2022	17,3	71	2,5	90
16.06.2022	15,8	84	2,0	158
17.06.2022	14,8	79	1,9	180
18.06.2022	10,0	89	2,8	293
19.06.2022	12,7	78	1,6	113
20.06.2022	13,6	79	1,4	0
21.06.2022	10,0	76	2,4	0
22.06.2022	11,0	77	1,4	0
23.06.2022	13,9	73	0,8	158
24.06.2022	17,8	72	2,8	225
25.06.2022	17,6	59	1,5	315
26.06.2022	18,1	66	2,0	113
27.06.2022	10,9	67	2,6	23
28.06.2022	10,8	68	1,9	0
29.06.2022	13,2	60	1,9	315
30.06.2022	16,3	56	1,3	158
01.07.2022	17,7	61	0,8	45
02.07.2022	15,3	75	1,4	0

Продолжение таблицы 2.2

Дата	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость ветра, м/с	Направление ветра, °
03.07.2022	17,9	66	1,4	135
04.07.2022	22,0	64	1,5	113
05.07.2022	21,6	79	1,1	113
06.07.2022	20,1	80	1,8	225
07.07.2022	17,3	80	2,0	158
08.07.2022	18,3	73	2,6	248
09.07.2022	19,2	60	1,6	225
10.07.2022	20,0	64	1,8	135
11.07.2022	22,3	73	1,9	135
12.07.2022	24,8	68	2,1	113
13.07.2022	23,3	73	2,4	135
14.07.2022	20,6	81	1,8	180
15.07.2022	20,4	74	1,4	135
16.07.2022	17,5	86	1,1	225
17.07.2022	18,0	71	2,0	180
18.07.2022	17,6	74	1,3	90
19.07.2022	16,3	92	2,1	23
20.07.2022	20,8	81	2,4	23
21.07.2022	20,0	84	1,6	0
22.07.2022	20,4	78	1,3	248
23.07.2022	20,3	85	1,8	248
24.07.2022	17,5	81	1,9	45
25.07.2022	16,5	77	1,4	0
26.07.2022	17,8	75	1,8	158
27.07.2022	20,5	80	2,6	135
28.07.2022	20,8	85	1,3	158
29.07.2022	16,5	97	2,4	45
30.07.2022	19,1	89	1,6	113
31.07.2022	17,6	77	1,6	158
01.08.2022	15,1	90	1,1	270
02.08.2022	17,3	85	2,4	180
03.08.2022	18,8	78	2,4	225
04.08.2022	18,4	73	2,0	180
05.08.2022	22,8	69	2,1	248

Продолжение таблицы 2.2

Дата	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость ветра, м/с	Направление ветра, °
06.08.2022	23,9	66	2,6	180
07.08.2022	19,7	72	2,6	225
08.08.2022	15,6	74	1,9	225
09.08.2022	14,8	75	1,3	248
10.08.2022	14,8	77	0,9	158
11.08.2022	17,4	75	2,8	225
12.08.2022	16,9	70	3,8	270
13.08.2022	14,1	69	2,6	248
14.08.2022	13,8	77	1,4	158
15.08.2022	16,3	77	0,5	113
16.08.2022	19,1	79	1,1	113
17.08.2022	22,8	74	1,4	135
18.08.2022	22,9	70	2,4	135
19.08.2022	22,5	69	1,9	180
20.08.2022	22,0	66	2,3	180
21.08.2022	19,9	65	1,9	180
22.08.2022	19,6	66	2,4	158
23.08.2022	18,7	75	2,0	203
24.08.2022	15,9	79	1,5	203
25.08.2022	14,3	89	2,0	0
26.08.2022	13,4	83	0,8	0
27.08.2022	15,0	91	1,9	135
28.08.2022	18,6	82	2,0	225
29.08.2022	15,9	84	1,9	270
30.08.2022	10,4	81	2,1	0
31.08.2022	8,7	70	2,6	23

