



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: «Сезонная оценка загрязнения атмосферного воздуха в  
Ленинградской области»

Исполнитель Дейлис Николь Анатольевна  
(фамилия, имя, отчество)

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

Крюкова Светлана Викторовна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
заведующий кафедрой

(подпись)

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

Восканян Карина Левановна  
(фамилия, имя, отчество)

«07» июня 2026 года

Санкт-Петербург  
2026

## Оглавление

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                                                         | 3  |
| 1 Общая характеристика атмосферы .....                                                                 | 5  |
| 1.1 Строение атмосферы .....                                                                           | 5  |
| 1.2 Главные источники загрязнения атмосферы .....                                                      | 7  |
| 1.3 Воздействие загрязнения атмосферы на здоровье человека .....                                       | 10 |
| 1.4 Роль метеорологических параметров в формировании качества воздуха .....                            | 12 |
| 2 Методы контроля и минимизации загрязнений .....                                                      | 15 |
| 2.1 Предельно-допустимые концентрации .....                                                            | 15 |
| 2.2 Экологические инициативы на международном уровне .....                                             | 17 |
| 2.3 Мониторинг состояния окружающей среды .....                                                        | 19 |
| 2.4 Виды экологического мониторинга .....                                                              | 21 |
| 2.4.1 Приборы и технологии мониторинга загрязняющих веществ в России .....                             | 22 |
| 3 Исследование сезонного распределения концентраций загрязняющих веществ в Ленинградской области ..... | 24 |
| 3.1 Анализ местоположения станции мониторинга .....                                                    | 24 |
| 3.2 Оценка среднесуточных концентраций загрязняющих компонентов и метеорологических параметров .....   | 26 |
| 3.2.1 Анализ концентрации загрязняющих компонентов в зимний период .....                               | 27 |
| 3.2.2 Анализ метеорологических параметров в зимний сезон .....                                         | 34 |
| 3.2.3 Анализ концентрации загрязняющих компонентов в летний период .....                               | 42 |
| 3.2.4 Анализ метеорологических параметров в летний сезон .....                                         | 48 |
| 3.3 Корреляционный анализ концентраций загрязняющих веществ .....                                      | 56 |
| 3.3.1 Корреляционный анализ данных за зимний сезон 2024-2025 гг. ..                                    | 57 |
| 3.3.2 Корреляционный анализ данных за летний сезон 2025 г. ....                                        | 60 |

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4 Итоговый анализ влияния сезонного распределения и метеопараметров на загрязнения атмосферного воздуха в Ленинградской области ..... | 64 |
| Заключение .....                                                                                                                        | 67 |
| Список литературы.....                                                                                                                  | 69 |
| Приложения .....                                                                                                                        | 71 |

## Введение

Атмосфера Земли является одним из самых динамичных компонентов окружающей природной среды. Её состояние определяется множеством характеристик: климатологическими и синоптическими параметрами, физическими процессами, химическим составом и преобразованиями веществ, процессами взаимодействия с внешними факторами и антропогенным воздействием. Понимание этих взаимосвязей критически важно для разработки эффективных мер по защите окружающей среды и обеспечения безопасности населения.

Важным аспектом изучения атмосферного загрязнения являются сезонные показатели концентраций загрязняющих веществ, поскольку они напрямую отражают влияние метеорологических и территориальных характеристик изучаемого района. Сезонные различия по уровням загрязнения обусловлены изменениями температуры, влажности, скорости ветра и других метеорологических параметров, которые определяют динамику рассеивания и накопления загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы.

Учитывая сложность атмосферных процессов и выраженную сезонную изменчивость загрязнения, экологическая обстановка в регионах приобретает особую значимость. Уровень загрязнения воздуха, воды и почвы напрямую влияет на здоровье населения, качество жизни и социально-экономическое развитие территорий. В условиях урбанизации и интенсивного промышленного производства загрязнение окружающей среды становится не только экологическим, но и социально-экономическим вызовом, требующим стратегического подхода и системного мониторинга.

Целью выпускной работы является оценка сезонных загрязнений и выявление закономерностей во влиянии метеорологических параметров для мониторинга атмосферного воздуха в г. Гатчина, Ленинградской области.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) Выбор района и станции мониторинга с полным набором данных, которые будут анализироваться в рамках выпускной квалификационной работы;

- 2) Отобрать и обработать данные по станции автоматического мониторинга;
- 3) Построить среднесуточные графики концентраций загрязняющих веществ и метеорологических параметров за зимний и летний сезоны.
- 4) Произвести расчёт коэффициента корреляции между исследуемыми параметрами;
- 5) Провести анализ среднесуточной изменчивости исследуемых параметров.
- 6) Выявить закономерности сезонных загрязнений, влияющих на изменение концентраций ЗВ в выбранном районе;
- 7) Подвести итог о проделанной работе и представить результаты.

Объектом исследования являются данные, полученные со станции экологического мониторинга, находящейся по адресу ул. Авиатриссы Зверевой, 12А, г. Гатчина.

Предметом исследования является анализ влияния сезонных метеорологических характеристик на изменение концентраций загрязняющих веществ:  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$ , CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> за зимний период 2024-2025 гг. и летний период 2025 года.

Структура работы: работа состоит из введения, трех глав, которые подразделены на подглавы, заключения, списка использованных источников и приложения.

Первая глава посвящена общей характеристике атмосферы и основным источникам загрязнения атмосферного воздуха. Вторая глава посвящена экологическому мониторингу состояния окружающей среды. Третья глава посвящена анализу экологической обстановки в г. Гатчина Ленинградской области. В заключении выпускной работы сделаны выводы по результатам проведенных исследований.

## 1 Общая характеристика атмосферы

Современные проблемы загрязнения атмосферного воздуха тесно связаны с его физическим и химическим строением, метеорологическими условиями и характером антропогенных нагрузок. В данной главе рассматриваются основные особенности вертикального и горизонтального строения атмосферы, классификация источников загрязнения, влияние загрязняющих веществ на здоровье человека и роль метеорологических параметров в формировании качества воздуха.

### 1.1 Строение атмосферы

Атмосфера представляет собой газовую оболочку Земли, состоящую из смеси многих газов, взвешенных частиц и аэрозолей, удерживаемую силой тяжести. Основная масса воздуха сосредоточена в нижних слоях, где развиваются погодные процессы и формируется климат, влияющий на состояние приземного слоя атмосферы и качество воздуха на уровне дыхания человека.

По термодинамическим и динамическим признакам атмосфера условно подразделяется на несколько слоёв: тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу и экзосферу.

- Тропосфера — нижний слой, прилегающий к подстилающей поверхности, занимает в среднем 8–15 км (от 8–10 км вблизи полюсов до 15–18 км над тропиками). Именно в тропосфере сосредоточено около 80% массы атмосферного воздуха и подавляющее большинство водяного пара, аэрозолей и загрязняющих веществ антропогенного происхождения.
- Стратосфера расположена выше тропопаузы и простирается до высот порядка 50 км. В её нижней части находится озоновый слой, поглощающий часть ультрафиолетового излучения Солнца и играющий ключевую роль в радиационном балансе атмосферы.

- Мезосфера охватывает высоты примерно 50–95 км и характеризуется понижением температуры с высотой; в этом слое начинают разрушаться метеоры и образуются ночные светящиеся облака.
- Термосфера (80–700 км) и экзосфера (до нескольких тысяч километров) представляют собой сильно разреженные слои, в которых дальнейшая модификация атмосферы идёт под влиянием солнечной радиации и космического излучения.

Таким образом, для исследования загрязнения атмосферы и качества воздуха наиболее значимым является тропосферный слой, особенно нижние сотни метров — приземный слой, где сосредоточена большая часть выбросов и формируется режим загрязнения. На рис. 1.1 представлена схема вертикального строения атмосферы [1, 2].

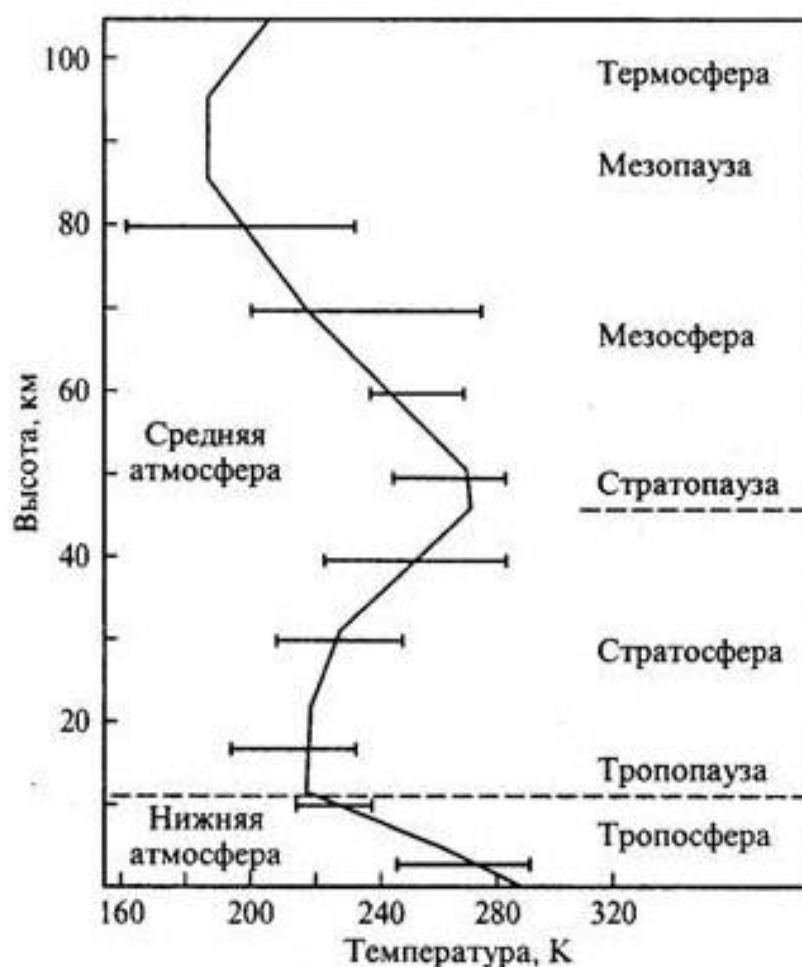


Рис.1.1 Схема вертикального строения атмосферы

## Горизонтальное строение и масштабы процессов

Наряду с вертикальным делением атмосфера характеризуется выраженной горизонтальной структурой, которая определяется циркуляционными процессами и тепловым режимом планеты. В тропосфере формируются циклоны, антициклоны, фронты и другие элементы синоптического поля давления, которые существенно влияют на перенос и накопление загрязняющих веществ в приземном слое.

Важнейшими пространственными масштабами являются:

- локальный масштаб (до нескольких километров) — процессы вокруг конкретного источника выброса (завод, магистраль, район города);
- региональный масштаб (десятки–сотни километров) — зональные загрязнения, формирующиеся при переносе загрязняющих веществ ветром;
- глобальный масштаб — медленное перемешивание и долгоживущие примеси (например,  $\text{CO}_2$ , метан, некоторые хлорфторуглероды), которые могут распространяться по всей планете и влиять на климат и радиационный режим.

Таким образом, задача исследования качества воздуха предполагает учёт как мелкомасштабной структуры загрязнения, связанной с локальными источниками, так и крупномасштабных процессов, обусловленных атмосферной циркуляцией и глобальными потоками примесей.

### 1.2 Главные источники загрязнения атмосферы

Загрязнение атмосферного воздуха происходит как в результате естественных процессов, так и в результате антропогенной деятельности. В современной экологической практике большое внимание уделяется именно антропогенным источникам, поскольку они часто определяют уровень загрязнения в приземном слое и оказывают значимое влияние на здоровье населения. Схема с классификацией источников загрязнения представлена на рисунке 1.2 [3].

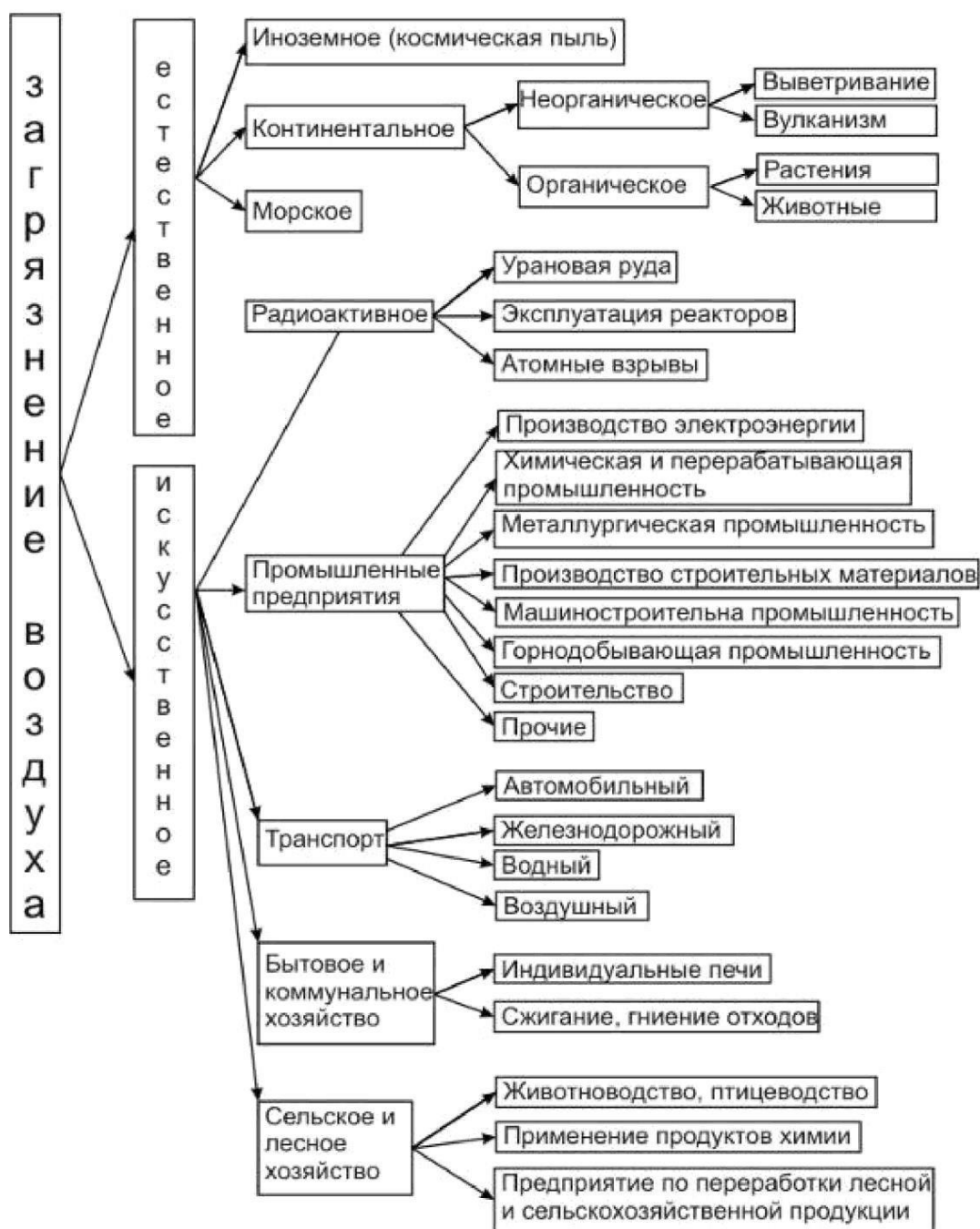


Рис. 1.2 Классификация источников загрязнения

К естественным источникам относятся процессы, которые протекают в природе без непосредственного вмешательства человека.

- Извержения вулканов — выбросы сернистого газа, сажи, пыли и газов формируют значительные аэрозольные облака, которые могут рассеиваться на больших расстояниях и влиять на радиационный баланс и климат.

- Лесные, степные и торфяные пожары — источник оксида углерода, частиц, летучих органических соединений и других токсичных компонентов.
- Пыльные бури и эрозия почв — поднимают в атмосферу крупные и мелкие частицы ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ), которые затем переносятся ветром и оседают на значительных территориях.
- Океаны и моря — испарения солей, органические вещества, биогенные газы (например, сероводород, диметилсульфид) также вносят вклад в состав атмосферы.

Хотя природные источники обладают значительной интенсивностью, их характеризует большая пространственная и временная изменчивость, а также отсутствие постоянной связи с плотностью населения.

Антропогенные источники загрязнения классифицируются по нескольким признакам: по типу деятельности, по мобильности и по геометрии выброшенного потока.

По типу деятельности

- Энергетика и промышленность  
Тепловые и атомные электростанции, котельные, предприятия черной и цветной металлургии, химические заводы, нефтеперерабатывающие комплексы являются крупнейшими источниками вредных выбросов: диоксида серы, оксидов азота, оксида углерода, частиц, тяжёлых металлов и других токсикантов. Сжигание твёрдого и жидкого топлива в промышленных котлах и печах формирует значительные аэрозольные фракции и выбросы, определяющие «промышленный фон» загрязнения.

- Транспорт

Автомобильный, железнодорожный, водный и воздушный транспорт — один из главных источников загрязнения воздуха в промышленно развитых странах. Выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания содержат оксиды азота, угарный газ, углеводороды, сажу, частицы  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ , а также летучие органические соединения, которые участвуют в фотохимическом образовании озона в приземном слое.

- Жилищно-бытовой сектор и коммунальная инфраструктура

К таким источникам относятся сжигание угля, дров и других видов топлива в бытовых печах, котельных жилых домов и мелкотоннажных источниках, а также переработка и сжигание бытовых отходов. Совокупно эти объекты могут вносить значительный вклад в общерегиональный уровень загрязнения, особенно в условиях слабой вентиляции и инверсий.

- Сельское хозяйство и животноводство

Сельскохозяйственные угодья, птицеводческие и животноводческие комплексы, применение минеральных удобрений и пестицидов являются источниками аммиака, метана, оксидов азота, пыли и биогенных аэрозолей. Эти вещества влияют как на качество воздуха на местном уровне, так и на региональный химический состав атмосферы.

По конфигурации источников

- Точечные источники — трубы, дефлекторы, дымовые шахты, выбрасывающие загрязняющие вещества через одно или несколько фокусных выпускных отверстий. Модели рассеяния обычно анализируют выбросы именно от таких источников.

- Линейные источники — магистрали, транспортные трассы, линейные объекты инфраструктуры, где выхлопные газы размещаются вдоль протяжённой полосы.

- Площадные источники — крупные промышленные площадки, отвалы, свалки, сельскохозяйственные поля и другие объекты, покрывающие значительную территорию.

### 1.3 Воздействие загрязнения атмосферы на здоровье человека

Загрязнение атмосферного воздуха является одним из ключевых факторов риска для здоровья населения, особенно в крупных городах и промышленных центрах. Длительное или повторяющееся воздействие вредных примесей

способно вызывать как острые, так и хронические заболевания, а также ухудшать качество жизни и когнитивную функцию.

К наиболее изученным и социально значимым компонентам загрязнения воздуха относятся: мелкодисперсные частицы ( $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$ ), диоксид серы ( $SO_2$ ), оксиды азота ( $NO_x$ ), озон ( $O_3$ ), угарный газ ( $CO$ ) и тяжёлые металлы [4].

- Частицы  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  способны проникать в глубокие отделы дыхательных путей и альвеолы, провоцируя воспалительные реакции, снижение функции лёгких, обострение бронхиальной астмы и хронической обструктивной болезни лёгких (ХОБЛ). Долгосрочное воздействие связано с повышением смертности от сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний.

- Оксиды азота и диоксид серы усиливают бронхоспазм, раздражают слизистые оболочки дыхательных путей и способствуют развитию хронических заболеваний лёгких.

- Озон ( $O_3$ ) в приземном слое — сильный оксидант, вызывающий раздражение конъюнктивы и слизистой дыхательных путей, затруднение дыхания и снижение физической выносливости.

- Угарный газ ( $CO$ ) снижает способность гемоглобина связывать кислород, что приводит к гипоксии тканей, особенно сердца и головного мозга, и может усугублять кардиологическую патологию.

Ряд исследований показывает, что даже при относительно «умеренных» концентрациях загрязняющих веществ наблюдается статистически значимый рост частоты госпитализаций и обращений за скорой медицинской помощью.

#### Влияние на психическое здоровье и когнитивные функции

Современные данные свидетельствуют о существенном влиянии загрязнения воздуха на психическое здоровье и работу мозга. В частности, мелкодисперсные частицы  $PM_{2,5}$  способны проникать через гематоэнцефалический барьер и вызывать нейровоспаление, что ассоциируется с повышенной вероятностью депрессии, тревожных расстройств и ухудшением качества сна.

Исследования показывают:

- при длительном воздействии  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  увеличивается риск депрессии и тревожных симптомов;
- загрязнение ухудшает внимание, память, скорость мышления и способность к концентрации, особенно у детей и подростков;
- в ряде работ отмечены небольшие, но достоверные изменения в структурах мозга на МРТ-сканах у людей, проживающих в районах с высоким уровнем загрязнения.

Таким образом, загрязнение атмосферы не ограничивается только респираторными и сердечно-сосудистыми эффектами, но также оказывает системное влияние на психическое здоровье и когнитивные ресурсы населения.

#### 1.4 Роль метеорологических параметров в формировании качества воздуха

Качество атмосферного воздуха в конкретной точке определяется не только объёмом и составом выбросов, но и метеорологическими условиями, которые регулируют процессы переноса, трансформации и осаждения загрязняющих веществ. Важнейшими параметрами являются температура, влажность, скорость и направление ветра, осадки, атмосферное давление, инверсии и туманы [5].

##### Влияние температуры и инверсии

Температурный профиль атмосферы оказывает существенное влияние на вертикальную устойчивость и рассеяние примесей.

- При наличии инверсии температуры (температура возрастает с высотой) формируется «слой-крышка», препятствующий вертикальному перемешиванию воздуха; в таких условиях концентрации загрязняющих веществ в приземном слое быстро нарастают.
- В условиях конвекции (температура уменьшается с высотой) воздух активно перемешивается, что способствует вытягиванию загрязнений в более высокие слои и уменьшению концентраций на уровне земли.

Кроме того, температура влияет на химические реакции в атмосфере: например, повышение температуры усиливает фотохимическое образование озона в приземном слое, участвуют в сложных реакциях оксидов азота и летучих органических соединений.

#### Ветер, турбулентность и перенос загрязнений

Скорость и направление ветра определяют направление и интенсивность переноса загрязняющих веществ от источников к жилым районам или, наоборот, прочь от населённых пунктов.

- При слабом ветре (менее 1–2 м/с) снижается горизонтальная дисперсия, что способствует накоплению загрязнений в приземном слое.
- При средних и сильных ветрах происходит более эффективное рассеяние загрязняющих веществ, а концентрации в районе источника снижаются, хотя при этом возможен перенос загрязнений на значительные расстояния.

Турбулентность, обусловленная шероховатостью подстилающей поверхности и термическими эффектами, также играет важную роль в перемешивании и элиминации примесей.

#### Влажность, осадки и аэрозоли

Относительная влажность воздуха и наличие осадков влияют как на физические, так и на химические процессы.

- Высокая влажность способствует гигроскопическому росту аэрозольных частиц, что изменяет их оптические свойства и способность к осаждению.
- Дождь и снег способствуют вымыванию из атмосферы водорастворимых газов ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ) и частиц, что приводит к кратковременному снижению концентраций загрязняющих веществ в приземном слое.

В то же время в ряде случаев повышенная влажность может способствовать образованию мелкодисперсных частиц в результате

гетерогенных реакций на поверхности капель, а также формированию туманов и смогов, ухудшающих качество воздуха.

Статистические взаимосвязи метеорологических параметров и концентраций загрязняющих веществ

Ряд эмпирических и региональных исследований показывает, что между метеорологическими переменными и уровнем загрязнения воздуха существуют статистически значимые корреляции. Например, в городских условиях:

- температура положительно коррелирует с концентрациями озона ( $O_3$ ) и оксида азота ( $NO$ ), что связано с интенсификацией фотохимических реакций при солнечной радиации;
- влажность может повышать концентрацию  $CO$  и  $H_2S$ , но одновременно снижать содержание  $NO$  и  $O_3$  из-за поглощения и химической трансформации;
- скорость ветра влияет на дисперсию: при сильном ветре концентрации  $NO_2$  и  $NO$  могут возрасти в отдельных точках из-за переноса, тогда как  $SO_2$  и  $O_3$  снижаются за счёт более эффективного рассеяния.

Основные механизмы влияния солнечной радиации предполагают:

- Фотохимические реакции

Высокая интенсивность солнечной радиации, характерная для южных районов, способствует протеканию в атмосфере фотохимических реакций.

- Трансформация загрязняющих веществ

В результате фотохимических реакций первичные загрязняющие вещества трансформируются в ещё более опасные производные соединения.

- Образование фотохимического смога

В ясные дни фотохимические реакции могут вызывать образование фотохимического смога, что усиливает экологическую опасность загрязнения приземного слоя воздуха.

- Взаимное влияние аэрозолей и радиации

Количество и вид атмосферных аэрозолей определяют процессы поглощения и рассеяния солнечной радиации в атмосфере, а также её прозрачность для солнечных лучей.

- Инфракрасное излучение

Загрязняющие вещества поглощают и излучают инфракрасную радиацию, поэтому встречное излучение атмосферы в городе больше, чем за его пределами.

Таким образом, для оценки качества воздуха и прогнозирования загрязнения необходимо системно учитывать не только данные по выбросам, но и комплекс метеорологических параметров.

## 2 Методы контроля и минимизации загрязнений

Совершенствование методов контроля и минимизации антропогенных загрязнений является ключевым направлением экологической политики как на национальном, так и на международном уровне. В данной главе рассматриваются нормативные основы оценки качества воздуха (предельно допустимые концентрации), международные экологические инициативы, сущность и виды мониторинга окружающей среды, а также современные приборы и технологии контроля загрязняющих веществ в атмосфере, применяемые в России.

### 2.1 Предельно-допустимые концентрации

Предельно-допустимая концентрация (ПДК) представляет собой максимальную концентрацию загрязняющего вещества в воздухе, при которой продолжительное воздействие не вызывает вредных последствий для здоровья человека и природной среды. атмосферного воздуха, в отличие от водной среды, наибольшее значение имеют среднесуточные ПДК (ПДК<sub>сс</sub>), отражающие допустимый уровень загрязнения при многолетнем вдыхании.

ПДК<sub>сс</sub> устанавливается в единицах мг/м<sup>3</sup> (иногда мкг/м<sup>3</sup>) и предназначена для предотвращения общетоксического, канцерогенного, мутагенного и других хронических эффектов [6].

В ряде случаев нормируется также максимальная разовая концентрация (ПДК<sub>мр</sub>) — кратковременный пик, который допускается в течение нескольких минут при непрерывном вдыхании.

ПДК<sub>ср</sub> (средняя концентрация за рабочую смену) используется в условиях производственной среды, но при оценке качества воздуха в населённых пунктах доминируют ПДК<sub>сс</sub> и ПДК<sub>мр</sub>. В таблице 1.1 содержится информация о предельно допустимых концентрациях загрязняющих веществ в воздухе [7].

Таблица 1.1 Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ  
в воздухе

| №<br>п/п | Вещество                           | Химическая<br>формула | ПДК <sub>сс</sub> ,<br>мг/м <sup>3</sup> | Комментарий<br>(класс<br>опасности, тип<br>ПДК) |
|----------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1        | Двуокись серы<br>(оксид серы (IV)) | SO <sub>2</sub>       | 0,05                                     | Класс опасности<br>3;<br>среднесуточная<br>ПДК  |
| 2        | Оксид азота (II)                   | NO                    | 0,06                                     | Класс 3;<br>среднесуточная<br>ПДК               |
| 3        | Двуокись азота                     | NO <sub>2</sub>       | 0,04                                     | Класс 3;<br>среднесуточная<br>ПДК               |
| 4        | Углерода оксид                     | CO                    | 3                                        | Класс 4;<br>среднесуточная<br>ПДК               |
| 5        | Озон (в атмосфере)                 | O <sub>3</sub>        | 0,03                                     | Класс 2;<br>среднесуточная<br>ПДК (летом)       |
| 6        | Взвешенные частицы                 | PM <sub>10</sub>      | 0,06                                     | Класс 4;                                        |

|   |                                         |                   |       |                                   |
|---|-----------------------------------------|-------------------|-------|-----------------------------------|
|   | (крупнодисперсные)                      |                   |       | среднесуточная<br>ПДК             |
| 7 | Взвешенные частицы<br>(мелкодисперсные) | PM <sub>2,5</sub> | 0,035 | Класс 4;<br>среднесуточная<br>ПДК |

Установление и применение ПДК основано на сочетании экспериментальных биологических исследований, эпидемиологических наблюдений и расчётных методов.

- В лабораторных и природных экспериментах определяются уровни безвредного воздействия на тест-объекты и критические пороги токсичности;
- Эпидемиологические данные по заболеваемости и смертности в районах с разным уровнем загрязнения используются для уточнения нормативов;
- Современные подходы включают применение компьютерного моделирования, прогнозирования биологической активности и биотестирования на разных биологических объектах.

ПДК<sub>сс</sub> применяются: для контроля государственного и локального мониторинга атмосферного воздуха; при расчёте предельно допустимых выбросов (ПДВ) для промышленных объектов; при оценке сценариев загрязнения и прогнозировании последствий для населения и экосистем.

Нарушение ПДК (как ПДК<sub>сс</sub>, так и ПДК<sub>мр</sub>) влечёт необходимость принятия мер по уменьшению выбросов, усиленного мониторинга и, при необходимости, регулирования режима деятельности предприятий и транспорта.

## 2.2 Экологические инициативы на международном уровне

Международное сообщество признаёт загрязнение атмосферы и изменение климата как проблемы глобального характера, требующие

совместных усилий. В последние десятилетия сформирован комплекс международных договоров, программ и инициатив, направленных на снижение выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов, а также на развитие мониторинговых систем и экологических технологий.

К числу наиболее значимых документов относятся:

- Рамочная конвенция ООН об изменении климата (UNFCCC) и Парижское соглашение, ориентированные на ограничение роста глобальной средней температуры и сокращение выбросов CO<sub>2</sub> и других парниковых газов [8];
- Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (CLRTAP), регулирующая выбросы SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, аммиака и твёрдых частиц в Европе и Северной Америке [9];
- Монреальский протокол по озоноразрушающим веществам, который фактически стал одним из самых успешных международных экологических договоров [10].

Эти документы создают правовую и нормативную основу для установления национальных и региональных стандартов качества воздуха, программ мониторинга и технологий очистки.

Помимо юридических актов, действуют многочисленные программы и сети мониторинга, объединяющие усилия разных стран.

Глобальная сеть атмосферного мониторинга (GAW, WMO) — система станций, регулярно измеряющих состав воздуха, включая парниковые газы, аэрозоли и реактивные газы, с целью отслеживания долговременных трендов и сопоставления данных между странами.

Европейские проекты, такие как EMEP, AQ-Europe обеспечивают сбор и обработку данных по загрязнению воздуха для формирования региональных моделей, оценки переноса загрязняющих веществ и прогнозирования качества воздуха.

Международные инициативы также способствуют развитию экологических технологий и инвестиций в очистку выбросов:

внедрению каталитических нейтрализаторов, систем сухого и мокрого очистки дымовых газов, а также электрификации транспорта и возобновляемых источников энергии.

### 2.3 Мониторинг состояния окружающей среды

Экологический мониторинг представляет собой систематическое наблюдение, сбор, хранение и анализ данных о состоянии окружающей среды, а также выявление и оценка антропогенных воздействий. Для атмосферы мониторинг включает измерение концентраций загрязняющих веществ, аэрозольных фракций, парниковых газов, а также связанных метеорологических параметров.

Основные цели мониторинга:

- выявление фактического и прогнозируемого уровня загрязнения воздуха;
- оценка соответствия нормативам, предполагающим ПДК и стандарты качества воздуха;
- контроль эффективности мероприятий по очистке и снижению выбросов;
- формирование баз данных для научных исследований, моделирования и разработки экологической политики.

Мониторинг позволяет не только констатировать текущее состояние, но и прослеживать долговременные тренды загрязнения, а также выявлять зоны повышенного риска для населения и экосистем.

Классификация методов мониторинга представлена на рисунке 2.1 [11].



Рис. 2.1 Структура контактных методов наблюдения и контроля за состоянием окружающей среды

Государственный мониторинг атмосферного воздуха реализуется через сети стационарных и мобильных постов, оснащённых современными газоанализаторами и системами сбора данных.

К основным методам относятся контактные и дистанционные методы мониторинга. Так, среди контактных методов можно выделить:

- Химические методы служат системой наблюдения за химическим составом природных и антропогенных объектов (воздуха, воды, почвы, донных отложений, растительности, животных) и контролем распространения химических загрязняющих веществ. Они позволяют определить концентрацию токсичных веществ, оценить их влияние на экосистемы и здоровье человека. К классическим химическим методам можно отнести гравиметрический и титриметрический методы мониторинга.
- Физико-химические методы анализов в лабораторных условиях, например спектрофотометрия, газовая хроматография, титриметрия, ИК-спектроскопия;
- Физические методы позволяют определять изотопный, атомарный и молекулярный состав анализируемого вещества. К ним относятся: магнитная резонансная спектроскопия, масс-спектрометрия, рентгеноспектральный анализ;

- Дистанционные методы, к которым относится авиационный и спутниковый мониторинг, позволяющие оценивать распределение загрязняющих веществ на больших территориях.

Интеграция этих методов позволяет строить пространственно-временные карты загрязнения, а также проводить сопоставление данных с метеорологическими и транспортными моделями.

## 2.4 Виды экологического мониторинга

Экологический мониторинг классифицируют по различным признакам; важнейший из них — пространственный масштаб наблюдений [12].

- Глобальный (биосферный) мониторинг охватывает всю планету, включая полярные и океанические регионы; основной акцент — на долгосрочные изменения климата и состава атмосферы.

- Региональный мониторинг охватывает отдельные континенты, морские акватории или крупные экономические зоны; здесь анализируются переносы загрязняющих веществ и их региональные эффекты.

- Локальный (импактный) мониторинг сосредоточен в непосредственной близости к конкретным источникам выбросов. Охватывает промышленные предприятия, магистрали, аэропорты и предназначен для оценки непосредственного воздействия.

По временному характеру выделяют: базовый (фоновый) мониторинг, который представляет собой длительные регулярные наблюдения, позволяющие отслеживать «естественный фон» и выявлять изменения; непосредственный (эпизодический) мониторинг, приуроченный к экстремальным ситуациям, характеризующий смоги, крупные выбросы, аварии, и природным явлениям, в качестве которых выражены пожары и пыльные бури.

Мониторинг проводится не только по атмосфере, но и по другим компонентам природной среды.

Таким образом можно выделить атмосферный мониторинг, отвечающий за контроль состава воздуха, включая газы и аэрозоли. Далее, гидрологический и гидрогеологический мониторинг, который представляет оценку качества поверхностных и подземных вод. Также к видам можно добавить почвенный и биологический мониторинги, ведущие наблюдение за уровнем загрязнения почв, а также за состоянием флоры и фауны, биоразнообразия и биоиндикации загрязнения.

Такая многоуровневая структура позволяет проводить интегрированную оценку состояния окружающей среды и выявлять взаимосвязи между загрязнением воздуха, вод, почв и экосистем.

#### 2.4.1 Приборы и технологии мониторинга загрязняющих веществ в России

В России формирование системы мониторинга атмосферного воздуха базируется на нормативно-правовых требованиях и опирается на государственные и ведомственные сети наблюдений [13].

Основными элементами являются:

- Стационарные автоматизированные посты, размещённые в городах, промышленных зонах и фоновых районах; они оснащены многокомпонентными газоанализаторами и аэрозольными станциями, обеспечивают непрерывный контроль ключевых загрязняющих веществ ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  и др.).
- Передвижные лаборатории — автосредства с компактным оборудованием, применяемые при экстремальных ситуациях, проверке предприятий и оценке локальных источников.

- Региональные и корпоративные системы мониторинга, создаваемые крупными промышленными холдингами и муниципалитетами для внутреннего контроля и отчётности.

Сбор и обработка данных ведутся в автоматизированных системах, с последующей передачей в федеральные и региональные органы управления природопользованием.

Контроль загрязняющих веществ в атмосфере в России реализуется с применением как лабораторных, так и инструментальных методов.

- Физико-химические методы. К ним относятся спектрофотометрия, газо-хроматография и жидкостная хроматография, титриметрия, ИК-спектроскопия. Данные методы используются для точного определения содержания веществ в пробах воздуха.

- Инструментальные методы включают автоматические газоанализаторы разного типа: ультрафиолетовые и хемилюминесцентные анализаторы для  $\text{NO}_x$  и  $\text{O}_3$ ; инфракрасные и электрохимические газоанализаторы для  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ , углеводородов; аэрозольные мониторы по  $\text{PM}_{10}$  и  $\text{PM}_{2,5}$  на основе оптических и микровесовых методов.

Современные системы обеспечивают не только получение концентраций, но и расчёт превышения ПДК, формирование отчётных таблиц и индексов качества воздуха, например, AIQ, «индекс воздуха».

Из последних тенденции развития и инновационных технологий в России активно развиваются:

- мультисенсорные и мобильные системы, представляющие собой датчики качества воздуха на базе IoT-технологий, применяемые для плотной мониторинговой сети в городах;

- интеграция данных наземного мониторинга с дистанционными наблюдениями, которые базируются на спутниковой и авиационной съёмке для оценки пространственного распределения загрязнения и трансграничных переносов;

- цифровые платформы и системы искусственного интеллекта, используемые для прогнозирования качества воздуха и оптимизации мер по снижению выбросов.

Таким образом, развитие приборной базы и информационных технологий в России создаёт предпосылки для перехода от эпизодического контроля к полноценному интегрированному мониторингу с учётом международных подходов и требований экологического законодательства.

### 3 Исследование сезонного распределения концентраций загрязняющих веществ в Ленинградской области

#### 3.1 Анализ местоположения станции мониторинга

Для анализа качества атмосферного воздуха в Ленинградской области выбрана станция экологического мониторинга, расположенная по адресу Ленинградская область, г. Гатчина, ул. Авиатриссы Зверевой, д. 12А. Данные среднесуточных концентраций загрязняющих веществ и метеопараметров расположены в свободном доступе на официальном сайте Комитета по природным ресурсам Ленинградской области [14].

На рисунках 3.1 и 3.2 представлены карты расположения станции [15].

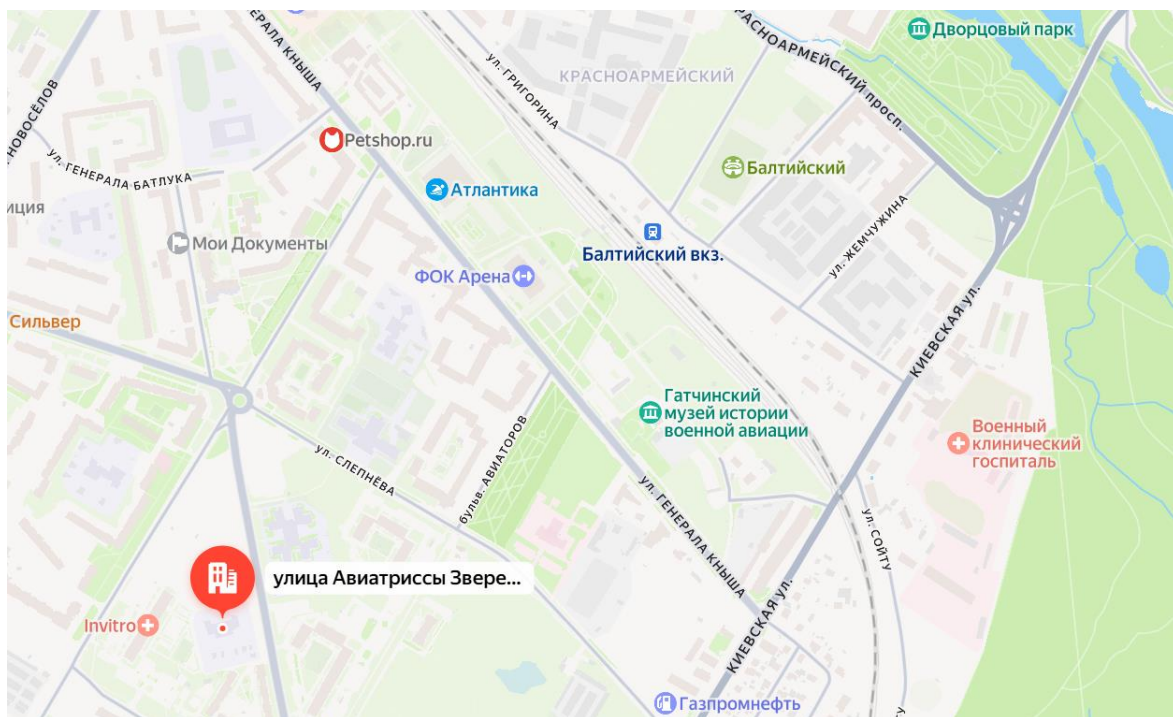


Рис. 3.1 Местоположение к северо-востоку от станции мониторинга

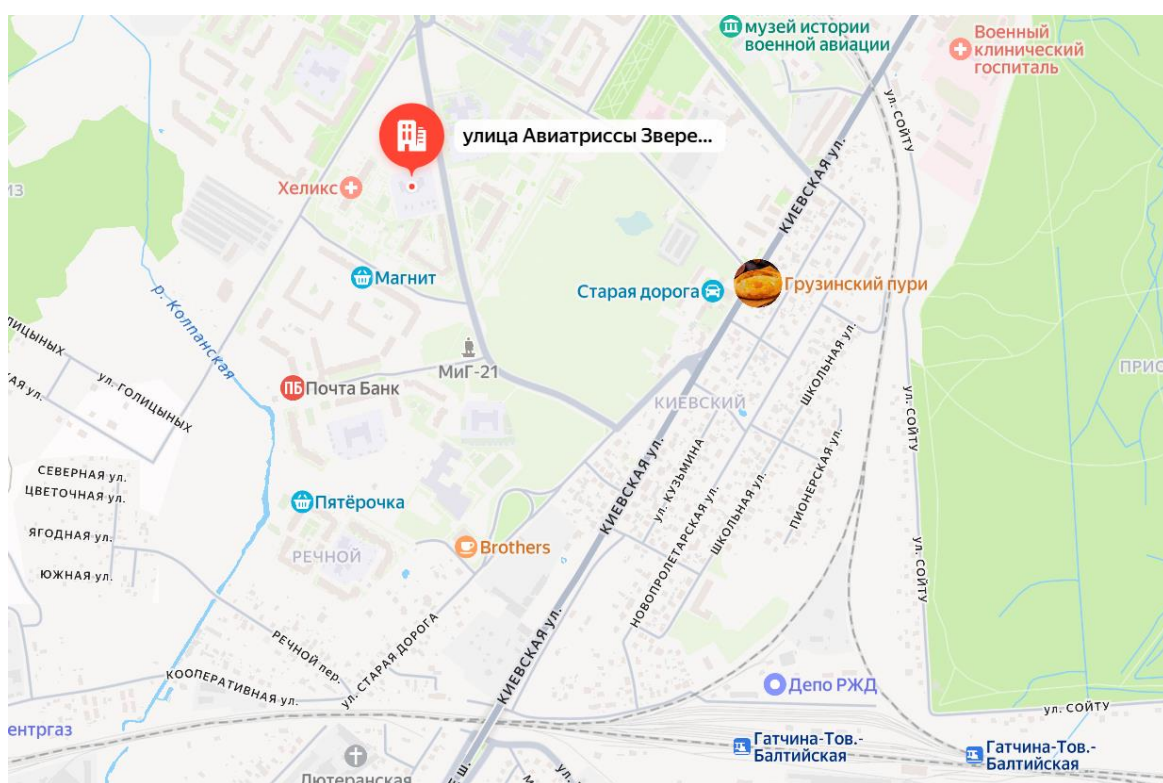


Рис. 3.2 Местоположение к югу от станции мониторинга

На картах, представленных на рис. 1 и 2 можно выделить, что локация наблюдения расположена в новом жилом районе, который представляет собой, на данный момент, не до конца обустроенную песчаную местность с редко

расположенными жилыми домами, главной дорогой и большим количеством парковочных мест. Сведения о песчаной местности могут говорить о наличии таких веществ как  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$ , а большое количество парковок и присутствие одной из главных дорог города — о наличии машин, с которыми связано выделение выхлопных газов, вследствие, повышение концентрации оксидов углерода (CO), оксиды азота ( $NO_2$ ) и твёрдых частиц (PM).

На рис. 3.1 отмечается наличие заправочной станции недалеко от исследуемого объекта. В выбросах могут быть сероводород, метан, углеводороды предельные C1–C5, C6–C10, C12–C19, амилены, бензол, ксилол, толуол и этилбензол.

Также, в радиусе 2-х километров к северо-востоку и юго-востоку от места расположения станции находятся железнодорожные вокзалы, которые хорошо прослеживаются на рис. 3.2: Балтийский и Товарно-Балтийский, и на юге Депо РЖД. С этим может быть связано увеличение оксидов азота ( $NO_2$ ) и углерода (CO), пыли, угарных и сернистых газов, аэрозолей металлов.

### 3.2 Оценка среднесуточных концентраций загрязняющих компонентов и метеорологических параметров

Оценка среднесуточных значений концентраций элементов загрязнения и метеорологических параметров подразумевают под собой отбор данных, содержащих сведения об уровнях загрязнителей и погодных показателях, на основе которых оценивается общая экологическая ситуация в регионе.

В ходе анализа среднемесячных концентраций загрязнителей и метеоусловий были рассмотрены следующие вещества:  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , CO,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2S$ , а также погодные характеристики: температура воздуха, атмосферное давление, влажность воздуха, скорость и направление ветра.

Некоторые элементы загрязнений при детальном рассмотрении были исключены, поскольку их значения слишком малы и их роль в анализе, и, в

целом, показала себя несущественной. К ним отнесли такие элементы, как  $\text{SO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ .

В качестве объектов изучения выбраны два сезона: зимний период 2024 – 2025 годов и летний сезон 2025 года. Такой подход обусловлен новизной данных, а также выраженными различиями в динамике сезонов, то есть их климатической зависимостью.

В ходе работы за выбранные периоды были проанализированы такие метеорологические параметры, как температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ), влажность воздуха (%), атмосферное давление (мм.рт.ст.), скорость ветра (м/с), направление ветра (град.) [16, 17].

Исходные таблицы с данными находятся в Приложении.

### 3.2.1 Анализ концентрации загрязняющих компонентов в зимний период

В зимний период проводился анализ концентраций загрязняющих компонентов по трём месяцам: декабрь 2024-го года; январь и февраль 2025-го года. Рассмотрены были такие загрязняющие параметры, как  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ . Размерность параметров указана в ПДК<sub>сс</sub>.

Графики со среднесуточной зависимостью временного хода концентраций загрязняющих компонентов по месяцам в зимний период представлены на рисунках 3.3-3.5.

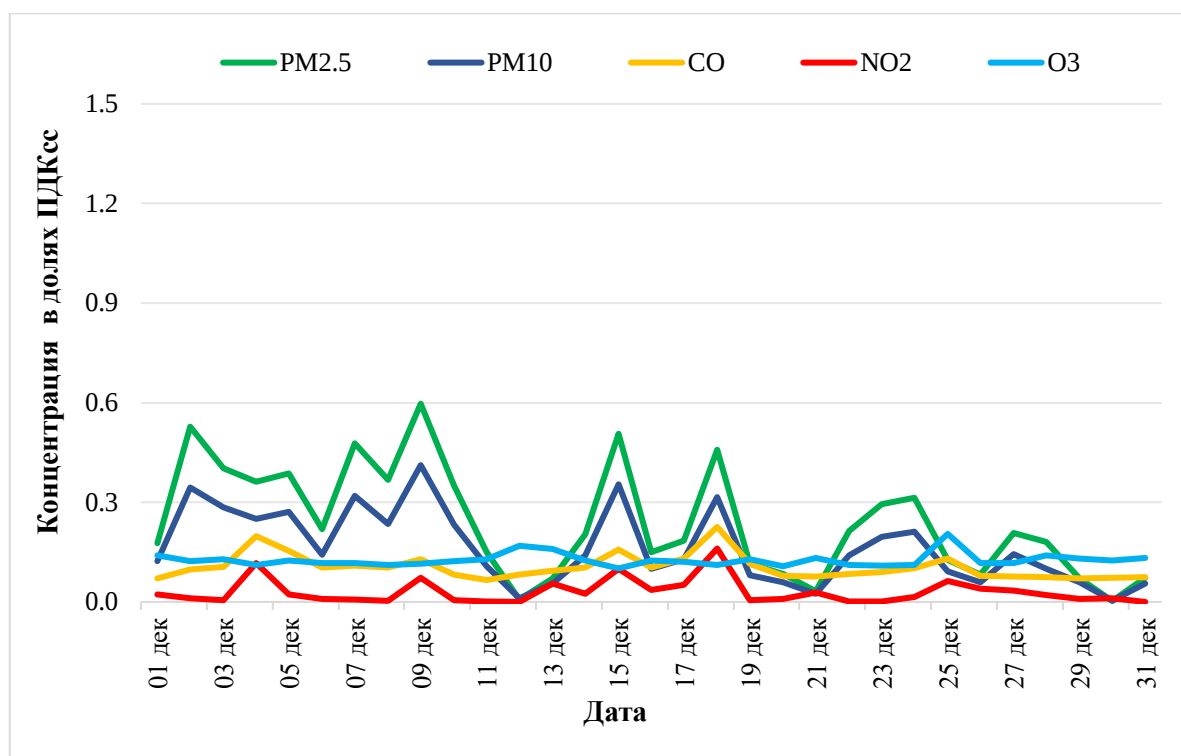


Рис. 3.3 Среднесуточный ход концентраций загрязнителей в декабре 2024 года

При анализе графика концентраций загрязняющих веществ, можно выделить некую хаотичность в динамике поведения ЗВ. Так, можно наблюдать общие пики загрязнений, характерные для конкретных дней.

Так, чётко фиксируется рост всех показателей в декабре: 9-го, 15-го и 18-го числа. Лидером по максимумам за весь интервал выступает  $PM_{2,5}$  — взвешенные твёрдые мелкие частицы и аэрозоли с хаотичным перемещением. Пик пришёлся на 9-е декабря — 0,60 ПДК<sub>сс</sub>, что стало наивысшей отметкой среди всех веществ в исследуемый период.

Вторым лидером по загрязнению за весь период стоит отметить вещество  $PM_{10}$  — взвешенные твёрдые крупные частицы в воздухе. Пик пришёлся так же на 9-е декабря и составил 0,41 ПДК<sub>сс</sub>.

Наименьшие показатели демонстрирует  $NO_2$  (оксид азота), колеблющийся в пределах от 0,01 до 0,11 ПДК<sub>сс</sub>.

Особо ровная и стабильная линия у  $O_3$  (озона). Наблюдались концентрации в диапазоне 0,10–0,17 ПДК<sub>сс</sub>.

Все остальные параметры принимали значения в указанных пределах (от минимума до максимума) и не превышали допустимые нормы.

Таким образом, подведём итоги:

- Максимальные значения —  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  (0,60 и 0,41 ПДК<sub>сс</sub>);
- Минимальные значение —  $NO_2$  (0,01 ПДК<sub>сс</sub>);
- Равномерное распределение концентрации —  $CO$  и  $O_3$ .

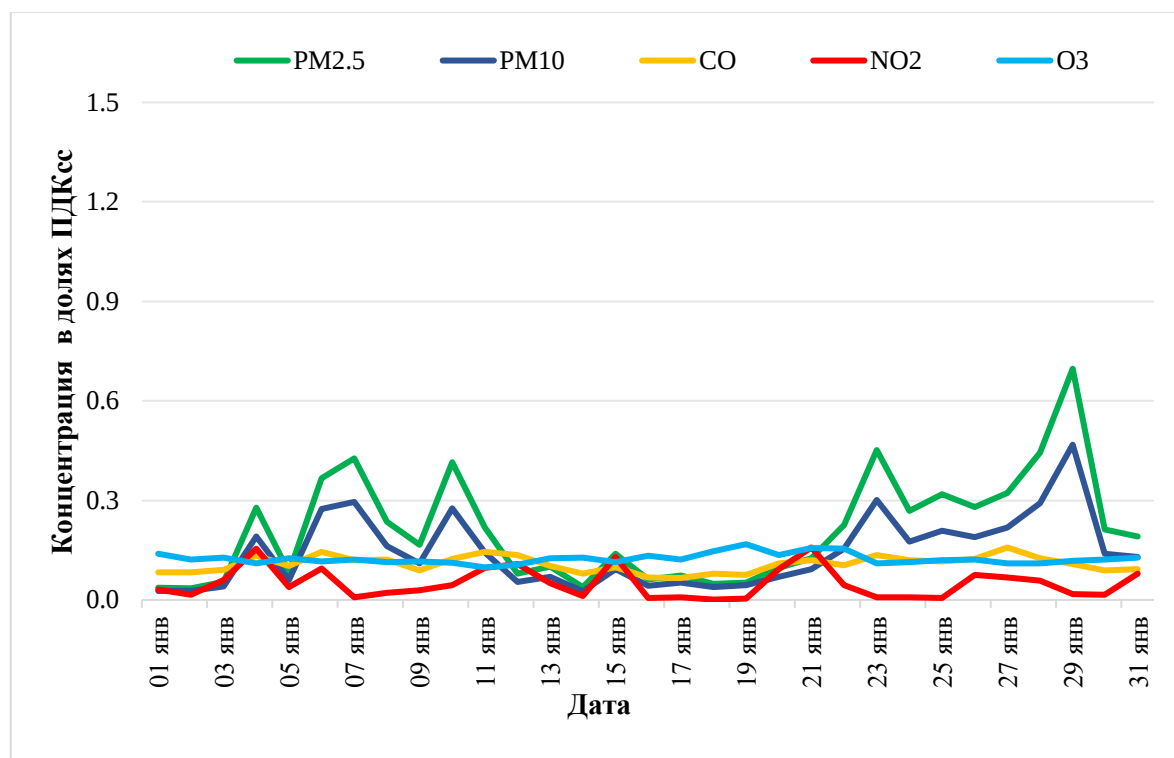


Рис. 3.4 Среднесуточный ход концентраций загрязнителей в январе 2025 года

Временная зависимость в январе 2025-го года акцентирует своё внимание на трёх ярко-выраженных периодах с наибольшей и наименьшей концентрацией загрязняющих компонентов графика. Первый период длился с 3-го по 11-е января. Второй с 12-го по 22-е января. Третий же наблюдался с 22-го по 30-е января.

Анализируя первый временной интервал, видно, что наибольшие уровни достигают концентрации  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  — это мелкие взвешенные частицы и аэрозоли, а также крупные фракции. Заметны три выделяющихся максимума по  $PM_{2.5}$ : 4-го января показатель составил 0,28 ПДК<sub>сс</sub>, 7-го — 0,43 ПДК<sub>сс</sub> и 10-го —

0,42 ПДК<sub>сс</sub>. Наименьшие отметки в рассматриваемом отрезке зафиксированы по компоненту NO<sub>2</sub> (оксид азота) и равнялись 0,01 ПДК<sub>сс</sub>.

Концентрации СО (оксид углерода) и О<sub>3</sub> (озон) варьировались равномерно в довольно узком диапазоне по всему выбранному периоду — от 0,09 до 0,14 ПДК<sub>сс</sub>.

Теперь рассмотрим второй временной промежуток. В нём отмечается общее снижение уровней загрязняющих компонентов. Ранее выделявшиеся пики по РМ<sub>2.5</sub> и РМ<sub>10</sub> теперь приобретают незначительные значения — от 0,03 до 0,13 ПДК<sub>сс</sub>. Одним из наиболее высоких показателей в этот период становится NO<sub>2</sub> (оксид азота) — 0,11 ПДК<sub>сс</sub>.

Остальные параметры (СО и О<sub>3</sub>) демонстрируют предельно выровненное поведение, без выраженных колебаний.

Третий временной интервал характеризуется максимальными значениями за весь месяц. Так же, как и в первом периоде, лидируют РМ<sub>2.5</sub> и РМ<sub>10</sub> — мелкие и крупные частицы в атмосфере. Всплески пришлись на 23-е января: РМ<sub>2.5</sub> достиг 0,45 ПДК<sub>сс</sub>, РМ<sub>10</sub> — 0,30 ПДК<sub>сс</sub>. В дальнейшем картина практически аналогична первому периоду: наименьшие величины принимает NO<sub>2</sub> (оксид азота) — в диапазоне 0,01–0,02 ПДК<sub>сс</sub>, тогда как СО (оксид углерода) и О<sub>3</sub> (озон) демонстрируют ровное, слабо изменяющееся распределение концентраций в пределах 0,09–0,16 ПДК<sub>сс</sub>.

Так, можем подвести итог анализа концентраций за январь:

- Максимальные значения – РМ<sub>2.5</sub> и РМ<sub>10</sub> (0,45 и 0,30 ПДК<sub>сс</sub>)
- Минимальные значения – NO<sub>2</sub> (0,01 ПДК<sub>сс</sub>)
- Равномерное распределение концентрации – СО и О<sub>3</sub>.
- Нормы предельно-допустимых значений соблюдены.
- В некоторых случаях элементы РМ<sub>2.5</sub> и РМ<sub>10</sub>, и NO<sub>2</sub> имеют обратную зависимость.

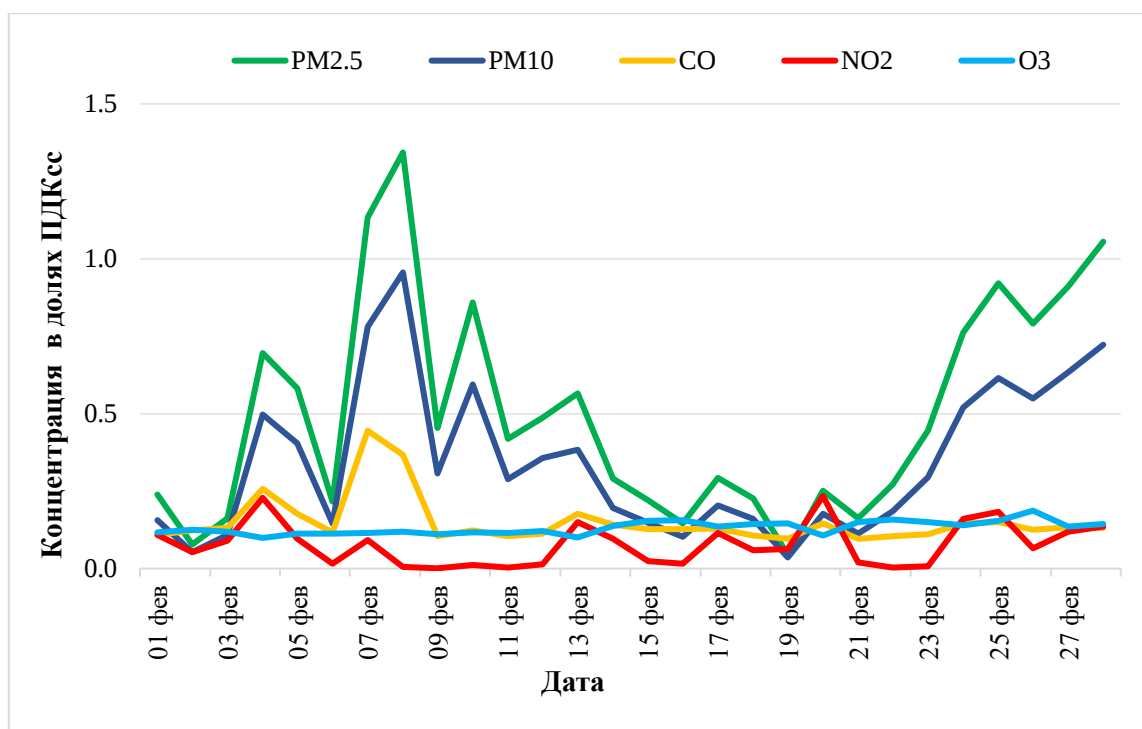


Рис. 3.5 Среднесуточный ход концентраций загрязнителей в феврале 2025 года

Концентрации загрязняющих компонентов в феврале демонстрируют иную картину по сравнению с предыдущими месяцами. Наибольшие значения преодолевают уровень 1,0 ПДК<sub>сс</sub>. Среди пиков среднемесячных концентраций выделяются РМ<sub>2.5</sub> и РМ<sub>10</sub>. Максимальные отметки приходятся на мелкие взвешенные частицы (РМ<sub>2.5</sub>): 1,34 ПДК<sub>сс</sub> — 8-го февраля и 1,06 ПДК<sub>сс</sub> — 28-го февраля.

Одновременно наблюдается спад ведущих параметров по другим фракциям. В частности, РМ<sub>10</sub> — крупные твёрдые частицы пыли и пыльцы — показывают одни из самых низких уровней за весь зимний сезон: 0,08 ПДК<sub>сс</sub> — 2-го февраля и 0,05 ПДК<sub>сс</sub> — 19-го февраля.

Наименьшие величины, как и ранее, сохраняются у компонента NO<sub>2</sub> (оксид азота), чьи значения находятся в интервале от 0,01 до 0,23 ПДК<sub>сс</sub>.

Отмечается также рост концентрации загрязнителя СО (оксид углерода). Его показатели достигают максимальных значений за весь зимний период: 0,26 ПДК<sub>сс</sub> — 4-го февраля и 0,45 ПДК<sub>сс</sub> — 7-го февраля.

Равномерное поведение сохраняется у вещества  $O_3$  (озон). Его уровни колеблются в узком диапазоне от 0,10 до 0,19 ПДК<sub>сс</sub>, без выраженных всплесков.

В связи с этим можем подвести итоги анализа по графику за февраль:

- Максимальные значения —  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  (1,34 и 0,96 ПДК<sub>сс</sub>);
- Минимальные значение —  $NO_2$  (0,01 ПДК<sub>сс</sub>);
- Равномерное распределение концентрации —  $O_3$ .
- Увеличение концентрации элемента  $CO$ . Максимум — 0,45 ПДК<sub>сс</sub> за

весь сезон.

Итоговый анализ среднесуточного хода концентраций ЗВ за зимний период:

Анализ концентрации загрязняющих веществ в зимний период (декабрь 2024 – февраль 2025) демонстрирует выраженную сезонную динамику, связанную с антропогенной нагрузкой. Общая картина свидетельствует о том, что, несмотря на периодические всплески концентраций, предельно допустимые нормы (ПДК<sub>сс</sub>) в целом соблюдались.

В табл. 3.1 представлена динамика концентраций загрязняющих веществ в зимний период.

Таблица 3.1 Динамика основных загрязнителей в зимний сезон

| Загрязняющий компонент      | Характер динамики и уровни                                                          | Основные факторы влияния                               |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| $PM_{2.5}$ (мелкие частицы) | Лидер по концентрациям; пиковые значения до 1,34 ПДК <sub>сс</sub> в феврале.       | Отопительный сезон, накопление пыли.                   |
| $PM_{10}$ (крупные частицы) | Значительные колебания (до 0,96 ПДК <sub>сс</sub> ); максимумы в декабре и феврале. | Механическое накопление, отсутствие осадков.           |
| $CO$ (оксид углерода)       | Устойчивый рост к концу зимы; 0,45 ПДК <sub>сс</sub> в феврале.                     | Рост выбросов от отопительных систем и автотранспорта. |

|                               |                                                               |                                                  |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| NO <sub>2</sub> (оксид азота) | Стабильно низкие показатели (0,01–0,23 ПДК <sub>сс</sub> ).   | Стабильный локальный трафик.                     |
| O <sub>3</sub> (озон)         | Наиболее равномерный параметр (0,09–0,19 ПДК <sub>сс</sub> ). | Отсутствие интенсивных фотохимических процессов. |

Особенности сезонного развития:

- Декабрь: характеризовался хаотичной динамикой с общими пиками концентраций (9, 15, 18 декабря). Мелкие твердые частицы (PM<sub>2.5</sub>) достигли первого сезонного максимума в 0,60 ПДК<sub>сс</sub>, что стало отправной точкой для оценки зимнего накопления примесей.
- Январь: выявил три четких периода загрязнения, связанных с вариациями антропогенной активности. Зафиксирована «обратная зависимость» между содержанием оксида азота и твердыми частицами, что может указывать на смену режимов накопления и рассеивания загрязнителей.
- Февраль: стал наиболее сложным периодом с точки зрения качества воздуха. Зафиксировано превышение нормы ПДК<sub>сс</sub> по PM<sub>2.5</sub> (1,34 ПДК<sub>сс</sub>), сопровождавшееся ростом концентрации оксида углерода (CO). Это объясняется накоплением загрязнителей в приземном слое, характерным для конца зимнего сезона.

В целом, зимний период характеризуется повышенным накоплением твердых частиц (PM), что объясняется увеличением эмиссии от систем отопления. Оксид углерода (CO) показал тенденцию к росту к концу сезона, тогда как озон (O<sub>3</sub>) сохранял неизменную фоновую концентрацию, что подтверждает отсутствие влияния интенсивных фотохимических процессов в зимнее время.

### 3.2.2 Анализ метеорологических параметров в зимний сезон

В зимний период на концентрацию веществ существенное влияние оказали следующие метеопараметры: температура воздуха, влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра.

На основе отобранных данных построены среднесуточные графики с указанными параметрами, для удобства сравнения приведены параметры сразу всех трёх месяцев.

Графики, отражающие среднесуточный ход метеорологических параметров представлены на рис. 3.6 – 3.10.

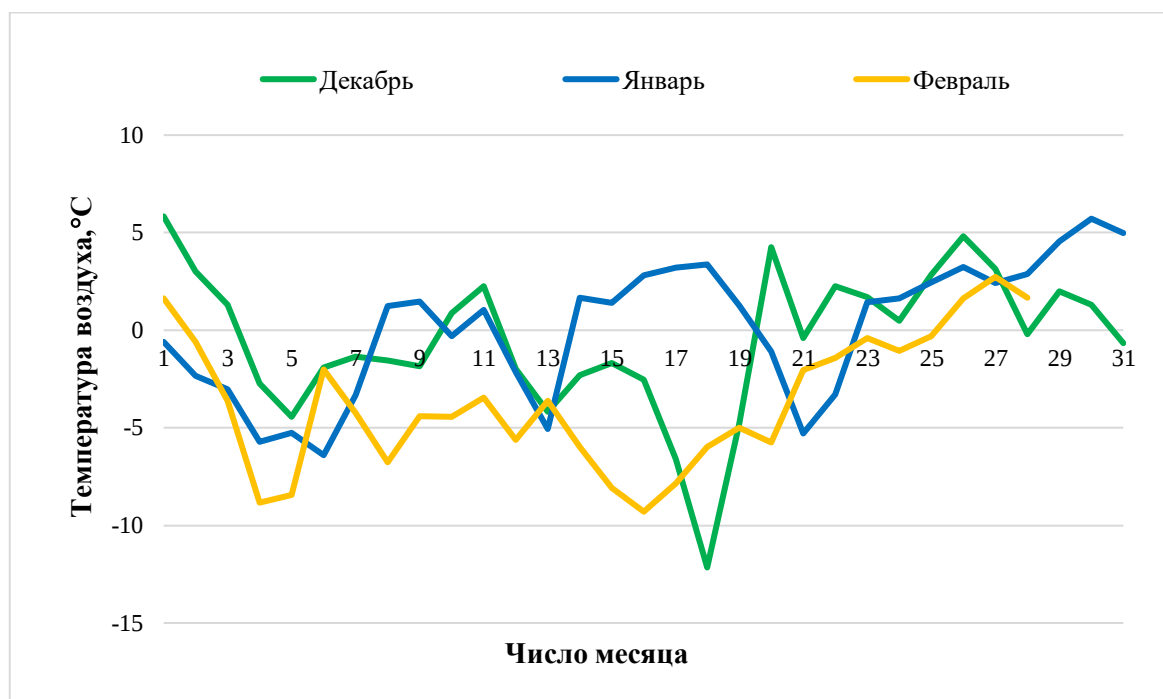


Рис. 3.6 Среднесуточный ход температуры воздуха в зимний период

В декабре 2024 года, пик тепла пришёлся на 1-е число — тогда температура достигла 5,8 °C. Затем, ближе к середине, на 11-е число наблюдался второй подъём до 2,2 °C. В этот начальный интервал, с 1-го по 11-е декабря, минимальный уровень опустился до -4,4 °C. Далее, начиная с 11-го и до 18-го числа декабря, показатель постепенно снижался, дойдя до абсолютного минимума в -12,2 °C. После этого началось потепление: так, с 20-го по 30-е числа отрицательные значения полностью отсутствовали.

В январе 2025 года отчётливо прослеживается среднесуточный ход температуры воздуха. Так пик и максимум температур пришелся на дни с 8-го по 12-е января и составил 1,5 °С (9 число), второй пик наблюдался с 14-го по 19-е января, максимальное значение которого составило 3,4 °С (18 число), третий пик характеризует себя наличием абсолютного максимума в 5,7 °С (30 число), который пришёлся в период с 23-го по 31-е января. В это время минимальные значения пришлись на 4-е января (-5,7°С), 6-е января (-6,4 °С), 13-е января (-5,1 °С) и 21-е января (-5,3 °С).

Февраль 2025 года по среднесуточному ходу охарактеризовал себя в качестве самого холодного месяца за весь период как по максимальным, так и по минимальным отметкам. Температура со знаком «+» фиксировалась только 1-го числа (1,6 °С) и в период с 26-го по 28-е числа в диапазоне от 1,6 °С до 2,7 °С. Отрицательные показатели видны на протяжении всего остального отрезка (2 – 25-е января). Температура воздуха варьировалась от -0,3 °С до -9,3 °С. Минимум в -8,8 был зафиксирован 4-го числа, а абсолютный минимум в -9,3 °С пришелся на 16-е число месяца.

Итоги анализа температуры воздуха за зимний период:

- Самый тёплый месяц в зимнем периоде – январь;
- Самый холодный месяц в зимнем периоде – февраль;
- Месяц с наибольшими колебаниями температуры воздуха – декабрь.

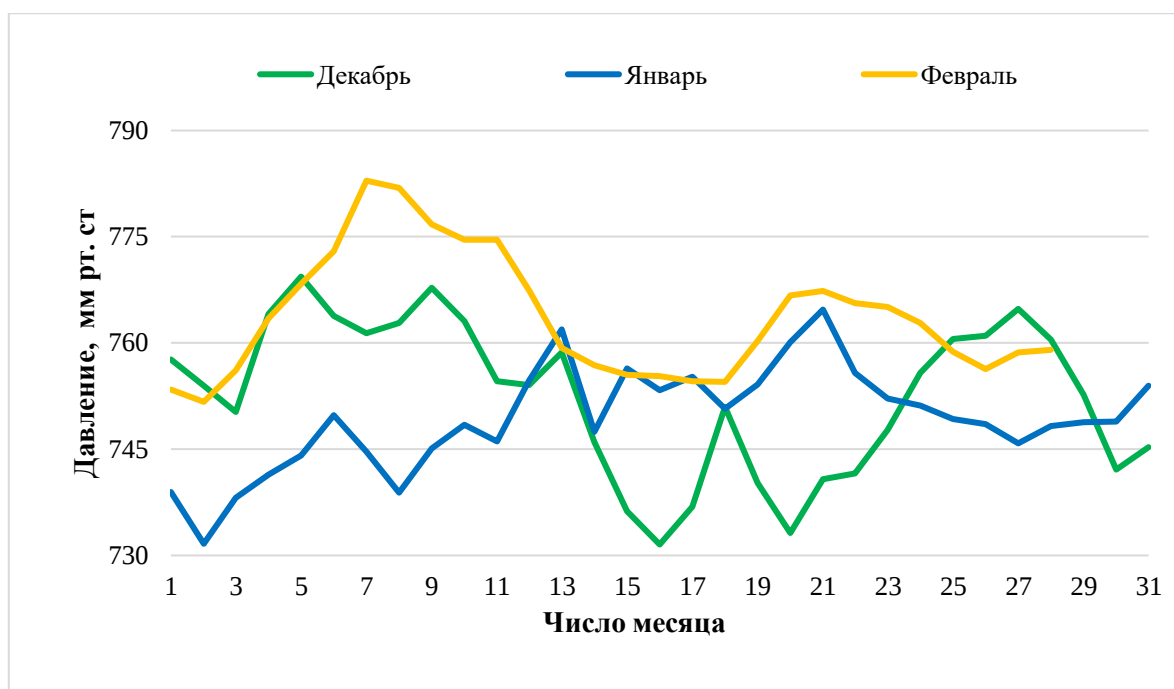


Рис. 3.7 Среднесуточный ход атмосферного давления воздуха в зимний период

Атмосферное давление воздуха в декабре 2024 года колебалось между 731 и 769 мм рт. ст. Наивысшие отметки фиксировались в числах декабря с 4-го по 10-е, а также с 25-го по 28-е, и составили 769, 767 и 764 мм рт. ст. соответственно. Минимальные значения давления, находившиеся ниже отметки в 750 мм рт. ст., приходились в период с 14-го по 23-е чисел декабря, опускаясь до 731 и 733 мм рт. ст.

Показатели атмосферного давления в январе 2025 года выявляют некую динамику: в начале месяца значения постепенно возрастали, достигая пика к середине периода, после чего к концу месяца вновь снижались. Максимумы зафиксированы 13 января (762 мм рт. ст.) и 21 января (764 мм рт. ст.). Низшие отметки приходились на 1 января (739 мм рт. ст.), 2 января (731 мм рт. ст.) и 8 января (738 мм рт. ст.).

Поле атмосферного давления в феврале 2025 года указывает на самые высокие значения среди всех месяцев. Исходя из этого можно сделать вывод, что огромное влияние оказывала антициклоническая активность. Так февраль был самым солнечным и самым холодным месяцем, как мы уже выяснили это ранее из графика по температуре воздуха. Максимальные значения приходились

на период с 5-го по 12-е февраля. Минимальная отметка зафиксирована 2-го февраля – 751 мм рт. ст.

Подведём итоги анализа атмосферного давления воздуха в зимний период:

- Месяц с самыми высокими значениями атмосферного давления – февраль;
- Месяц с самыми низкими значениями атмосферного давления – январь;
- Месяц с наиболее выраженными колебаниями атмосферного давления – декабрь.

Таким образом, можно отметить, что в зимнее время графики среднесуточного хода температуры воздуха и атмосферного давления имеют обратную зависимость. Для антициклонической деятельности характерны месяца с наиболее низкой температурой воздуха. Циклоническая активность, наоборот, выражается более высокими температурами, характерными для зимы.

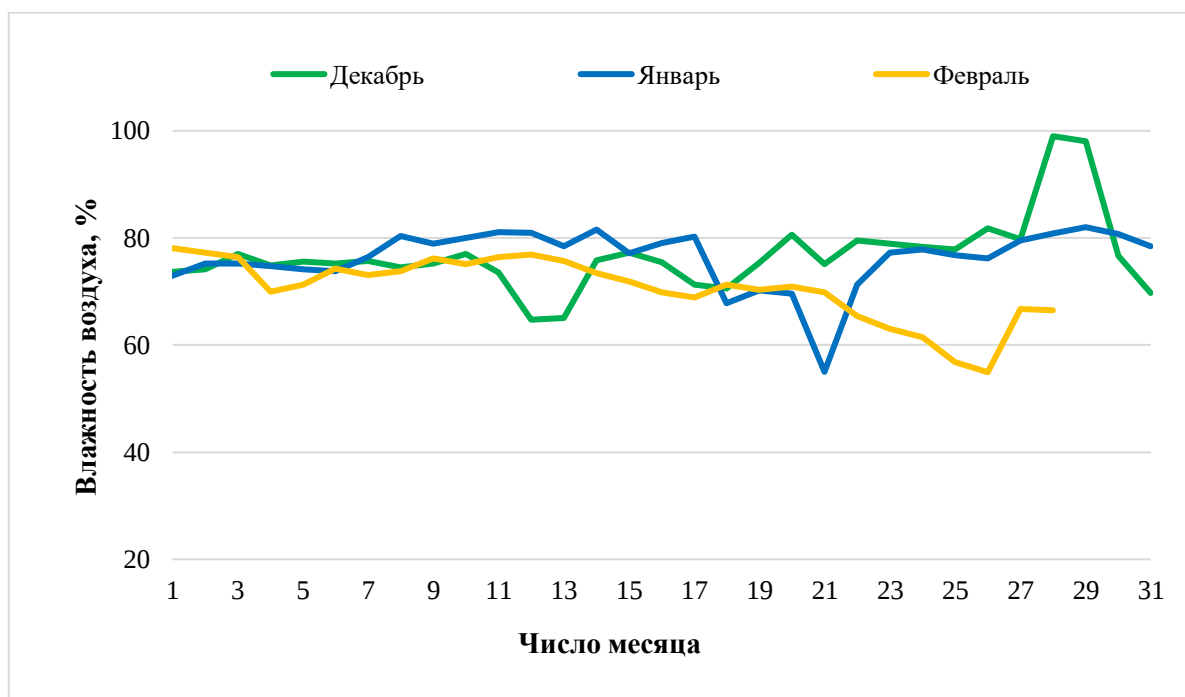


Рис. 3.8 Среднесуточный ход влажности воздуха в зимний период

Общие колебания влажности воздуха в зимний период составляют от 54,94% – самой низкой точки (26 января) – до 99% – самой высокой точки (28 декабря).

Стоит отметить, что в первой половине каждого месяца (с 1-го по 20-е число) влажность ведёт себя относительно равномерно, без резких скачков, в пределах 64,7% – 81,5%. Затем, после 20-го числа каждого месяца начинаются резкие колебания.

Так, с 27-го по 28-е декабря значение влажности резко возросло с 79,7% до 99%. Далее, держалось около 98% в течение двух дней и к 31-му декабря опустилось до 69,3%.

В январе существенное падение влажности пришлось на период с 19-го по 21-го января: 70% – 55%, а 22-го января показатель уже составил 71,3%.

Февраль 2025-го года отличился значительным снижением влажности в период с 20-го по 26-е число: колебания находились в диапазоне 70% – 55%.

Итог анализа среднесуточного хода влажности воздуха в зимний период:

- Месяц с самыми высокими показателями влажности воздуха – декабрь.
- Месяц с самыми низкими показателями влажности воздуха – февраль.
- Месяц с наиболее выраженными колебаниями влажности воздуха – декабрь.

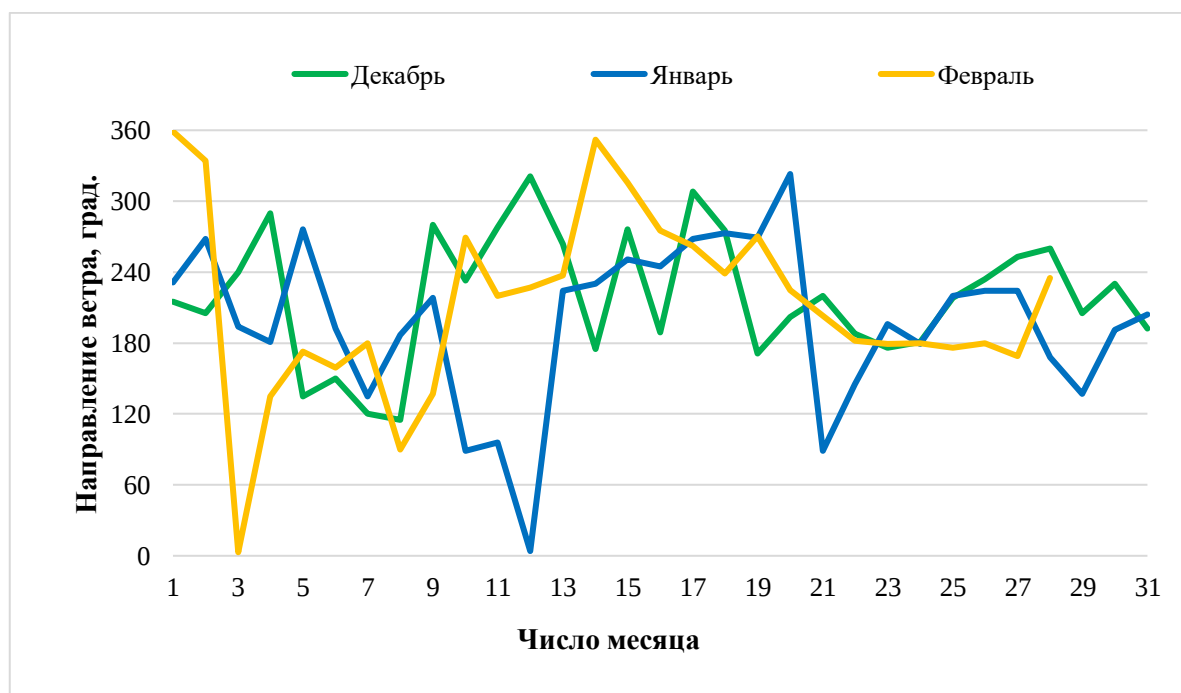


Рис. 3.9 Среднесуточный ход направления ветра в зимний период

Направление ветра в декабре 2024 года характеризовалось преобладанием юго-западных и западных потоков, что типично для циклонной активности. В период с 14-го по 23-е число, когда атмосферное давление было минимальным, доминировали юго-западные ветры ( $200^{\circ}$ – $240^{\circ}$ ), способствуя относительному потеплению. Наивысшая частота северных и северо-восточных направлений ( $0^{\circ}$ – $60^{\circ}$ ) фиксировалась в антициклональные периоды с 4-го по 10-е и с 25-го по 28-е декабря, что коррелировало с высокими отметками давления и похолоданием.

В январе 2025 года среднесуточный ход ветра выявлял чередование: в начале месяца (1–8 января) преобладали южные и юго-западные ветры ( $180^{\circ}$ – $240^{\circ}$ ), особенно 1-го ( $200^{\circ}$ ) и 2-го ( $220^{\circ}$ ) января, на фоне низкого давления. К середине месяца (13–21 января) усилились северо-восточные ветры ( $30^{\circ}$ – $60^{\circ}$ ), достигая пика частоты 13 января ( $45^{\circ}$ ), что совпадало с максимумами давления. К концу января вновь активизировались западные направления ( $270^{\circ}$ ), отражая циклоническую динамику.

Поле направлений ветра в феврале 2025 года указывает на доминирование северных и северо-восточных потоков ( $0^{\circ}$ – $70^{\circ}$ ), особенно в период с 5-го по 12-е число, что обусловлено интенсивной антициклонической деятельностью. Этот месяц оказался самым стабильным по ветровым направлениям, с минимальной частотой южных ветров. Наиболее выраженный юго-западный эпизод зафиксирован 2-го февраля ( $210^{\circ}$ ), на фоне минимального давления.

Подведём итоги анализа направления ветра в зимний период:

- Месяц с преобладанием северных/северо-восточных ветров (антициклональная активность) – февраль;
- Месяц с доминированием южных/юго-западных ветров (циклонная активность) – январь;
- Месяц с наиболее выраженными сменами направлений – декабрь.

Таким образом, в зимний период направление ветра тесно связано с динамикой атмосферного давления: антициклоны способствуют приходу

северных ветров и похолоданию, тогда как циклоны активизируют юго-западные ветры с относительным потеплением, подтверждая обратную связь с суточным ходом температуры воздуха.

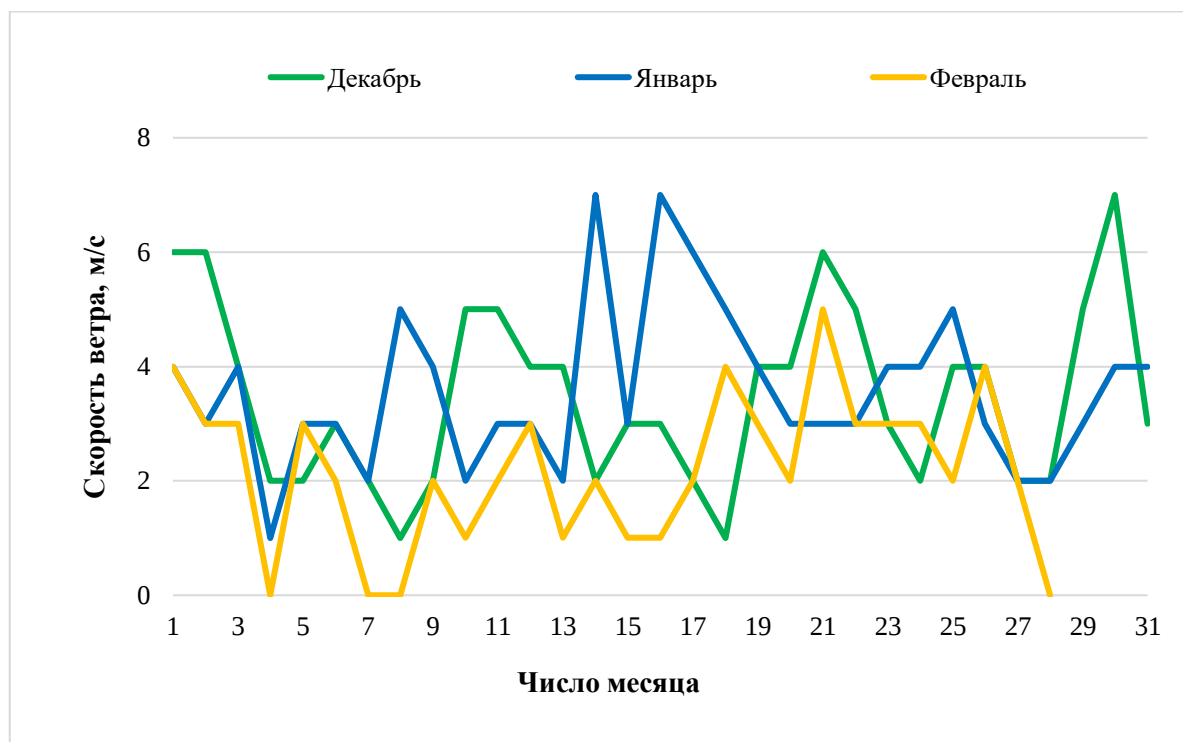


Рис. 3.10 Среднесуточный ход скорости ветра в зимний период

Скорость ветра в декабре 2024 года колебалась от 1 до 7 м/с. Наивысшие значения фиксировались в период с 1-го по 2-е числа декабря и значение составило 6 м/с, с 21-го по 22-е число аналогично (6 м/с). Максимальное значение достигло 7 м/с 30-го декабря. Минимальные скорости (1–3 м/с) наблюдались с 4-го по 9-е и с 14-го по 18-е декабря и, также, с 23-го по 28-е чисел декабря.

В январе 2025 года динамика скорости ветра была нестабильной: минимальные скорости (1–2 м/с) наблюдались в начале и конце месяца: 4-го февраля, с 10-го по 13-е и с 17-го по 28-е января. Ветры усиливались к середине месяца (до 5–7 м/с 14 и с 16-го по 18-е января), достигая максимума 7 м/с 14-го и 16-го января. Минимальное значение (1 м/с) фиксировалось в период затишья 4-го января.

В феврале 2025 года скорость ветра была самой низкой среди зимних месяцев – преимущественно 1–3 м/с, с пиком 4 м/с в период с 1-го по 20

февраля и с 22-го по 28-е числа месяца. Максимальная отметка 5 м/с пришлась на 21 февраля.

Подведём итоги анализа скорости ветра в зимний период:

- Месяц с самыми низкими скоростями ветра – февраль;
- Месяц с самыми высокими скоростями ветра – декабрь;
- Месяц с наиболее выраженными колебаниями скорости – январь.

Так, в зимний период скорость ветра коррелирует с температурным режимом: сильные ветры (10–12 м/с) связаны с периодами относительного потепления, а слабые (1–4 м/с) – с похолоданием.

Итоговый анализ метеорологических параметров за зимний период:

На основе среднесуточных графиков (декабрь 2024 – февраль 2025) зима характеризовалась высокой изменчивостью метеоэлементов с доминированием циклонической-антициклонической динамики.

Барометрическая и температурная структура:

Декабрь показал максимальные колебания давления (731–769 мм рт. ст.) и температуры (+5,8 °С до -12,2 °С), январь – минимальное давление (731 мм рт. ст.) и наибольшие оттепели (+5,7 °С), февраль – устойчиво высокое давление с предшествующими морозами (-9,3 °С). Обратная зависимость Т и Р очевидна: декабрю–январю были присущи циклоны, что вело местами к потеплению, а февралю охарактеризовал себя как самый морозный месяц с хорошо выраженной антициклонической активностью, которая привела к похолоданию.

Влажностный и ветровой режим:

Влажность варьировала от 55% (февраль–январь) до 99% (декабрь), с резкими скачками после 20-го числа каждого месяца. Направление ветра: юго-западное в циклонных декабре–январе (180°–240°), северо-восточное в антициклонном феврале (0–70°). Скорость: до 7 м/с в декабре и январе (пики 1–2 и 14–16 января), минимальная 1–3 м/с в феврале.

Общая стратификация:

Декабрь: нестабильность, циклонные вторжения, максимальные амплитуды всех параметров.

Январь: циклонная активность, оттепели, слабое давление и ветровые пики.

Февраль: антициклонное господство, холода, стабильность (низкие скорости ветра, влажность).

Зима отражает классический цикл умеренного климата: переход от неустойчивого предзимья к устойчивому глухозимью через циклонический перелом.

### 3.2.3 Анализ концентрации загрязняющих компонентов в летний период

В летний период проводился анализ концентраций загрязняющих компонентов по трём месяцам: июнь, июль и август 2025-го года. Рассмотрены были такие загрязняющие параметры, как  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , CO,  $NO_2$ ,  $O_3$ . Размерность параметров указана в ПДК<sub>сс</sub>.

Графики со среднесуточной зависимостью временного хода концентраций загрязняющих компонентов по месяцам в летний период представлены на рисунках 3.11 – 3.13.

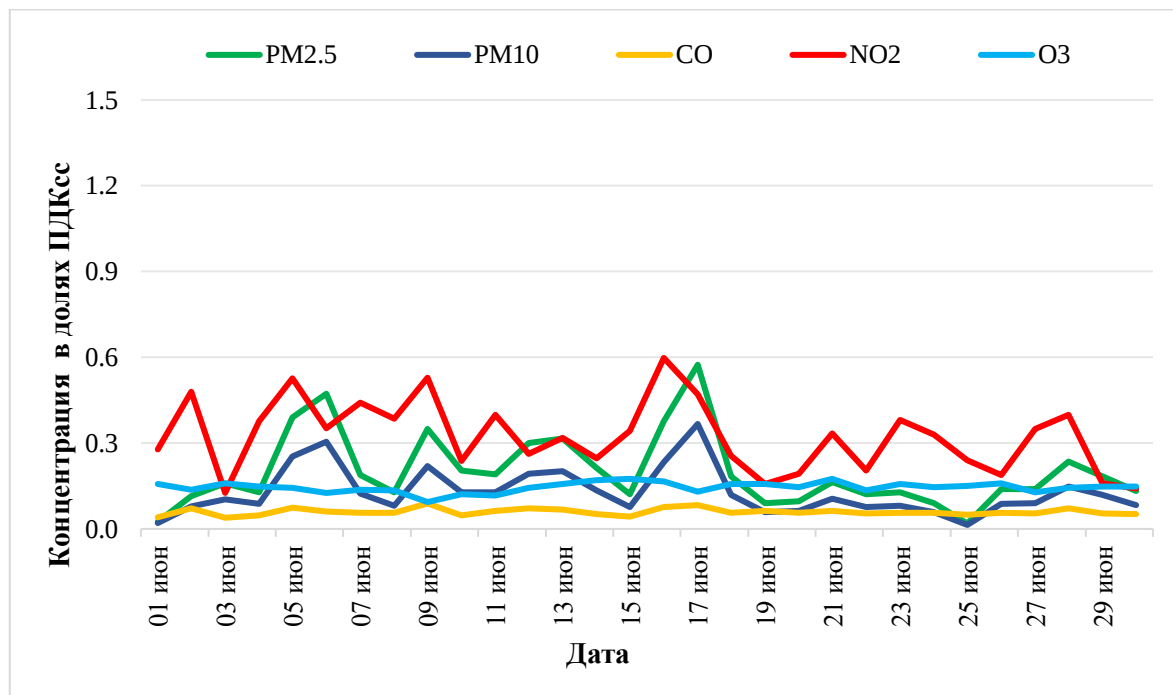


Рис. 3.11 Среднесуточный ход концентраций загрязнителей в июне 2025 года

Концентрация загрязняющих веществ в июне месяце охарактеризована невысокими значениями на протяжении всего исследуемого периода. Так, анализируемые параметры концентрации не переступают порог в 0,60 ПДК<sub>сс</sub>. Отмеченного значения достигает показатель NO<sub>2</sub> 16-го июня (понедельник), который характеризует себя как оксид азота. О повышении концентрации данного параметра может говорить увеличение движения автотранспорта на дорогах, что вызывает собой появление выхлопных газов в воздушном пространстве.

Значения в 0,57 ПДК<sub>сс</sub> 17-го июня (вторник) достигает параметр PM<sub>2.5</sub> (твёрдые мелкие частички в воздухе). Наличие пыли в летний период, а особенно в нашей местности, где находится большое количество песчаных пустырей, увеличение количества движения на дорогах в эти дни может спровоцировать увеличение концентрации отмеченного показателя.

Минимальные значения концентраций принимают параметры PM<sub>10</sub> (твёрдые крупные частички в воздухе) и PM<sub>2.5</sub> 25-го июня (среда). И составляют 0,01 и 0,02 ПДК<sub>сс</sub> соответственно. Такое явление можно обусловить отсутствием какого-либо движения на главной улице, где проводилось само исследование.

Наиболее равномерные значения концентрации принимает параметр СО – оксид углерода или угарный газ. Исследования показали 0,04-0,09 ПДК<sub>сс</sub>. Такие маленькие концентрации могут говорить о существенном наличии кислорода в районе, и отсутствии крупной промышленной деятельности на его территории.

Средние и относительно равномерные значения имеет параметр О<sub>3</sub>. Концентрация озона (О<sub>3</sub>) изменяется с 0,09 по 0,18 ПДК<sub>сс</sub> на протяжении всего месяца, что может говорить о благоприятной воздушной обстановке в районе мониторинга.

Подведём итоги по анализу концентраций за июньский период:

- Максимальные значения – NO<sub>2</sub> и PM<sub>2.5</sub> (0,60 и 0,57 ПДК<sub>сс</sub>)
- Минимальные значения – PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub> (0,04 ПДК<sub>сс</sub>)
- Равномерное распределение концентрации – СО и О<sub>3</sub>.

- Предельно-допустимые нормы соблюдены.

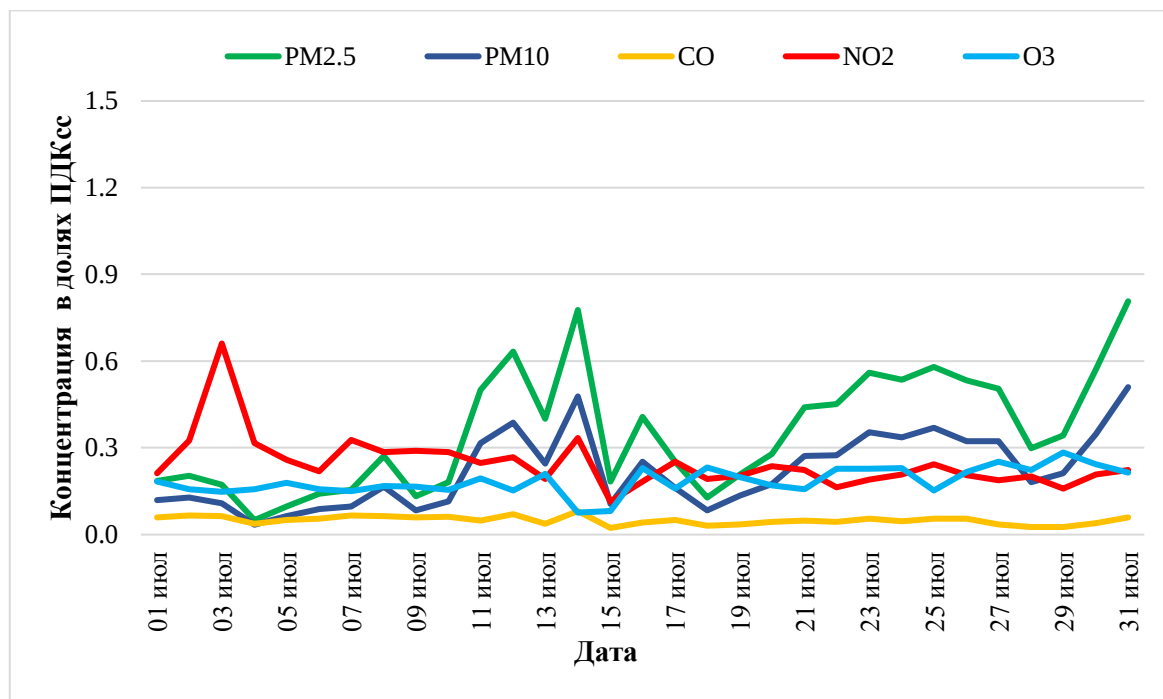


Рис. 3.12 Среднесуточный ход концентраций загрязнителей в июле 2025 года

Концентрация загрязняющих веществ в июне 2025 года сохраняла низкие значения, не превышая 1,0 ПДК<sub>сс</sub> на протяжении всего месяца. Максимальные отметки зафиксированы для NO<sub>2</sub> 3-го июля (0,66 ПДК<sub>сс</sub>, понедельник) – оксид азота, что может быть связано с повышенной интенсивностью автотранспорта и выбросами выхлопных газов в будний день.

PM<sub>2.5</sub> (мелкие твердые частицы) достигли пика 0,78 и 0,81 ПДК<sub>сс</sub> 14-го июля (понедельник) и 31-го июля (четверг), отражая влияние дорожной пыли от интенсивного движения в летний период. Загрязнитель PM<sub>10</sub> демонстрирует аналогичную модель поведения, однако уже с меньшими значениями. Пики приходятся на те же числа июля, но даже не переходят границы в 0,6 ПДК<sub>сс</sub>. Минимальные значения PM<sub>10</sub> и PM<sub>2.5</sub> составили 0,03 и 0,05 ПДК<sub>сс</sub> 4-го июля (пятница), что объясняется снижением трафика на измеряемой магистрали.

CO (оксид углерода) демонстрировал наиболее стабильные значения в диапазоне 0,02–0,08 ПДК<sub>сс</sub>, указывая на высокий уровень содержания кислорода воздуха и отсутствие значительной промышленной нагрузки в

районе мониторинга. О<sub>3</sub> (озон) изменялся равномерно от 0,08 до 0,28 ПДК<sub>сс</sub>, подтверждая благоприятную фоновую воздушную обстановку.

Подведём итоги анализа концентраций за июльский период:

- Максимальные значения – NO<sub>2</sub> (0,66 ПДК<sub>сс</sub>) и PM<sub>2.5</sub> (0,81 ПДК<sub>сс</sub>);
- Минимальные значения – СО (0,02 ПДК<sub>сс</sub>) и PM<sub>10</sub> (0,03 ПДК<sub>сс</sub>);
- Равномерное распределение – СО и О<sub>3</sub>;
- Все параметры не превышали предельно допустимые нормы ПДК<sub>сс</sub>.

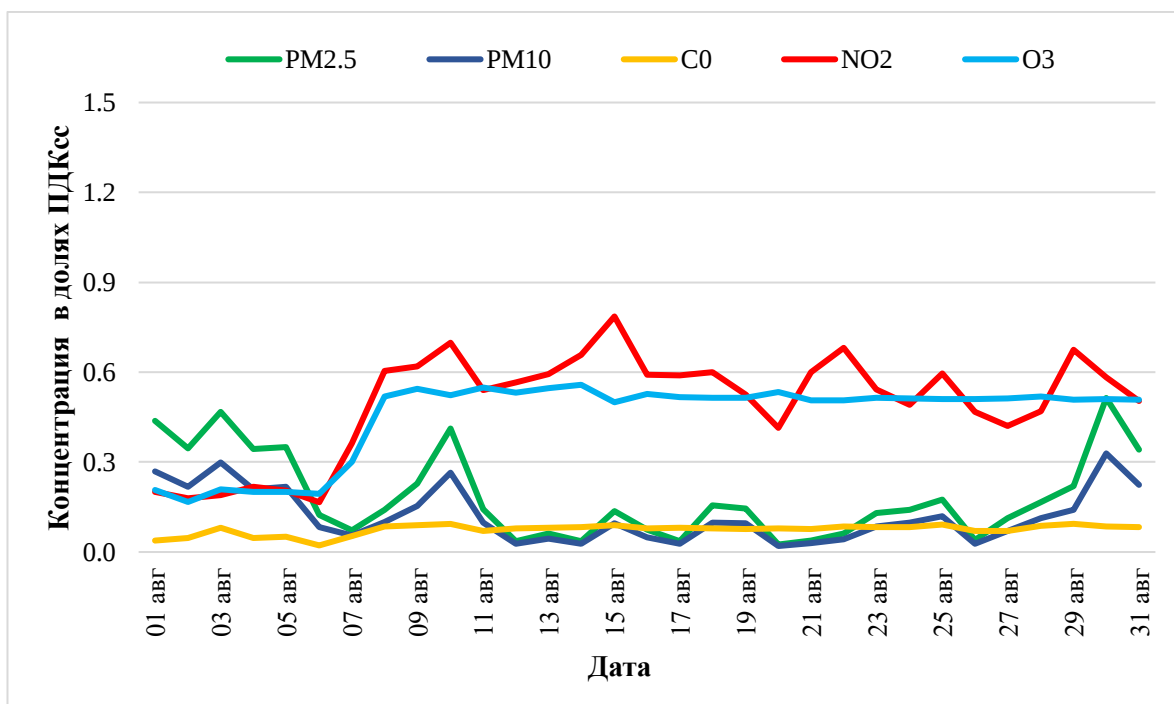


Рис. 3.13 Среднесуточный ход концентраций загрязнителей в августе 2025 года

Концентрация загрязняющих веществ в августе 2025 года оставалась преимущественно низкой, не превышая 0,8 ПДК<sub>сс</sub> на протяжении всего месяца. Максимальные отметки зафиксированы для показателя NO<sub>2</sub> 15-го августа (пятница, 0,79 ПДК<sub>сс</sub>) – оксид азота, что связано с интенсивным движением автотранспорта и накоплением выхлопных газов в условиях слабого ветра.

PM<sub>2.5</sub> (мелкие твердые частицы) достигли пика 0,47 и 0,51 ПДК<sub>сс</sub> 3-го августа (воскресенье) и 30-го августа (суббота), отражая влияние дорожной пыли и повышенной сухости воздуха в конце лета. Загрязнитель PM<sub>10</sub> проявлял схожую динамику, но с более низкими значениями – пики на те же даты не

превышали 0,4 ПДК<sub>сс</sub>. Минимальные значения РМ<sub>10</sub> и РМ<sub>2,5</sub> составили 0,02 и 0,03 ПДК<sub>сс</sub> 20-го августа (среда), объяснимые кратковременным снижением транспортного трафика и осадками.

СО (оксид углерода) сохранял стабильность, как и в предыдущих месяцах, в диапазоне 0,02–0,09 ПДК<sub>сс</sub>, свидетельствуя о хорошей вентиляции воздуха и минимальной промышленной нагрузке. О<sub>3</sub> (озон) варьировался от 0,17 до 0,56 ПДК<sub>сс</sub>, под влиянием солнечного света на выхлопные газы и испарения от жары в августе, что типично для условий летнего смога в городах.

Подведём итоги анализа концентраций за августовский период:

- Максимальные значения – NO<sub>2</sub> (0,79 ПДК<sub>сс</sub>) и РМ<sub>2,5</sub> (0,51 ПДК<sub>сс</sub>);
- Минимальные значения – СО и РМ<sub>10</sub> (0,02 ПДК<sub>сс</sub>);
- Равномерное распределение – СО;
- Рекордное значение параметра О<sub>3</sub> за весь сезон – 0,56 ПДК<sub>сс</sub>;
- Все параметры не превышали предельно допустимые нормы ПДК<sub>сс</sub>.

Итоговый анализ среднесуточного хода концентраций ЗВ за летний период 2025 г.:

Анализ концентрации загрязняющих веществ в летний период 2025 года показывает, что состояние воздушной среды в районе мониторинга оставалось стабильным и благоприятным, с соблюдением всех предельно допустимых нормативов (ПДК<sub>сс</sub>). Динамика концентраций загрязняющих веществ за летний период представлена в таблице 3.2

Общая картина характеризуется преимущественно низкими уровнями загрязнения, при этом динамика показателей тесно коррелировала с интенсивностью дорожного движения, погодными условиями и особенностями суточного цикла.

Таблица 3.2 Динамика основных загрязнителей в летний сезон

| Загрязняющий компонент             | Характер динамики и уровни                                                                               | Основные факторы влияния                                                    |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| PM <sub>2.5</sub> (мелкие частицы) | Пиковые значения в июле (до 0,81 ПДК <sub>сс</sub> ); волатильность зависит от сухости воздуха.          | Дорожная пыль, интенсивность движения, сухость атмосферы.                   |
| PM <sub>10</sub> (крупные частицы) | Стабильно низкие уровни (до 0,6 ПДК <sub>сс</sub> ); минимум в июне (0,01 ПДК <sub>сс</sub> ).           | Трафик на главной магистрали, осадки (снижение концентрации).               |
| СО (оксид углерода)                | Наиболее равномерный и низкий параметр (0,02–0,09 ПДК <sub>сс</sub> ).                                   | Минимальная промышленная нагрузка, хорошая аэрация.                         |
| NO <sub>2</sub> (оксид азота)      | Максимальные значения сезона; пики в июле (0,66 ПДК <sub>сс</sub> ) и августе (0,79 ПДК <sub>сс</sub> ). | Интенсивность автотранспорта, накопление выхлопных газов, слабый ветер.     |
| O <sub>3</sub> (озон)              | Устойчивый рост к августу; сезонный рекорд 0,56 ПДК <sub>сс</sub> .                                      | Фотохимические реакции (воздействие солнца на выхлопные газы), летний зной. |

Особенности сезонного развития:

- Июнь: месяц с наиболее низкими показателями загрязнения, где концентрации не превышали 0,60 ПДК<sub>сс</sub>. Воздушная обстановка характеризовалась как наиболее благоприятная за весь период.
- Июль: наблюдался рост концентраций PM<sub>2.5</sub> и NO<sub>2</sub>, что связывается с пиковой интенсивностью летнего транспортного потока. Тем не менее, показатели оставались в пределах допустимых норм.
- Август: характеризовался максимальным уровнем озона (O<sub>3</sub>), что типично для условий летнего городского смога, вызванного сочетанием

интенсивного солнечного излучения, испарений и накопления загрязнителей при слабом ветре.

В течение всего периода мониторинга основным источником негативного влияния на качество воздуха являлся автомобильный транспорт. Отсутствие крупной промышленной деятельности в исследуемом районе обеспечило стабильно низкие показатели оксида углерода (CO), а благоприятные природные условия способствовали эффективному рассеиванию примесей.

#### 3.2.4 Анализ метеорологических параметров в летний сезон

Ключевыми факторами, определявшими уровень загрязнения воздуха в зимний сезон, выступили метеорологические условия, включая показатели температуры, атмосферного давления, влажности, а также параметры направления и скорости ветра.

Для наглядного сопоставления этих характеристик были составлены среднесуточные графики, объединяющие данные по всем трём месяцам исследования.

Графики, отражающие среднесуточный ход метеорологических параметров в летний сезон представлены на рис. 3.14 – 3.18.

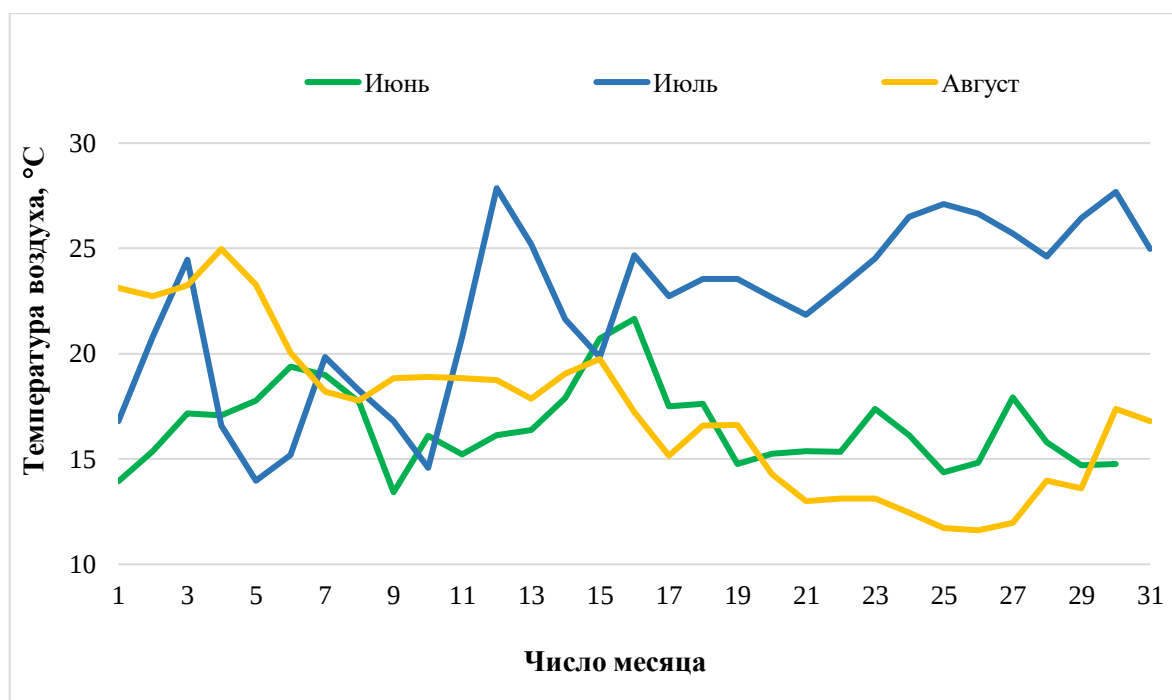


Рис. 3.14 Среднесуточный ход температуры воздуха в летний период

В июне 2025 года среднесуточный ход температуры воздуха характеризовался постепенным нарастанием тепла. Пик пришелся на 6-е число — тогда температура достигла 19,4 °С. Второй подъем наблюдался 11–16 июня с максимумом в 21,6 °С (16-е число). В начальный период, с 1-го по 10-е июня, минимальные значения опустились до 13,4 °С (9-е число), что составило абсолютный минимум месяца. В конце месяца с 19-го по 30-е июня хорошо выражен равномерный период распределения температуры воздуха. Параметр держался в пределах 14,3–17,9 °С без резких скачков.

В июле 2025 года отчётливо прослеживается выраженный среднесуточный ход с несколькими пиками. Первый максимум зафиксирован в период с 1-го по 5-е июля в 24,5 °С (3-е число), второй пик охватывал 10–15 июля со значением 27,9 °С (12-е число), являясь абсолютный максимум месяца. Третий максимум был выявлен в конце месяца – 30 июля (27,7 °С). Минимальные отметки пришлись на 5-е июля (13,9 °С) и 10-е июля (14,6 °С). Температуры ниже 15 °С отсутствовали после середины месяца.

Август 2025 года оказался самым прохладным в летний период как по максимальным, так и по средним отметкам. Температура выше 20,0 °С фиксировалась только 1–6 августа (до 24,9 °С 4-го числа). Средние отметки наблюдались с 7-го по 19-е и с 30-го по 31-е числа августа и находились в диапазоне 15–20 °С. Минимальные показатели ниже 15 преобладали с 20-го по 29-е августа, с вариациями от 11,6 °С до 14,3 °С. Абсолютный минимум месяца в 11,61 °С отмечен 26-го числа.

Итоги анализа температуры воздуха за летний период:

- Самый жаркий месяц в летнем периоде – июль;
- Самый прохладный месяц в летнем периоде – август;
- Месяц с наибольшими колебаниями температуры воздуха – июль;
- Месяц с наиболее равномерным ходом температуры воздуха – июнь.

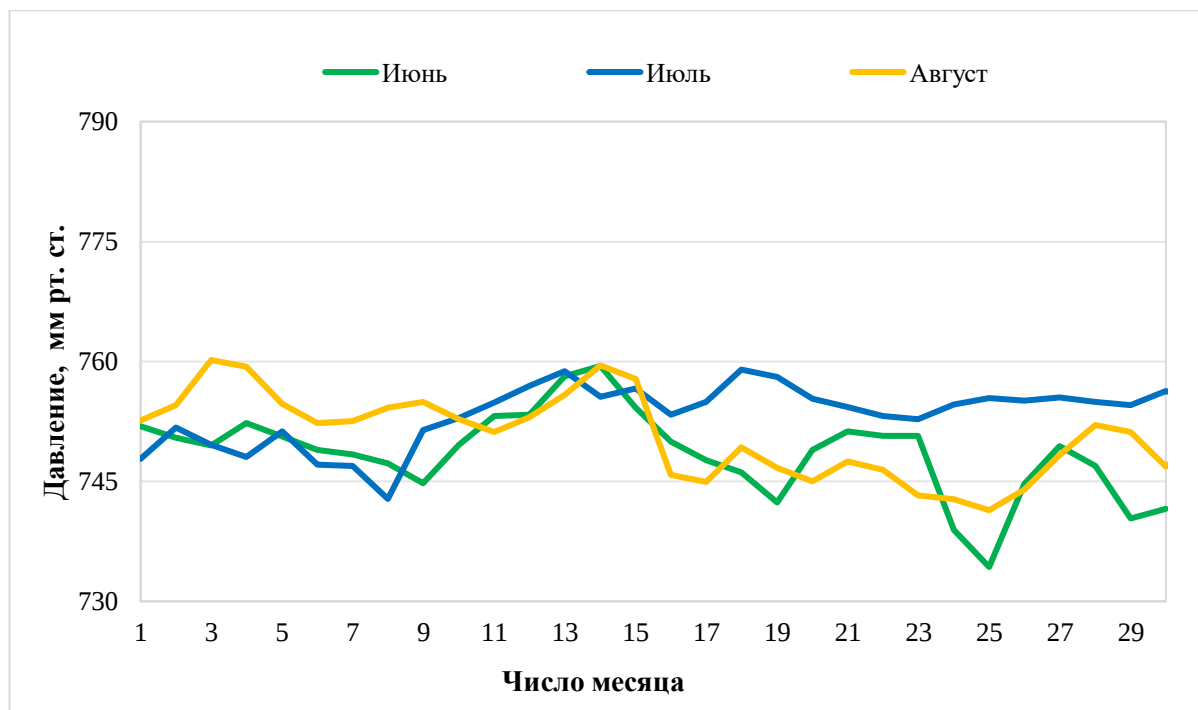


Рис. 3.15 Среднесуточный ход атмосферного давления в летний период

В июне 2025 года давление проявило активные среднесуточные изменения с характерными спадами. Первый спад произошел 9-го июня (744 мм рт. ст.) на фоне похолодания, второй – 19-го июня (742 мм рт. ст.), представляющий среднемесячный показатель. Третье понижение давления, с минимальной отметкой за весь месяц, 25-го июня (734 мм рт. ст.). Наибольшее значение достигало 759 мм рт. ст. 14-го июня в моменты повышения температуры воздуха.

В июле 2025 года динамика барометрических показателей отличалась устойчивостью с минимальными вариациями. В период с 1-го по 9-е июля параметры держались в пределах 742–751 мм рт. ст., а с 11-го по 30-е июля: 752–758 мм рт. ст. Пиковые отметки составили 758 мм рт. ст. 13-го июня и 18-го июня, синхронизируясь с температурными максимумами. Наименьшее значение 742 мм рт. ст. зафиксировано 8 июля во время одного из самых холодных дней месяца (14,6 °C).

Август 2025 года выделился повышенными давлениями среди летних месяцев. Показатели свыше 750 мм рт. ст. доминировали с 1-го по 15-е августа, с пиками в 760 и 759 мм рт. ст. 4-го, 15-го и 28-29 августа соответственно.

Наименьшие значения ниже 750 мм рт. ст. наблюдались с 16-го по 27-е числа и 30-го августа, с абсолютным минимумом в 741 мм рт. ст. 25-го августа.

Итоги анализа атмосферного давления за летний период:

- Месяц с минимальными значениями давления – август;
- Месяц с максимальными значениями давления – июль;
- Месяц с наибольшими вариациями давления – июнь;
- Месяц с наиболее стабильным барометрическим фоном – июль;
- В летний период прослеживается четкая прямая связь температуры

и давления.

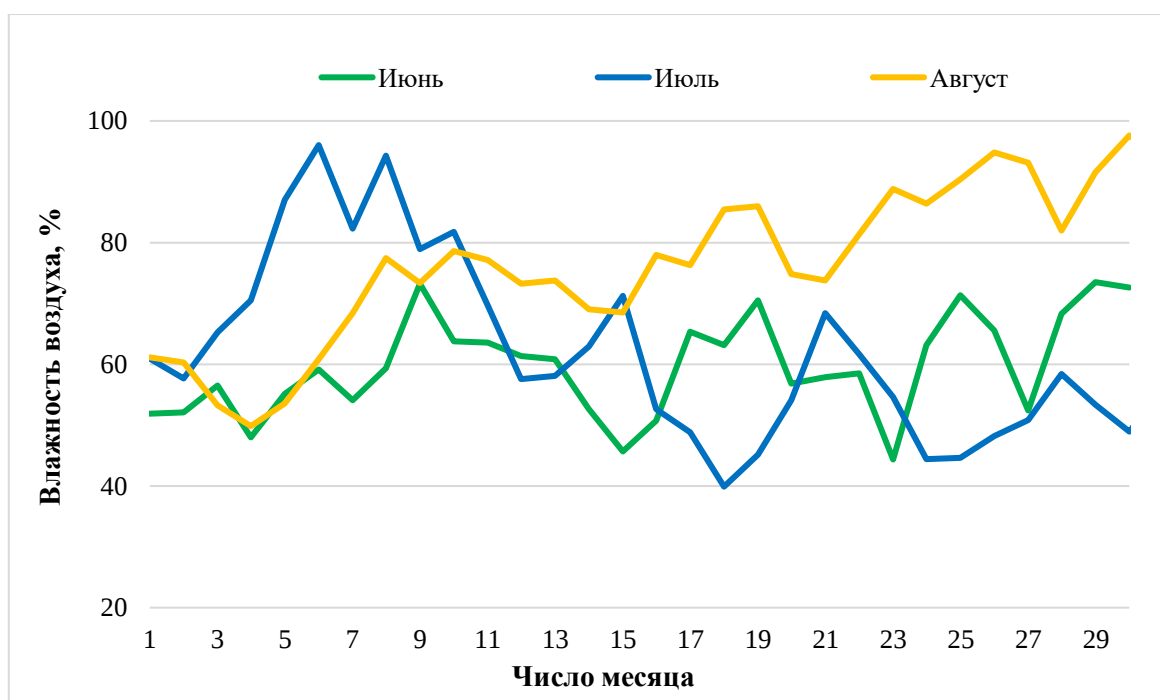


Рис. 3.16 Среднесуточный ход влажности воздуха в летний период

В июне 2025 года влажность демонстрировала выраженную динамику с заметными всплесками. Первый рост зафиксирован 9-го июня (73%), второй пик 19-го июня (70%), третий 25-го (71%) и четвёртый 29-го июня (73%). На фоне выраженных пиков хорошо прослеживаются и четыре характерных спада: 4-го июня (47%); 15-го июня (45%); 23-го июня (44%) и 27-го июня (52%). Таким образом, абсолютный максимум достиг значения в 73% 9-го и 29-го числах месяца в период похолодания. Абсолютный минимум же в 44% 23-го числа в периоды наибольшей жары.

В июле 2025 года относительная влажность воздуха отличалась неустойчивостью и имела значительные колебания. С 1-го по 12-е июля показатели возросли с 57% до 96%, а затем постепенно начали понижаться и вновь достигли значения в 57%. Во второй половине месяца имеются активные понижения значений параметра влажности. Первый пришёлся на 18-е июля и составил 39%. Второй же спад охарактеризовал себя в 44% 24-го июля. Также, показатели относительной влажности во второй половине июля не превышали предела в 72%.

В августе 2025 года показатели относительной влажности шли на повышение в течение всего месяца. Так, минимальная отметка составила 49% (4-е августа). В середине мясца, а именно, 16-го августа показатель достигал уже 77%. Самая последняя неделя месяца выдалась достаточно влажной и показатели составляли выше 80%.

Итоги анализа относительной влажности за летний период:

- Месяц с минимальными значениями влажности – июль;
- Месяц с максимальными значениями влажности – август;
- Месяц с максимальными колебаниями влажности – июль;
- Месяц с наиболее устойчивым влажностным фоном – июнь.

Анализ поведения относительной влажности в летний сезон показывает, что июнь характеризуется наиболее равномерным её распределением в соответствии с температурным режимом воздуха. В летний период наблюдается устойчивая обратная зависимость между температурой и влажностью: июльская жара соответствовала сниженным показателям влажности, тогда как августовская прохлада сопровождалась ее повышением.

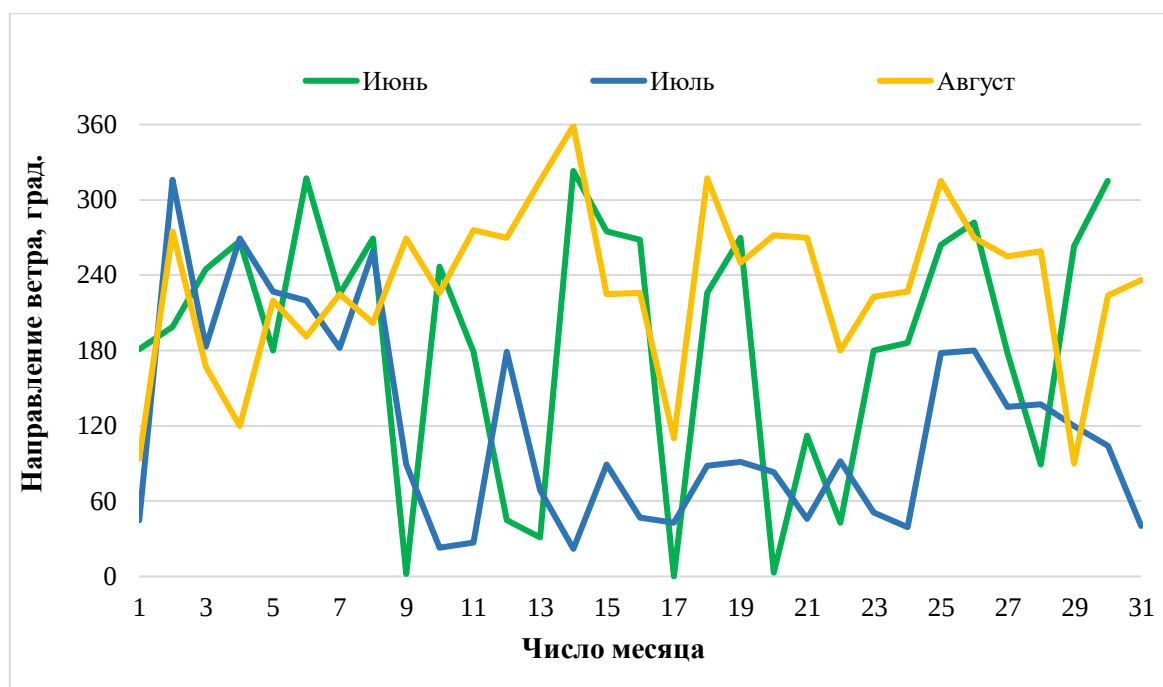


Рис. 3.17 Среднесуточный ход направления ветра в летний период

В июне 2025 года направление ветра проявляло чёткую изменчивость с преобладанием северо-западного и северо-восточного направления. Начальный сдвиг к северо-западу отмечен 6-го июня, затем преобладали западные ветры до 8-го июня. Далее последовал переход с высокой нестабильностью и частыми поворотами: к северному и северо-восточному направлению (9, 13, 17, 20) июня, и, в перерывах, между ранее выделенными датами значения менялись на ЮЗ-СЗ. Под конец месяца ветер имел южные и западные направления в преобладающем количестве, переходящие к СЗ. Таким образом, доминирующее СЗ направление фиксировалось на протяжении всего месяца, а южные и юго-восточные ветры преобладали в начале и конце месяца.

В июле 2025 года направление ветра характеризовалось несколькими хорошо выраженными периодами изменчивости своего курса. Так, первый период можно охарактеризовать с 1-го по 9-е июля. В выделенный период преобладали ветры, постепенно изменяющиеся с ССЗ на ЮВ. С 10-го по 31-е линия ветра выравнивается и меняет преимущественное направление. Так, из графика можно увидеть, что в отмеченные даты июля ветры дуют с юга, сдвигаясь к востоку, и, далее, переходят к северо-восточному направлению к концу месяца.

В августе 2025 года направление ветра стабильно эволюционировало от восточных к северным курсам. Начало месяца отметились южным и юго-западным ветром с минимумом устойчивости 4-го августа (ВЮВ). К середине месяца, 14-го августа ветра повернули на север, а затем на юго-восток, и стабилизировались на северо-западе ( $270^\circ$ ). Завершающие дни принесли неустойчивые восточные и юго-западные направления с показателями до  $224^\circ$ .

Итоги анализа направления ветра за летний период:

- Месяц с минимальной изменчивостью направления — июль;
- Месяц с максимальной изменчивостью — июнь;
- Месяц с преобладанием южных ветров — июль;
- Месяц с доминированием северных ветров — август.

Характеризуя динамику направления ветра в летний сезон, следует отметить, что июнь выделяется наибольшей нестабильностью, в то время как июль и август демонстрирует плавный переход к северному курсу.

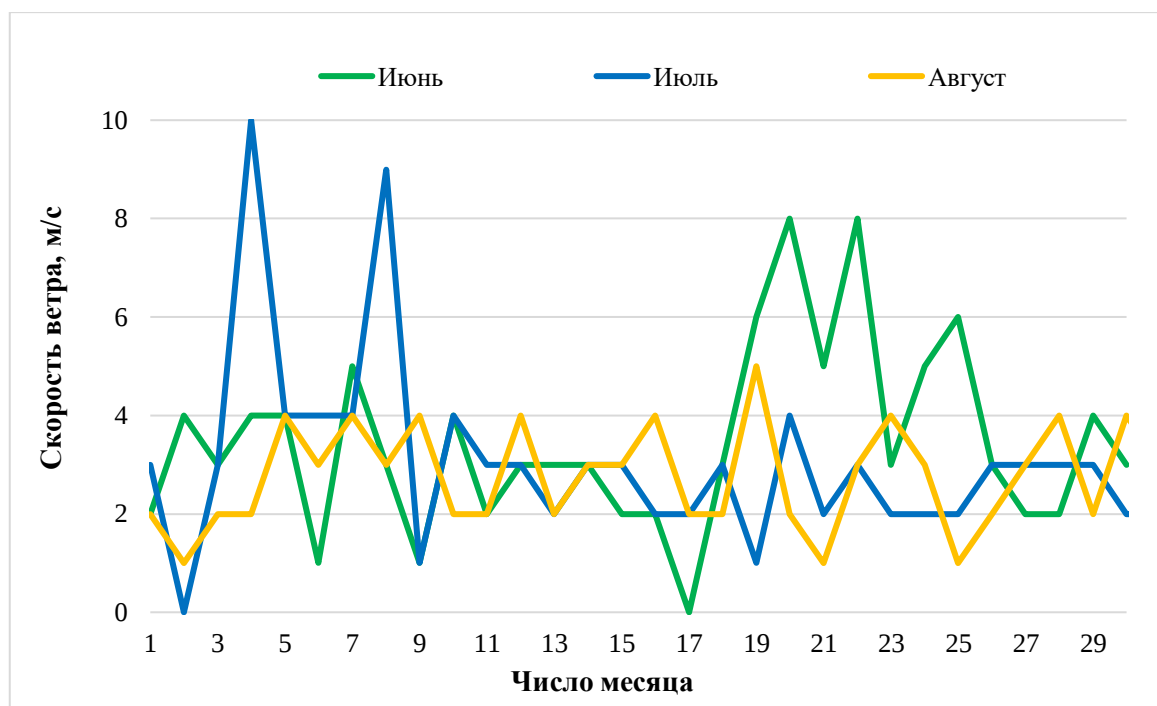


Рис. 3.18 Среднесуточный ход скорости ветра в летний период

В июне 2025 года скорость ветра характеризовалась умеренной изменчивостью, где преобладали слабые и умеренные потоки в диапазоне 1–6 м/с, с периодическими кратковременными усилениями до 7–8 м/с. Эти подъёмы чётко коррелировали с эпизодами похолодания и фронтальной активностью, в

то время как минимумы (около 2 м/с) фиксировались в антициклональных условиях затишья. Общая суточная динамика отражала стабильный баланс, с среднесуточными значениями 4 м/с, что указывает на типичную для переходного месяца циркуляцию.

В июле 2025 года ветровая ситуация отличалась выраженной нестабильностью и значительными колебаниями: от максимальных в начале месяца 9–10 м/с в периоды пиков, до слабых показателей в середине и конце месяца 1–3 м/с, характеризующихся равномерным распределением всех ранее изученных метеопараметров. Первая половина месяца отмечена серией усиления на фоне жары, а вторая — спадами и спокойным ходом, что привело к среднему 5 м/с. Такая волатильность типична для пика летнего термического контраста, усиливая турбулентность.

В августе 2025 года наблюдается плавная эволюция к ослаблению потоков: значения колеблются в диапазоне 1–5 м/с. Скорость описывает плавный характер развития на протяжении всего месяца. Резких скачков и понижений не наблюдается. Максимум был достигнут 19-го августа и составил 5 м/с. В остальное время значения не превышали 4 м/с. Среднесуточная скорость составила 3 м/с, отражая переход к более спокойному режиму на фоне охлаждения.

Итоги анализа скорости ветра за летний период:

- Месяц с минимальными скоростями ветра – август;
- Месяц с максимальными скоростями ветра – июль;
- Месяц с максимальными колебаниями скорости ветра – июнь;
- Месяц с наиболее устойчивым ветровым фоном – август.

Оценка среднесуточного хода скорости ветра в летний сезон подчёркивает август как период наибольшей предсказуемости и устойчивости скоростей, гармонирующей с температурным режимом воздуха. В целом прослеживается устойчивая обратная зависимость между температурными экстремумами и ветровыми характеристиками: июльская жара провоцировала значительные усиления за счёт конвективных процессов и градиентов давления, тогда как

августовское охлаждение приводило к ослаблению потоков в условиях повышенной стабильности атмосферы. Это подтверждает роль термодинамических факторов в формировании летней ветровой циркуляции.

### 3.3 Корреляционный анализ концентраций загрязняющих веществ

Корреляционный анализ представляет собой статистический метод изучения взаимосвязи между искомыми величинами. Основой корреляционного анализа служит коэффициент корреляции, который указывает на силу и направление связи.

Коэффициент корреляции обозначается как  $r$ , и принимает значения от -1 до 1.

- Если  $r \approx 1$ , то преобладает сильная положительная корреляционная связь. Что указывает на прямую зависимость между исследуемыми величинами.
- Если  $r \approx -1$ , то преобладает сильная отрицательная связь. Что может указывать на обратную зависимость переменных.
- Если  $r \approx 0$ , то говорит об отсутствии взаимосвязи. А именно исследуемые параметры могут изменяться вне зависимости друг от друга.

Одним из главных понятий при выполнении корреляционного анализа является понятие статистической значимости коэффициента. Статистическая значимость коэффициента говорит о том, что исследуемый коэффициент достоверно отличен от нуля, а именно:

- Взаимосвязь между переменными не является случайной;
- При знании характера поведения одной переменной, можно точнее выявить характер другой переменной;
- Выявление некоторых закономерностей в поведении переменных может быть полезно в аналитических моделях.

### 3.3.1 Корреляционный анализ данных за зимний сезон 2024-2025 гг.

В зимний период был проведён анализ связи между загрязняющими веществами и метеорологическими параметрами. На основе сезонных данных, находящихся в Приложении 1, были построены матрицы сопряжения за три исследуемых месяца: декабрь, январь, февраль, а также матрица общей зависимости параметров за весь зимний период. Далее, были составлены таблицы проверки коэффициента корреляции на значимость. Значимые коэффициенты в таблицах при уровне значимости 0,05 выделены красным цветом.

Данные проверки коэффициента корреляции на значимость за зимний период 2024-2025 гг. в г. Гатчина находятся в Приложении 3.

В табл. 3.3 представлена матрица корреляции параметров за декабрь.

Таблица 3.3 Матрица зависимости ЗВ-метео за декабрь

| Декабрь           | Температура | Давление | Влажность | Направление ветра | Скорость ветра |
|-------------------|-------------|----------|-----------|-------------------|----------------|
| PM <sub>2.5</sub> | -0,24       | 0,33     | -0,07     | -0,09             | -0,44          |
| PM <sub>10</sub>  | -0,25       | 0,33     | -0,08     | -0,06             | -0,43          |
| CO                | -0,71       | 0,10     | -0,26     | 0,17              | -0,55          |
| NO <sub>2</sub>   | -0,54       | 0,05     | -0,17     | 0,49              | -0,38          |
| SO <sub>2</sub>   | -0,18       | -0,20    | -0,05     | -0,18             | 0,12           |
| O <sub>3</sub>    | 0,10        | 0,17     | -0,13     | 0,20              | 0,26           |

Наибольшая зависимость ЗВ-метео в декабре наблюдалась между CO; NO<sub>2</sub> и температурой воздуха. Значимые коэффициенты 0,71 и 0,54 были выделены со знаком «минус», что говорит об обратной связи между параметрами и температурным показателем. А именно, анализируя графики концентраций и метеопараметров можно выделить некую закономерность: с повышением температуры воздуха концентрация CO и NO<sub>2</sub> уменьшается, а понижением показателя температуры данные концентрации увеличиваются.

Характерная обратная зависимость также хорошо прослеживалась между загрязнителями  $PM_{2.5}$ ;  $PM_{10}$ ; CO и скоростью ветра. Таким образом при увеличении скорости ветра выделенные концентрации будут увеличиваться, в обратном случае – уменьшаться. Данную закономерность можно наблюдать на ранее проанализированных графиках.

В табл. 3.4 представлена матрица корреляции параметров за январь.

Таблица 3.4 Матрица зависимости ЗВ-метео за январь

| Январь          | Температура | Давление | Влажность | Направление ветра | Скорость ветра |
|-----------------|-------------|----------|-----------|-------------------|----------------|
| $PM_{2.5}$      | 0,17        | -0,05    | 0,31      | -0,40             | -0,41          |
| $PM_{10}$       | 0,14        | -0,05    | 0,28      | -0,40             | -0,42          |
| CO              | -0,26       | -0,01    | 0,08      | -0,53             | -0,63          |
| NO <sub>2</sub> | -0,44       | 0,26     | -0,33     | -0,34             | -0,54          |
| SO <sub>2</sub> | 0,00        | -0,01    | 0,17      | -0,36             | -0,15          |
| O <sub>3</sub>  | -0,13       | 0,35     | -0,73     | 0,30              | 0,24           |

В январе чётко прослеживается обратная корреляционная связь между CO и направлением; скоростью ветра. Коэффициенты составили 0,53 и 0,63 соответственно, со знаком «минус». Так можем выделить закономерность: с увеличением скорости и угла поворота ветра концентрация показателя будет стремиться к незначительной.

Одним из наибольших коэффициентов в выделенный период составила зависимость O<sub>3</sub> – Влажность со значением -0,73. Таким образом, с увеличением влажности концентрация O<sub>3</sub> в атмосфере становится меньше.

В табл. 3.5 представлена корреляционная матрица параметров за февраль.

Таблица 3.5 Матрица зависимости ЗВ-метео за февраль

| Февраль           | Температура | Давление | Влажность | Направление ветра | Скорость ветра |
|-------------------|-------------|----------|-----------|-------------------|----------------|
| PM <sub>2.5</sub> | 0,20        | 0,46     | -0,31     | -0,37             | -0,55          |
| PM <sub>10</sub>  | 0,18        | 0,47     | -0,30     | -0,37             | -0,55          |
| CO                | -0,26       | 0,53     | 0,08      | -0,32             | -0,61          |
| NO <sub>2</sub>   | 0,04        | -0,31    | -0,27     | -0,04             | -0,20          |
| SO <sub>2</sub>   | -0,02       | 0,42     | 0,05      | -0,09             | -0,33          |
| O <sub>3</sub>    | 0,30        | -0,43    | -0,72     | 0,16              | 0,37           |

Среди значимых коэффициентов корреляции выделим максимальные значения. С коэффициентом -0,72 указана обратная зависимость O<sub>3</sub> – Влажность. Далее, загрязняющий компонент CO имеет прямую зависимость с метеопараметром атмосферного давления, коэффициент значимости составил 0,53. Прямая зависимость говорит о том, что изменение концентрации CO и давления происходит параллельно, то есть чем выше давление, тем концентрация будет больше и наоборот. Также, CO коррелирует и с параметром скорости ветра, имея при этом обратную связь с коэффициентом в -0,63.

Прямую и обратную зависимость показывают такие загрязнители как PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub>, взаимодействуя с параметрами давления (0,46; 0,47) и скоростью ветра (-0,55).

В табл.3.6 представлена матрица общей зависимости параметров за весь зимний период.

Таблица 3.6 Матрица общей зависимости ЗВ-метео за зимний период

| Зима              | Температура | Давление | Влажность | Направление ветра | Скорость ветра |
|-------------------|-------------|----------|-----------|-------------------|----------------|
| PM <sub>2.5</sub> | -0,15       | 0,48     | -0,27     | -0,25             | -0,54          |
| PM <sub>10</sub>  | -0,16       | 0,48     | -0,28     | -0,24             | -0,54          |
| CO                | -0,45       | 0,41     | -0,18     | -0,20             | -0,59          |
| NO <sub>2</sub>   | -0,34       | 0,12     | -0,34     | -0,03             | -0,42          |
| SO <sub>2</sub>   | -0,08       | 0,27     | -0,04     | -0,07             | -0,22          |
| O <sub>3</sub>    | 0,03        | 0,10     | -0,49     | 0,22              | 0,19           |

На основе общей матрицы корреляции можно выделить наиболее зависимые исследуемые параметры за весь зимний сезон.

- PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub>: имели прямую связь с атмосферным давлением и обратную связь со скоростью ветра;
- CO: имел обратную связь с температурой и скоростью ветра;
- O<sub>3</sub>: имел обратную связь с влажностью воздуха.

Выведенные аспекты полностью соответствуют ситуациям, приведённым на анализируемых графиках.

### 3.3.2 Корреляционный анализ данных за летний сезон 2025 г.

В летний период был проведён анализ связи между загрязняющими веществами и метеорологическими параметрами. По сезонным данным, находящихся в Приложении 2, были построены матрицы корреляции за три исследуемых месяца: июнь, июль, август, а также матрица общей зависимости параметров за весь летний период. Далее, были составлены таблицы проверки коэффициента корреляции на значимость. Значимые коэффициенты в таблицах при уровне значимости 0,05 выделены красным цветом.

Данные проверки коэффициента корреляции на значимость за летний период 2025 г. в г. Гатчина находятся в Приложении 4.

В табл. 3.7 представлена корреляционная матрица параметров за июнь.

Таблица 3.7 Матрица зависимости ЗВ-метео за июнь

| Июнь              | Температура | Давление | Влажность | Направление ветра | Скорость ветра |
|-------------------|-------------|----------|-----------|-------------------|----------------|
| PM <sub>2.5</sub> | 0,38        | 0,24     | 0,10      | -0,29             | -0,56          |
| PM <sub>10</sub>  | 0,38        | 0,24     | 0,09      | -0,29             | -0,56          |
| CO                | -0,03       | 0,01     | 0,27      | -0,55             | -0,29          |
| NO <sub>2</sub>   | 0,42        | 0,23     | -0,33     | -0,22             | -0,43          |
| SO <sub>2</sub>   | 0,03        | 0,21     | -0,39     | 0,17              | -0,01          |
| O <sub>3</sub>    | 0,26        | 0,17     | -0,36     | 0,33              | 0,19           |

При анализе корреляционной матрицы можно отметить несколько значимых коэффициентов. Так, одно из наибольших значений составило 0,55 со знаком «минус», характеризующее противоположную связь между параметрами CO и направлением ветра.

Чуть больший показатель, который также описывает обратную связь, но уже между такими параметрами как PM<sub>2.5</sub>; PM<sub>10</sub> и скоростью ветра, составил - 0,56. Это значит, что концентрация данных параметров будет изменяться в зависимости от скорости ветра: чем сильнее будет дуть ветер, тем меньше будет концентрация, и, наоборот, чем слабее ветер, тем больше воздушных частичек будет сконцентрировано в атмосферном воздухе.

В табл. 3.8 представлена корреляционная матрица параметров за июль.

Таблица 3.8 Матрица зависимости ЗВ-метео за июль

| Июль              | Температура | Давление | Влажность | Направление ветра | Скорость ветра |
|-------------------|-------------|----------|-----------|-------------------|----------------|
| PM <sub>2.5</sub> | 0,66        | 0,44     | -0,44     | -0,39             | -0,31          |
| PM <sub>10</sub>  | 0,66        | 0,43     | -0,44     | -0,39             | -0,31          |
| CO                | -0,24       | -0,43    | 0,35      | 0,14              | 0,00           |
| NO <sub>2</sub>   | -0,15       | -0,41    | 0,26      | 0,33              | 0,16           |
| SO <sub>2</sub>   | 0,70        | 0,41     | -0,58     | 0,09              | -0,22          |
| O <sub>3</sub>    | 0,48        | 0,24     | -0,46     | -0,15             | -0,18          |

Наибольшие значения коэффициента корреляции наблюдались между следующими параметрами: PM<sub>2.5</sub>; PM<sub>10</sub>; SO<sub>2</sub> и температурой воздуха, SO<sub>2</sub> и влажностью.

Первый случай характеризует прямую связь между исследуемыми параметрами – при росте одного из параметров, второй также будет увеличиваться. Коэффициенты корреляции составили 0,66 и 0,70. Таким образом, можно утверждать, что данные примеси напрямую зависят от температурного режима.

Второй случай указывает на обратную зависимость с коэффициентом - 0,58. Так, при увеличении процента влажности концентрация загрязняющего компонента SO<sub>2</sub> будет уменьшаться, и наоборот.

В табл. 3.9 представлена матрица сопряжения параметров за август.

Таблица 3.9 Матрица зависимости ЗВ-метео за август

| Август            | Температура | Давление | Влажность | Направление ветра | Скорость ветра |
|-------------------|-------------|----------|-----------|-------------------|----------------|
| PM <sub>2.5</sub> | 0,56        | 0,34     | -0,22     | -0,36             | -0,07          |
| PM <sub>10</sub>  | 0,55        | 0,33     | -0,21     | -0,35             | -0,06          |
| CO                | -0,54       | -0,23    | 0,60      | 0,25              | 0,07           |
| NO <sub>2</sub>   | -0,53       | -0,25    | 0,59      | 0,28              | 0,09           |
| SO <sub>2</sub>   | 0,08        | 0,39     | -0,11     | 0,13              | -0,09          |
| O <sub>3</sub>    | -0,71       | -0,44    | 0,75      | 0,43              | 0,15           |

В августе одни из самых высоких коэффициентов коррелируют на фоне показателя температуры воздуха. Так, PM<sub>2.5</sub>; PM<sub>10</sub> имеют положительную связь со значениями в 0,56 и 0,55. Загрязнители же CO; NO<sub>2</sub>; O<sub>3</sub> отмечают наличие отрицательной связи с коэффициентами корреляции -0,54; -0,53; -0,71.

Также отмечается положительная корреляционная связь с метеопараметром влажности воздуха. Были получены следующие коэффициенты: 0,60 (CO); 0,59 (NO<sub>2</sub>); 0,75 (O<sub>3</sub>).

В табл. 3.10 представлена матрица общей зависимости параметров за весь зимний период.

Таблица 3.10 Матрица общей зависимости ЗВ-метео за летний период

| Лето              | Температура | Давление | Влажность | Направление ветра | Скорость ветра |
|-------------------|-------------|----------|-----------|-------------------|----------------|
| PM <sub>2.5</sub> | 0,67        | 0,41     | -0,32     | -0,47             | -0,29          |
| PM <sub>10</sub>  | 0,66        | 0,41     | -0,31     | -0,46             | -0,29          |
| CO                | -0,47       | -0,25    | 0,56      | 0,23              | -0,11          |
| NO <sub>2</sub>   | -0,39       | -0,17    | 0,48      | 0,35              | -0,12          |
| SO <sub>2</sub>   | 0,51        | 0,41     | -0,17     | -0,01             | -0,19          |
| O <sub>3</sub>    | -0,28       | -0,08    | 0,58      | 0,38              | -0,11          |

На основе общей матрицы сопряжения можно выделить наиболее зависимые исследуемые параметры за весь летний сезон.

- $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$ : имели прямую связь с температурой воздуха, давлением и обратную связь с направлением ветра;
- CO: имел обратную связь с температурой воздуха и прямую связь с влажностью воздуха;
- $O_3$ : имел прямую связь с влажностью воздуха.

Выведенные аспекты полностью соответствуют ситуациям, приведённым на анализируемых графиках.

### 3.4 Итоговый анализ влияния сезонного распределения и метеопараметров на загрязнения атмосферного воздуха в Ленинградской области

Подводя итог анализа влияния сезонного распределения метеопараметров на загрязнения атмосферного воздуха на исследуемой местности, можно сказать, что основное влияние на поведение концентраций примесей оказывали параметры температуры воздуха, влажности и скорости ветра на протяжении обоих сезонов.

Температура воздуха является важным компонентом в изменении состава атмосферного воздуха. Наиболее активное распространение примесей наблюдается в периоды температурной инверсии с устойчивой стратификацией, когда отсутствует турбулентное перемешивание. Такие периоды характерны в моменты господства антициклонической активности, то есть удержания воздушных потоков в пределах одной местности, а также низкой скорости ветра.

При ослаблении скорости ветра до штиля происходит накопление примесей, что, в дальнейшем, значительно увеличивает подъем выбросов в верхние слои атмосферы, где они рассеиваются. Однако, если при данных условиях наблюдается температурная инверсия, то впоследствии образуется так

называемая «крышка», которая будет препятствовать подъему выбросов. Тогда концентрация примесей у земли резко возрастает.

В зимний период температура воздуха не оказала существенного влияния на изменение состава атмосферного воздуха, однако, можно отметить, что в декабре наблюдалась обратная зависимость с загрязнителем СО, который показал достаточно высокий значимый коэффициент (-0,71). На рис. 3.3 и графике 3.6 хорошо прослеживается, что при понижении температурного показателя концентрация СО возрастает, такая ситуация характерна для зимы в период отопительного сезона. В дополнение, в декабре отмечалось повышенное атмосферное давление и слабые скорости ветра, что говорит о застаивании атмосферного воздуха над территорией Гатчины. Хотелось бы добавить, что в зимний сезон такие вещества, как  $PM_{2.5}$ ;  $PM_{10}$  зависят именно от ранее упомянутых метеорологических условий. Их концентрации на протяжении всего сезона держали самые максимальные отметки.

В летний период прямой температурной зависимостью обладали примеси  $PM_{2.5}$ ;  $PM_{10}$ ;  $SO_2$ .

$PM_{2.5}$ ;  $PM_{10}$  представляют собой смесь взвешенных твердых частиц и капель жидкости органического и неорганического происхождения, включая в себя пыль, пыльцу, сажу, дым, а также различные химические соединения. Наибольшие значимые коэффициенты наблюдались в июле и августе: (0,66; 0,66) и (0,56; 0,55), где отчётливо прослеживается прямая связь между параметрами и температурным режимом. Такую зависимость можно наблюдать на рис. 3.11, 3.12 и 3.13. Это происходит при высокой температуре воздуха. Так, быстрее образуются вторичные частицы из газов (выхлопные газы, промышленные выбросы, превращающиеся в мелкие частицы), летом люди больше ездят на автомобилях, чем зимой, поэтому больше выбросов. Зимой главным источником загрязнения является отопление, летом же оно отсутствует.

Загрязняющее вещество  $SO_2$  летом, а именно в июле месяце, отражало прямую связь с температурой воздуха (0,70). Хотелось бы отметить, что в

летний период такая экологическая ситуация носит совершенно обратный характер. Также, данные ЗВ оказались чрезмерно малы, из-за чего не учитывались при анализе экологической обстановки в районе. Не исключается факта проявления какой-либо ошибки при получении данных.

Диоксид серы представляет собой это бесцветный токсичный газ с резким запахом. В атмосфере  $\text{SO}_2$  появляется из нескольких источников. Основным источником является сжигание ископаемого топлива (угля, нефти, газа, мазута, дизельного топлива) на электростанциях, теплоэлектроцентралях (ТЭЦ), промышленных предприятиях и в двигателях внутреннего сгорания.

В летний период зависимость концентрации  $\text{SO}_2$  от температуры воздуха имеет отрицательный характер. При повышении температуры концентрация  $\text{SO}_2$  снижается, а при понижении температуры повышается. Зимой это связано с работой котельных и ТЭЦ, которые сжигают больше топлива для отопления. Кроме того, в зимний период возникает температурная инверсия, которая не позволяет загрязнениям рассеиваться. Летом, когда отопление не работает, выбросы  $\text{SO}_2$  от источников отопления отсутствуют, и загрязнения лучше рассеиваются благодаря вертикальному перемешиванию воздуха, что приводит к снижению концентрации.

На протяжении зимнего и летнего сезонов особое влияние на концентрацию одного из веществ оказал параметр влажности воздуха. Речь пойдет о таком загрязнителе, как  $\text{O}_3$  со значимым коэффициентом корреляции - 0,72 (февраль) и 0,58 (август).

В зимний период влажность воздуха оказывала обратное воздействие на концентрацию  $\text{O}_3$ . Так, при высокой относительной влажности уровень озона в атмосфере имел достаточно низкие показатели. Данную ситуацию можно наблюдать на рис. 3.5 и графике 3,8. Это связано с тем, что в зимний период при низких температурах и высокой влажности (особенно при туманах, изморози, мокром снеге) концентрация озона минимальна благодаря низкой интенсивности солнечного излучения, которая уменьшает способность фотохимических реакций, позволяющих генерировать озон, а также высокая

влажность способствует химическому разложению озона через взаимодействие с каплями воды.

Летом прослеживается абсолютно иная ситуация: жаркая и сухая погода (низкая влажность, температура воздуха более 27°C) способствует эпизодам повышенных значений концентрации приземного озона. Так, в августе коэффициент значимости составил -0,58. Ориентируясь на рис. 3.11, 3.12 и 3.14, можно проследить точный ход данной ситуации и добавить, что с более низкой влажностью зависимость озона от влажности сильнее.

Подводя итог, можно сказать, что наиболее значимым метеорологическим параметром на протяжении всего исследования являлась температура воздуха. Её значение имеет глобальное положение в системе экологического мониторинга в целом.

## Заключение

В данной работе была проведена оценка сезонных загрязнений и выявлены закономерности во влиянии метеорологических параметров для мониторинга атмосферного воздуха в г. Гатчина, Ленинградской области за зимний период 2024-2025 гг. и летний период 2025 года.

По отобранным данным со станции автоматического мониторинга атмосферного воздуха были построены графики среднесуточных значений концентраций загрязняющих веществ, таких как  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$ , CO,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$ , и метеорологических параметров: температура воздуха, влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра. Также был произведён расчёт коэффициента корреляции за оба сезона.

При анализе среднесуточных графиков был сделан вывод, что в зимний сезон 2024-2025 гг. месяцем с самыми высокими концентрациям ЗВ являлся февраль. Февраль стал наиболее сложным периодом с точки зрения качества воздуха. Было зафиксировано превышение норм  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$ , что сопровождалось ростом концентрации оксида углерода (CO). Влияние оказали и

сопутствующие метеопараметры. Исходя из синоптической обстановки, февраль 2025 года выдался достаточно холодным, об этом говорит повышенное давление, сопровождавшееся антициклонической активностью, которая приносит с собой северные холодные ветры. Если говорить о скорости ветра, то за весь зимний период в феврале наблюдались самые низкие значения не превышающие 5 м/с. Именно такая обстановка благоприятствует накоплению негативных примесей в атмосферном воздухе, которое происходит в связи с проявлением отопительного сезона в зимний период.

В летний сезон 2025 года основными выделившимися месяцами были июль и август. В июле наблюдался рост концентраций  $PM_{2.5}$  и  $NO_2$ , в августе -  $NO_2$  и  $O_3$ . По своей метеорологической ситуации они полностью противопоставляются друг другу. Июль в начале месяца был прохладным и достаточно влажным, с преобладанием высокой скорости ветра (10 м/с), так как находился под влиянием западного циклона (при этом осадков не наблюдалось), это объясняет повышение концентрации оксида азота, который негативно влияет на качество воздуха через наличие автотранспортного потока.

Август проявил себя во второй половине месяца. В это период метеорологическая обстановка поспособствовала увеличению концентраций оксида азота и озона. К концу месяца температура воздуха постепенно начинала снижаться, атмосферное давление не превышало 760 мм рт. ст., также преобладали низкие скорости ветра (2 м/с). Можно предположить, что низкое атмосферное давление вызвало температурную инверсию, то есть теплый воздух находится ниже холодного, что блокирует вертикальное перемешивание и способствует накоплению  $NO_2$  в приземном слое атмосферы. Это также объясняется и малой скоростью ветра. Накопление озона происходит при фотохимической реакции с азотом и объясняется наличием солнечного излучения.

В целом, при сравнении двух сезонов можно сделать вывод, что зима обладала большими концентрациями, а влияние метеорологических параметров

и синоптической обстановки в целом интенсивнее сказывается на изменении концентрации примесей в течение всего сезона на исследуемой территории.

В дальнейшем планируется продолжение исследования станции по мониторингу выбранного района в городе Гатчина. Наблюдения будут представлять сезонные загрязнения последних и будущих лет, а также наблюдения за формированием и усовершенствованием автоматической станции мониторинга. В последующий период предполагается проведение анализа новых веществ, а также анализа выявленных изменений концентраций и представление полной научной работы.

#### Список литературы

1. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии, Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, 1955. - 875 с.
2. Дашко, Н. А. Курс лекций по синоптической метеорологии, 2005. — 517 с.
3. Мифтахов М. Н. Учебное пособие для магистрантов, Процессы и аппараты защиты биосферы. Защита атмосферы, Набережные Челны, 2018. — 100 с.
4. Хабутдинов Ю.Г., Шанталинский К.М., Николаев А.А. Учение об атмосфере: учебное пособие – Казань: Издание Казанского государственного университета, 2010. – 255 с.
5. Морозов А. Е., Стародубцева Н. И., Учебное пособие «Метеорологические условия и загрязнение атмосферы», Екатеринбург, 2020. – 128 с.
6. Еремкин А.И., Квашнин И.М., Юнкеров Ю.И. Нормирование выбросов, загрязняющих веществ в атмосферу. — М.: Ассоциация строительных вузов, 2001. – 379 с.

7. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – М., - 2003. – 41с.
8. UNFCCC (Рамочная конвенция ООН об изменении климата) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://unfccc.int> (дата обращения: 20.04.2026).
9. Росприроднадзор [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rpn.gov.ru> (дата обращения: 22.03.2026).
10. OZON PROGRAM (Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой) [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.ozonprogram.ru/ozonovoe\\_zakonodatelstvo/protokol/](https://www.ozonprogram.ru/ozonovoe_zakonodatelstvo/protokol/) (дата обращения: 22.03.2026).
11. Апкин Р.Н., Минакова Е.А. А76 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.
12. Экология СПРАВОЧНИК [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru-ecology.info/term/2913/> (дата обращения: 28.03.2026).
13. Хаустов А. П., Редина М. М. «Экологический мониторинг» 2016, учебник для академического бакалавриата, 489 с.
14. Комитет по природным ресурсам Ленинградской области [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://kpr.lenobl.ru/ru/deiatelnost/ohrana-i-monitoring-okruzhayushej-sredy/dannye-avtomaticheskikh-postov-monitoringa-atmosfernogo-vozduha/> (дата обращения: 17.08.2025).
15. Яндекс Карты [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://yandex.ru/maps/10867/gatchina/house/ulitsa\\_aviatrissy\\_zverevoy\\_12a/Z0kYdg5hTUwBQFtjfXl0dX9rZg==/?ll=30.091496%2C59.554382&source=serp\\_navig&z=16.27](https://yandex.ru/maps/10867/gatchina/house/ulitsa_aviatrissy_zverevoy_12a/Z0kYdg5hTUwBQFtjfXl0dX9rZg==/?ll=30.091496%2C59.554382&source=serp_navig&z=16.27) (дата обращения: 15.09.2025)

16. Погода в Санкт-Петербурге – РП5 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Белогорке](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Белогорке) (дата обращения: 30.08.2025).

17. Ventusky – прогноз погоды, радар и карты ветра [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ventusky.com/ru#p=59.6;30.1;5&t=20250607/1800> (дата обращения: 30.08.2025).

## Приложения

Таблица 1 Данные концентраций загрязняющих веществ, температуры, давления, влажности, скорости и направления ветра за зимний период 2024-2025 гг. в г. Гатчина

| Дата       | T, °C | P, мм рт.ст. | f (%) | d, град | V, м/с | PM <sub>2.5</sub> , Доли ПДК <sub>сс</sub> | PM <sub>10</sub> , Доли ПДК <sub>сс</sub> | CO, Доли ПДК <sub>сс</sub> | NO <sub>2</sub> , Доли ПДК <sub>сс</sub> | SO <sub>2</sub> , Доли ПДК <sub>сс</sub> | O <sub>3</sub> , Доли ПДК <sub>сс</sub> |
|------------|-------|--------------|-------|---------|--------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 01.12.2024 | 5,84  | 757,64       | 73,66 | 215,00  | 6,00   | 0,18                                       | 0,12                                      | 0,07                       | 0,02                                     | 0,00                                     | 0,14                                    |
| 02.12.2024 | 3,03  | 753,98       | 74,17 | 205,00  | 6,00   | 0,53                                       | 0,35                                      | 0,10                       | 0,01                                     | 0,00                                     | 0,12                                    |
| 03.12.2024 | 1,30  | 750,23       | 77,07 | 240,00  | 4,00   | 0,40                                       | 0,28                                      | 0,11                       | 0,01                                     | 0,00                                     | 0,13                                    |
| 04.12.2024 | -2,72 | 764,12       | 74,84 | 290,00  | 2,00   | 0,36                                       | 0,25                                      | 0,20                       | 0,12                                     | 0,00                                     | 0,11                                    |
| 05.12.2024 | -4,42 | 769,37       | 75,53 | 135,00  | 2,00   | 0,39                                       | 0,27                                      | 0,15                       | 0,02                                     | 0,00                                     | 0,13                                    |
| 06.12.2024 | -1,91 | 763,78       | 75,23 | 150,00  | 3,00   | 0,22                                       | 0,14                                      | 0,10                       | 0,01                                     | 0,00                                     | 0,12                                    |
| 07.12.2024 | -1,37 | 761,36       | 75,75 | 120,00  | 2,00   | 0,48                                       | 0,32                                      | 0,11                       | 0,01                                     | 0,00                                     | 0,12                                    |
| 08.12.2024 | -1,53 | 762,86       | 74,55 | 115,00  | 1,00   | 0,37                                       | 0,23                                      | 0,10                       | 0,00                                     | 0,00                                     | 0,11                                    |
| 09.12.2024 | -1,85 | 767,77       | 75,27 | 280,00  | 2,00   | 0,60                                       | 0,41                                      | 0,13                       | 0,07                                     | 0,00                                     | 0,12                                    |
| 10.12.2024 | 0,86  | 763,06       | 77,05 | 233,00  | 5,00   | 0,35                                       | 0,23                                      | 0,08                       | 0,01                                     | 0,00                                     | 0,12                                    |
| 11.12.2024 | 2,25  | 754,58       | 73,54 | 278,00  | 5,00   | 0,15                                       | 0,11                                      | 0,07                       | 0,00                                     | 0,00                                     | 0,13                                    |
| 12.12.2024 | -1,97 | 754,02       | 64,74 | 321,00  | 4,00   | 0,01                                       | 0,01                                      | 0,08                       | 0,00                                     | 0,00                                     | 0,17                                    |
| 13.12.2024 | -4,17 | 758,64       | 65,03 | 264,00  | 4,00   | 0,07                                       | 0,06                                      | 0,09                       | 0,06                                     | 0,00                                     | 0,16                                    |
| 14.12.2024 | -2,30 | 746,03       | 75,86 | 175,00  | 2,00   | 0,20                                       | 0,14                                      | 0,10                       | 0,03                                     | 0,00                                     | 0,13                                    |
| 15.12.2024 | -1,68 | 736,21       | 77,21 | 276,00  | 3,00   | 0,51                                       | 0,36                                      | 0,16                       | 0,10                                     | 0,00                                     | 0,10                                    |
| 16.12.2024 | -2,53 | 731,55       | 75,44 | 189,00  | 3,00   | 0,15                                       | 0,10                                      | 0,10                       | 0,04                                     | 0,00                                     | 0,13                                    |

|            |        |        |       |        |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|--------|--------|-------|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| 17.12.2024 | -6,62  | 736,89 | 71,23 | 308,00 | 2,00 | 0,19 | 0,13 | 0,13 | 0,05 | 0,00 | 0,12 |
| 18.12.2024 | -12,16 | 750,98 | 70,59 | 275,00 | 1,00 | 0,46 | 0,32 | 0,23 | 0,16 | 0,00 | 0,11 |
| 19.12.2024 | -4,79  | 740,26 | 75,35 | 171,00 | 4,00 | 0,12 | 0,08 | 0,12 | 0,01 | 0,01 | 0,13 |
| 20.12.2024 | 4,25   | 733,20 | 80,62 | 202,00 | 4,00 | 0,08 | 0,06 | 0,08 | 0,01 | 0,00 | 0,11 |
| 21.12.2024 | -0,40  | 740,81 | 75,08 | 220,00 | 6,00 | 0,03 | 0,03 | 0,08 | 0,03 | 0,00 | 0,13 |
| 22.12.2024 | 2,25   | 741,54 | 79,54 | 188,00 | 5,00 | 0,21 | 0,14 | 0,09 | 0,00 | 0,00 | 0,11 |
| 23.12.2024 | 1,69   | 747,75 | 78,95 | 176,00 | 3,00 | 0,29 | 0,20 | 0,09 | 0,00 | 0,00 | 0,11 |
| 24.12.2024 | 0,48   | 755,82 | 78,38 | 181,00 | 2,00 | 0,31 | 0,21 | 0,10 | 0,01 | 0,00 | 0,11 |
| 25.12.2024 | 2,85   | 760,56 | 77,81 | 218,00 | 4,00 | 0,13 | 0,09 | 0,13 | 0,06 | 0,00 | 0,21 |
| 26.12.2024 | 4,81   | 761,04 | 81,79 | 234,00 | 4,00 | 0,08 | 0,06 | 0,08 | 0,04 | 0,00 | 0,12 |
| 27.12.2024 | 3,13   | 764,84 | 79,71 | 253,00 | 2,00 | 0,21 | 0,15 | 0,08 | 0,03 | 0,00 | 0,12 |
| 28.12.2024 | -0,20  | 760,50 | 99,00 | 260,00 | 2,00 | 0,18 | 0,10 | 0,08 | 0,02 | 0,00 | 0,14 |
| 29.12.2024 | 2,00   | 752,70 | 98,00 | 205,00 | 5,00 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,01 | 0,00 | 0,13 |
| 30.12.2024 | 1,30   | 742,11 | 76,64 | 230,00 | 7,00 | 0,00 | 0,00 | 0,07 | 0,01 | 0,00 | 0,13 |
| 31.12.2024 | -0,66  | 745,28 | 69,73 | 192,00 | 3,00 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,13 |
| 01.01.2025 | -0,58  | 739,00 | 73,01 | 231,00 | 4,00 | 0,04 | 0,03 | 0,08 | 0,03 | 0,00 | 0,14 |
| 02.01.2025 | -2,32  | 731,65 | 75,28 | 268,00 | 3,00 | 0,04 | 0,03 | 0,08 | 0,02 | 0,00 | 0,12 |
| 03.01.2025 | -3,02  | 738,11 | 75,21 | 194,00 | 4,00 | 0,05 | 0,04 | 0,09 | 0,06 | 0,00 | 0,13 |
| 04.01.2025 | -5,73  | 741,39 | 74,72 | 181,00 | 1,00 | 0,28 | 0,19 | 0,13 | 0,15 | 0,00 | 0,11 |
| 05.01.2025 | -5,25  | 744,07 | 74,17 | 276,00 | 3,00 | 0,08 | 0,06 | 0,10 | 0,04 | 0,00 | 0,13 |
| 06.01.2025 | -6,40  | 749,79 | 73,75 | 192,00 | 3,00 | 0,37 | 0,27 | 0,14 | 0,10 | 0,00 | 0,12 |
| 07.01.2025 | -3,33  | 744,65 | 76,40 | 135,00 | 2,00 | 0,43 | 0,30 | 0,12 | 0,01 | 0,00 | 0,12 |
| 08.01.2025 | 1,26   | 738,83 | 80,42 | 187,00 | 5,00 | 0,24 | 0,16 | 0,12 | 0,02 | 0,01 | 0,11 |
| 09.01.2025 | 1,46   | 745,08 | 78,97 | 218,00 | 4,00 | 0,17 | 0,11 | 0,09 | 0,03 | 0,00 | 0,12 |
| 10.01.2025 | -0,31  | 748,48 | 80,06 | 89,00  | 2,00 | 0,42 | 0,28 | 0,12 | 0,04 | 0,00 | 0,11 |
| 11.01.2025 | 1,04   | 746,07 | 81,08 | 96,00  | 3,00 | 0,22 | 0,14 | 0,14 | 0,10 | 0,00 | 0,10 |
| 12.01.2025 | -2,13  | 754,72 | 80,95 | 4,00   | 3,00 | 0,08 | 0,06 | 0,14 | 0,11 | 0,02 | 0,11 |
| 13.01.2025 | -5,07  | 761,88 | 78,41 | 224,00 | 2,00 | 0,10 | 0,07 | 0,10 | 0,05 | 0,00 | 0,13 |
| 14.01.2025 | 1,68   | 747,43 | 81,52 | 230,00 | 7,00 | 0,04 | 0,03 | 0,08 | 0,01 | 0,00 | 0,13 |
| 15.01.2025 | 1,39   | 756,38 | 77,10 | 251,00 | 3,00 | 0,14 | 0,09 | 0,10 | 0,13 | 0,00 | 0,11 |

|            |       |        |       |        |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|-------|--------|-------|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| 16.01.2025 | 2,80  | 753,33 | 79,00 | 245,00 | 7,00 | 0,06 | 0,04 | 0,07 | 0,01 | 0,00 | 0,13 |
| 17.01.2025 | 3,22  | 755,23 | 80,24 | 268,00 | 6,00 | 0,07 | 0,05 | 0,07 | 0,01 | 0,00 | 0,12 |
| 18.01.2025 | 3,39  | 750,70 | 67,77 | 273,00 | 5,00 | 0,05 | 0,04 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,15 |
| 19.01.2025 | 1,27  | 754,16 | 70,24 | 269,00 | 4,00 | 0,05 | 0,04 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,17 |
| 20.01.2025 | -1,08 | 760,10 | 69,59 | 323,00 | 3,00 | 0,10 | 0,07 | 0,11 | 0,09 | 0,00 | 0,14 |
| 21.01.2025 | -5,30 | 764,72 | 55,00 | 89,00  | 3,00 | 0,13 | 0,09 | 0,12 | 0,16 | 0,00 | 0,16 |
| 22.01.2025 | -3,28 | 755,79 | 71,32 | 145,00 | 3,00 | 0,23 | 0,15 | 0,11 | 0,04 | 0,00 | 0,15 |
| 23.01.2025 | 1,43  | 752,19 | 77,23 | 196,00 | 4,00 | 0,45 | 0,30 | 0,14 | 0,01 | 0,00 | 0,11 |
| 24.01.2025 | 1,64  | 751,15 | 77,88 | 179,00 | 4,00 | 0,27 | 0,18 | 0,12 | 0,01 | 0,00 | 0,11 |
| 25.01.2025 | 2,45  | 749,25 | 76,73 | 220,00 | 5,00 | 0,32 | 0,21 | 0,12 | 0,01 | 0,00 | 0,12 |
| 26.01.2025 | 3,26  | 748,51 | 76,17 | 224,00 | 3,00 | 0,28 | 0,19 | 0,12 | 0,08 | 0,00 | 0,12 |
| 27.01.2025 | 2,43  | 745,85 | 79,59 | 224,00 | 2,00 | 0,32 | 0,22 | 0,16 | 0,07 | 0,02 | 0,11 |
| 28.01.2025 | 2,90  | 748,29 | 80,85 | 168,00 | 2,00 | 0,45 | 0,29 | 0,13 | 0,06 | 0,00 | 0,11 |
| 29.01.2025 | 4,56  | 748,79 | 82,01 | 137,00 | 3,00 | 0,70 | 0,47 | 0,11 | 0,02 | 0,00 | 0,12 |
| 30.01.2025 | 5,72  | 748,94 | 80,76 | 191,00 | 4,00 | 0,21 | 0,14 | 0,09 | 0,02 | 0,00 | 0,12 |
| 31.01.2025 | 4,98  | 753,99 | 78,41 | 204,00 | 4,00 | 0,19 | 0,13 | 0,09 | 0,08 | 0,00 | 0,13 |
| 01.02.2025 | 1,63  | 753,45 | 78,08 | 359,00 | 4,00 | 0,24 | 0,16 | 0,11 | 0,11 | 0,00 | 0,12 |
| 02.02.2025 | -0,60 | 751,69 | 77,25 | 334,00 | 3,00 | 0,08 | 0,05 | 0,12 | 0,05 | 0,00 | 0,13 |
| 03.02.2025 | -3,61 | 756,16 | 76,43 | 3,00   | 3,00 | 0,16 | 0,11 | 0,13 | 0,09 | 0,00 | 0,12 |
| 04.02.2025 | -8,84 | 763,45 | 69,95 | 135,00 | 0,00 | 0,70 | 0,50 | 0,26 | 0,23 | 0,00 | 0,10 |
| 05.02.2025 | -8,45 | 768,36 | 71,25 | 173,00 | 3,00 | 0,58 | 0,41 | 0,18 | 0,10 | 0,00 | 0,11 |
| 06.02.2025 | -2,01 | 772,98 | 74,21 | 159,00 | 2,00 | 0,22 | 0,15 | 0,12 | 0,02 | 0,00 | 0,11 |
| 07.02.2025 | -4,23 | 782,92 | 73,09 | 180,00 | 0,00 | 1,13 | 0,78 | 0,45 | 0,09 | 0,34 | 0,12 |
| 08.02.2025 | -6,76 | 781,95 | 73,84 | 90,00  | 0,00 | 1,34 | 0,96 | 0,37 | 0,01 | 0,00 | 0,12 |
| 09.02.2025 | -4,41 | 776,75 | 76,16 | 137,00 | 2,00 | 0,45 | 0,31 | 0,11 | 0,00 | 0,00 | 0,11 |
| 10.02.2025 | -4,42 | 774,56 | 75,05 | 269,00 | 1,00 | 0,86 | 0,59 | 0,12 | 0,01 | 0,00 | 0,12 |
| 11.02.2025 | -3,44 | 774,62 | 76,46 | 220,00 | 2,00 | 0,42 | 0,29 | 0,11 | 0,00 | 0,00 | 0,12 |
| 12.02.2025 | -5,62 | 767,40 | 76,85 | 227,00 | 3,00 | 0,49 | 0,36 | 0,11 | 0,01 | 0,00 | 0,12 |
| 13.02.2025 | -3,61 | 759,32 | 75,72 | 237,00 | 1,00 | 0,57 | 0,38 | 0,18 | 0,15 | 0,02 | 0,10 |
| 14.02.2025 | -5,98 | 756,85 | 73,48 | 352,00 | 2,00 | 0,29 | 0,20 | 0,14 | 0,10 | 0,00 | 0,14 |

|            |       |        |       |        |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|-------|--------|-------|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| 15.02.2025 | -8,08 | 755,50 | 71,91 | 316,00 | 1,00 | 0,22 | 0,15 | 0,13 | 0,03 | 0,00 | 0,15 |
| 16.02.2025 | -9,30 | 755,30 | 69,83 | 275,00 | 1,00 | 0,15 | 0,10 | 0,13 | 0,02 | 0,00 | 0,16 |
| 17.02.2025 | -7,85 | 754,61 | 68,94 | 262,00 | 2,00 | 0,29 | 0,20 | 0,13 | 0,12 | 0,00 | 0,14 |
| 18.02.2025 | -5,98 | 754,50 | 71,29 | 239,00 | 4,00 | 0,23 | 0,16 | 0,11 | 0,06 | 0,00 | 0,14 |
| 19.02.2025 | -4,99 | 760,32 | 70,33 | 270,00 | 3,00 | 0,05 | 0,04 | 0,10 | 0,06 | 0,00 | 0,15 |
| 20.02.2025 | -5,76 | 766,67 | 70,88 | 225,00 | 2,00 | 0,25 | 0,18 | 0,15 | 0,23 | 0,00 | 0,11 |
| 21.02.2025 | -2,04 | 767,30 | 69,85 | 203,00 | 5,00 | 0,16 | 0,11 | 0,10 | 0,02 | 0,00 | 0,15 |
| 22.02.2025 | -1,40 | 765,63 | 65,48 | 182,00 | 3,00 | 0,27 | 0,19 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,16 |
| 23.02.2025 | -0,40 | 765,12 | 63,05 | 179,00 | 3,00 | 0,45 | 0,30 | 0,11 | 0,01 | 0,00 | 0,15 |
| 24.02.2025 | -1,06 | 762,82 | 61,53 | 180,00 | 3,00 | 0,76 | 0,52 | 0,15 | 0,16 | 0,00 | 0,14 |
| 25.02.2025 | -0,32 | 758,73 | 56,79 | 176,00 | 2,00 | 0,92 | 0,62 | 0,15 | 0,18 | 0,03 | 0,15 |
| 26.02.2025 | 1,64  | 756,33 | 54,94 | 180,00 | 4,00 | 0,79 | 0,55 | 0,13 | 0,07 | 0,01 | 0,19 |
| 27.02.2025 | 2,73  | 758,71 | 66,73 | 169,00 | 2,00 | 0,91 | 0,63 | 0,13 | 0,12 | 0,00 | 0,14 |
| 28.02.2025 | 1,68  | 759,04 | 66,50 | 235,00 | 0,00 | 1,06 | 0,72 | 0,13 | 0,14 | 0,00 | 0,14 |

Таблица 2 Данные концентраций загрязняющих веществ, температуры, давления, влажности, скорости и направления ветра за летний период 2025 г. в г. Гатчина

| Дата       | Т, °С | Р, мм рт.ст. | f (%) | d, град | V, м/с | PM <sub>2.5</sub> , Доли ПДК <sub>cc</sub> | PM <sub>10</sub> , Доли ПДК <sub>cc</sub> | CO, Доли ПДК <sub>cc</sub> | NO <sub>2</sub> , Доли ПДК <sub>cc</sub> | SO <sub>2</sub> , Доли ПДК <sub>cc</sub> | O <sub>3</sub> , Доли ПДК <sub>cc</sub> |
|------------|-------|--------------|-------|---------|--------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 01.06.2025 | 13,95 | 751,88       | 51,89 | 181,00  | 2      | 0,03                                       | 0,02                                      | 0,04                       | 0,28                                     | 0,02                                     | 0,16                                    |
| 02.06.2025 | 15,38 | 750,42       | 52,10 | 199,00  | 4,00   | 0,12                                       | 0,08                                      | 0,07                       | 0,48                                     | 0,08                                     | 0,14                                    |
| 03.06.2025 | 17,17 | 749,50       | 56,55 | 245,00  | 3,00   | 0,16                                       | 0,10                                      | 0,04                       | 0,13                                     | 0,00                                     | 0,16                                    |
| 04.06.2025 | 17,09 | 752,33       | 47,97 | 267,00  | 4,00   | 0,13                                       | 0,09                                      | 0,05                       | 0,38                                     | 0,03                                     | 0,15                                    |
| 05.06.2025 | 17,78 | 750,63       | 55,12 | 180,00  | 4,00   | 0,39                                       | 0,25                                      | 0,07                       | 0,53                                     | 0,05                                     | 0,14                                    |
| 06.06.2025 | 19,37 | 748,91       | 59,10 | 317,00  | 1,00   | 0,47                                       | 0,31                                      | 0,06                       | 0,35                                     | 0,00                                     | 0,13                                    |
| 07.06.2025 | 18,98 | 748,41       | 54,06 | 225,00  | 5,00   | 0,19                                       | 0,12                                      | 0,06                       | 0,44                                     | 0,00                                     | 0,14                                    |
| 08.06.2025 | 17,70 | 747,27       | 59,32 | 269,00  | 3,00   | 0,13                                       | 0,08                                      | 0,06                       | 0,39                                     | 0,00                                     | 0,14                                    |
| 09.06.2025 | 13,42 | 744,77       | 73,29 | 2,00    | 1,00   | 0,35                                       | 0,22                                      | 0,09                       | 0,53                                     | 0,00                                     | 0,09                                    |
| 10.06.2025 | 16,10 | 749,57       | 63,82 | 247,00  | 4,00   | 0,21                                       | 0,13                                      | 0,05                       | 0,24                                     | 0,00                                     | 0,12                                    |

|            |       |        |       |        |             |      |      |      |      |      |      |
|------------|-------|--------|-------|--------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 11.06.2025 | 15,23 | 753,17 | 63,51 | 179,00 | 2,00        | 0,19 | 0,13 | 0,06 | 0,40 | 0,00 | 0,12 |
| 12.06.2025 | 16,14 | 753,34 | 61,32 | 45,00  | 3,00        | 0,30 | 0,19 | 0,07 | 0,26 | 0,00 | 0,14 |
| 13.06.2025 | 16,37 | 758,12 | 60,87 | 31,00  | 3,00        | 0,32 | 0,20 | 0,07 | 0,32 | 0,00 | 0,16 |
| 14.06.2025 | 17,90 | 759,44 | 52,62 | 323,00 | 3,00        | 0,21 | 0,13 | 0,05 | 0,25 | 0,01 | 0,17 |
| 15.06.2025 | 20,72 | 754,24 | 45,63 | 275,00 | 2,00        | 0,12 | 0,08 | 0,04 | 0,34 | 0,03 | 0,18 |
| 16.06.2025 | 21,66 | 750,02 | 50,69 | 268,00 | 2,00        | 0,38 | 0,23 | 0,08 | 0,60 | 0,00 | 0,17 |
| 17.06.2025 | 17,49 | 747,65 | 65,34 | 0,00   | 0,00        | 0,57 | 0,37 | 0,08 | 0,47 | 0,00 | 0,13 |
| 18.06.2025 | 17,63 | 746,10 | 63,16 | 226,00 | 3,00        | 0,19 | 0,12 | 0,06 | 0,26 | 0,00 | 0,16 |
| 19.06.2025 | 14,75 | 742,39 | 70,53 | 270,00 | 6,00        | 0,09 | 0,06 | 0,06 | 0,16 | 0,00 | 0,16 |
| 20.06.2025 | 15,26 | 748,94 | 56,84 | 3,00   | 8,00        | 0,10 | 0,06 | 0,06 | 0,19 | 0,00 | 0,15 |
| 21.06.2025 | 15,37 | 751,27 | 57,86 | 112,00 | 5,00        | 0,16 | 0,11 | 0,06 | 0,33 | 0,00 | 0,18 |
| 22.06.2025 | 15,34 | 750,69 | 58,50 | 43,00  | 8,00        | 0,12 | 0,08 | 0,05 | 0,20 | 0,00 | 0,14 |
| 23.06.2025 | 17,37 | 750,71 | 44,36 | 180,00 | 3,00        | 0,13 | 0,08 | 0,06 | 0,38 | 0,00 | 0,16 |
| 24.06.2025 | 16,12 | 738,90 | 63,15 | 186,00 | 5,00        | 0,09 | 0,06 | 0,06 | 0,33 | 0,00 | 0,15 |
| 25.06.2025 | 14,37 | 734,30 | 71,32 | 264,00 | 6,00        | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,24 | 0,00 | 0,15 |
| 26.06.2025 | 14,83 | 744,65 | 65,54 | 282,00 | 3,00        | 0,14 | 0,09 | 0,06 | 0,19 | 0,03 | 0,16 |
| 27.06.2025 | 17,94 | 749,40 | 52,41 | 178,00 | 2,00        | 0,14 | 0,09 | 0,05 | 0,35 | 0,00 | 0,13 |
| 28.06.2025 | 15,80 | 746,92 | 68,31 | 89,00  | 2,00        | 0,24 | 0,15 | 0,07 | 0,40 | 0,00 | 0,14 |
| 29.06.2025 | 14,71 | 740,38 | 73,50 | 263,00 | 4,00        | 0,18 | 0,12 | 0,05 | 0,16 | 0,00 | 0,15 |
| 30.06.2025 | 14,75 | 741,57 | 72,65 | 315,00 | <u>3,00</u> | 0,13 | 0,08 | 0,05 | 0,14 | 0,00 | 0,15 |
| 01.07.2025 | 16,81 | 747,82 | 60,94 | 45,00  | 3,00        | 0,19 | 0,12 | 0,06 | 0,21 | 0,00 | 0,18 |
| 02.07.2025 | 20,81 | 751,73 | 57,63 | 316,00 | 0,00        | 0,20 | 0,13 | 0,07 | 0,33 | 0,05 | 0,16 |
| 03.07.2025 | 24,47 | 749,59 | 65,26 | 183,00 | 3,00        | 0,17 | 0,11 | 0,06 | 0,66 | 0,50 | 0,15 |
| 04.07.2025 | 16,58 | 748,06 | 70,49 | 269,00 | 10,00       | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,32 | 0,11 | 0,16 |
| 05.07.2025 | 13,97 | 751,23 | 87,08 | 227,00 | 4,00        | 0,10 | 0,06 | 0,05 | 0,26 | 0,00 | 0,18 |
| 06.07.2025 | 15,20 | 747,11 | 96,02 | 220,00 | 4,00        | 0,14 | 0,09 | 0,06 | 0,22 | 0,00 | 0,16 |
| 07.07.2025 | 19,85 | 746,91 | 82,26 | 182,00 | 4,00        | 0,15 | 0,10 | 0,07 | 0,33 | 0,07 | 0,15 |
| 08.07.2025 | 18,26 | 742,81 | 94,33 | 259,00 | 9,00        | 0,27 | 0,17 | 0,06 | 0,29 | 0,00 | 0,17 |
| 09.07.2025 | 16,81 | 751,44 | 78,97 | 89,00  | 1,00        | 0,13 | 0,08 | 0,06 | 0,29 | 0,00 | 0,17 |
| 10.07.2025 | 14,58 | 752,92 | 81,76 | 23,00  | 4,00        | 0,18 | 0,11 | 0,06 | 0,29 | 0,00 | 0,16 |

|            |       |        |       |        |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|-------|--------|-------|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| 11.07.2025 | 20,79 | 754,85 | 69,63 | 27,00  | 3,00 | 0,50 | 0,32 | 0,05 | 0,25 | 0,25 | 0,20 |
| 12.07.2025 | 27,86 | 756,92 | 57,53 | 179,00 | 3,00 | 0,63 | 0,39 | 0,07 | 0,27 | 0,62 | 0,15 |
| 13.07.2025 | 25,20 | 758,80 | 58,05 | 69,00  | 2,00 | 0,40 | 0,25 | 0,04 | 0,19 | 0,25 | 0,21 |
| 14.07.2025 | 21,62 | 755,57 | 62,94 | 22,00  | 3,00 | 0,78 | 0,48 | 0,08 | 0,33 | 0,00 | 0,08 |
| 15.07.2025 | 19,83 | 756,62 | 71,29 | 89,00  | 3,00 | 0,18 | 0,11 | 0,02 | 0,11 | 0,00 | 0,08 |
| 16.07.2025 | 24,69 | 753,36 | 52,63 | 47,00  | 2,00 | 0,41 | 0,25 | 0,04 | 0,18 | 0,16 | 0,23 |
| 17.07.2025 | 22,73 | 754,98 | 48,82 | 43,00  | 2,00 | 0,25 | 0,16 | 0,05 | 0,25 | 0,19 | 0,16 |
| 18.07.2025 | 23,54 | 758,99 | 39,89 | 88,00  | 3,00 | 0,13 | 0,08 | 0,03 | 0,19 | 0,33 | 0,23 |
| 19.07.2025 | 23,54 | 758,06 | 45,10 | 91,00  | 1,00 | 0,21 | 0,13 | 0,04 | 0,20 | 0,32 | 0,20 |
| 20.07.2025 | 22,68 | 755,35 | 54,11 | 83,00  | 4,00 | 0,28 | 0,17 | 0,04 | 0,24 | 0,03 | 0,17 |
| 21.07.2025 | 21,84 | 754,28 | 68,39 | 46,00  | 2,00 | 0,44 | 0,27 | 0,05 | 0,22 | 0,00 | 0,16 |
| 22.07.2025 | 23,17 | 753,20 | 61,70 | 92,00  | 3,00 | 0,45 | 0,27 | 0,04 | 0,16 | 0,01 | 0,23 |
| 23.07.2025 | 24,51 | 752,80 | 54,62 | 51,00  | 2,00 | 0,56 | 0,36 | 0,06 | 0,19 | 0,08 | 0,23 |
| 24.07.2025 | 26,51 | 754,59 | 44,44 | 39,00  | 2,00 | 0,54 | 0,34 | 0,05 | 0,21 | 0,45 | 0,23 |
| 25.07.2025 | 27,10 | 755,44 | 44,60 | 178,00 | 2,00 | 0,58 | 0,37 | 0,06 | 0,24 | 0,66 | 0,15 |
| 26.07.2025 | 26,65 | 755,13 | 48,17 | 180,00 | 3,00 | 0,53 | 0,32 | 0,05 | 0,21 | 0,44 | 0,22 |
| 27.07.2025 | 25,71 | 755,49 | 50,82 | 135,00 | 3,00 | 0,51 | 0,32 | 0,04 | 0,19 | 0,23 | 0,25 |
| 28.07.2025 | 24,62 | 754,94 | 58,38 | 137,00 | 3,00 | 0,30 | 0,18 | 0,03 | 0,20 | 0,09 | 0,22 |
| 29.07.2025 | 26,45 | 754,54 | 53,39 | 120,00 | 3,00 | 0,34 | 0,21 | 0,03 | 0,16 | 0,18 | 0,28 |
| 30.07.2025 | 27,68 | 756,34 | 48,92 | 104,00 | 2,00 | 0,57 | 0,35 | 0,04 | 0,21 | 0,47 | 0,24 |
| 31.07.2025 | 24,99 | 755,07 | 55,89 | 40,00  | 2,00 | 0,81 | 0,51 | 0,06 | 0,22 | 0,03 | 0,22 |
| 01.08.2025 | 23,13 | 752,65 | 61,18 | 94,00  | 2,00 | 0,44 | 0,27 | 0,04 | 0,20 | 0,03 | 0,21 |
| 02.08.2025 | 22,74 | 754,55 | 60,34 | 275,00 | 1,00 | 0,35 | 0,22 | 0,05 | 0,18 | 0,08 | 0,17 |
| 03.08.2025 | 23,24 | 760,18 | 53,29 | 167,00 | 2,00 | 0,47 | 0,30 | 0,08 | 0,19 | 0,09 | 0,21 |
| 04.08.2025 | 24,97 | 759,36 | 49,84 | 120,00 | 2,00 | 0,34 | 0,21 | 0,05 | 0,22 | 0,24 | 0,20 |
| 05.08.2025 | 23,27 | 754,68 | 53,58 | 220,00 | 4,00 | 0,35 | 0,22 | 0,05 | 0,20 | 0,03 | 0,20 |
| 06.08.2025 | 20,04 | 752,33 | 60,87 | 191,00 | 3,00 | 0,12 | 0,08 | 0,02 | 0,17 | 0,00 | 0,20 |
| 07.08.2025 | 18,21 | 752,50 | 68,38 | 225,00 | 4,00 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,36 | 0,13 | 0,30 |
| 08.08.2025 | 17,78 | 754,26 | 77,48 | 202,00 | 3,00 | 0,14 | 0,10 | 0,09 | 0,61 | 0,19 | 0,52 |
| 09.08.2025 | 18,85 | 754,92 | 73,32 | 269,00 | 4,00 | 0,23 | 0,15 | 0,09 | 0,62 | 0,26 | 0,54 |

|            |       |        |       |        |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|-------|--------|-------|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| 10.08.2025 | 18,90 | 752,79 | 78,63 | 226,00 | 2,00 | 0,41 | 0,27 | 0,09 | 0,70 | 0,42 | 0,52 |
| 11.08.2025 | 18,84 | 751,17 | 77,11 | 276,00 | 2,00 | 0,14 | 0,10 | 0,07 | 0,54 | 0,12 | 0,55 |
| 12.08.2025 | 18,76 | 752,98 | 73,20 | 270,00 | 4,00 | 0,04 | 0,03 | 0,08 | 0,57 | 0,18 | 0,53 |
| 13.08.2025 | 17,87 | 755,82 | 73,80 | 315,00 | 2,00 | 0,06 | 0,05 | 0,08 | 0,59 | 0,35 | 0,55 |
| 14.08.2025 | 19,06 | 759,48 | 68,99 | 359,00 | 3,00 | 0,04 | 0,03 | 0,08 | 0,66 | 0,36 | 0,56 |
| 15.08.2025 | 19,74 | 757,79 | 68,46 | 225,00 | 3,00 | 0,14 | 0,10 | 0,09 | 0,79 | 0,41 | 0,50 |
| 16.08.2025 | 17,23 | 745,79 | 77,93 | 226,00 | 4,00 | 0,08 | 0,05 | 0,08 | 0,59 | 0,19 | 0,53 |
| 17.08.2025 | 15,16 | 744,95 | 76,34 | 110,00 | 2,00 | 0,04 | 0,03 | 0,08 | 0,59 | 0,16 | 0,52 |
| 18.08.2025 | 16,58 | 749,22 | 85,50 | 317,00 | 2,00 | 0,16 | 0,10 | 0,08 | 0,60 | 0,14 | 0,52 |
| 19.08.2025 | 16,61 | 746,67 | 85,93 | 250,00 | 5,00 | 0,15 | 0,10 | 0,08 | 0,53 | 0,05 | 0,51 |
| 20.08.2025 | 14,28 | 745,02 | 74,81 | 272,00 | 2,00 | 0,03 | 0,02 | 0,08 | 0,41 | 0,02 | 0,53 |
| 21.08.2025 | 12,99 | 747,51 | 73,78 | 270,00 | 1,00 | 0,04 | 0,03 | 0,08 | 0,60 | 0,14 | 0,51 |
| 22.08.2025 | 13,11 | 746,45 | 81,39 | 180,00 | 3,00 | 0,06 | 0,04 | 0,09 | 0,68 | 0,22 | 0,51 |
| 23.08.2025 | 13,11 | 743,28 | 88,86 | 223,00 | 4,00 | 0,13 | 0,09 | 0,08 | 0,54 | 0,14 | 0,52 |
| 24.08.2025 | 12,45 | 742,80 | 86,40 | 227,00 | 3,00 | 0,14 | 0,10 | 0,08 | 0,49 | 0,12 | 0,51 |
| 25.08.2025 | 11,72 | 741,40 | 90,36 | 315,00 | 1,00 | 0,18 | 0,12 | 0,09 | 0,60 | 0,18 | 0,51 |
| 26.08.2025 | 11,61 | 743,99 | 94,83 | 270,00 | 2,00 | 0,04 | 0,03 | 0,07 | 0,47 | 0,05 | 0,51 |
| 27.08.2025 | 11,96 | 748,34 | 93,18 | 255,00 | 3,00 | 0,11 | 0,07 | 0,07 | 0,42 | 0,03 | 0,51 |
| 28.08.2025 | 13,97 | 752,04 | 81,99 | 259,00 | 4,00 | 0,17 | 0,11 | 0,09 | 0,47 | 0,16 | 0,52 |
| 29.08.2025 | 13,61 | 751,16 | 91,53 | 90,00  | 2,00 | 0,22 | 0,14 | 0,09 | 0,68 | 0,23 | 0,51 |
| 30.08.2025 | 17,38 | 746,83 | 97,61 | 224,00 | 4,00 | 0,51 | 0,33 | 0,09 | 0,58 | 0,04 | 0,51 |
| 31.08.2025 | 16,81 | 750,44 | 93,87 | 236,00 | 3,00 | 0,34 | 0,22 | 0,08 | 0,51 | 0,00 | 0,51 |

Таблица 3 Данные проверки коэффициента корреляции на значимость за зимний период 2024-2025 гг. в г. Гатчина

| Декабрь | ЗВ-метео             | r     | $\sigma$ | t*    | t <sub>кр</sub> | ВЫВОД  |
|---------|----------------------|-------|----------|-------|-----------------|--------|
| N=31    | PM <sub>2,5</sub> -T | -0,24 | 0,17     | -1,40 | 2,04            | НЕЗНАЧ |
|         | PM <sub>10</sub> -T  | -0,25 | 0,17     | -1,46 | 2,04            | НЕЗНАЧ |
|         | CO-T                 | -0,71 | 0,09     | -7,80 | 2,04            | ЗНАЧ   |
|         | NO <sub>2</sub> -T   | -0,54 | 0,13     | -4,17 | 2,04            | ЗНАЧ   |

|        |          |       |          |       |      |        |
|--------|----------|-------|----------|-------|------|--------|
|        | SO2-T    | -0,18 | 0,18     | -1,01 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | O3-T     | 0,10  | 0,18     | 0,57  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | PM2.5-P  | 0,33  | 0,16     | 2,05  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | PM10-P   | 0,33  | 0,16     | 2,00  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | CO-P     | 0,10  | 0,18     | 0,54  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | NO2-P    | 0,05  | 0,18     | 0,28  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | SO2-P    | -0,20 | 0,17     | -1,17 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | O3-P     | 0,17  | 0,18     | 0,98  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | PM2.5-f  | -0,07 | 0,18     | -0,36 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | PM10-f   | -0,08 | 0,18     | -0,46 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | CO-f     | -0,26 | 0,17     | -1,52 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | NO2-f    | -0,17 | 0,18     | -0,96 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | SO2-f    | -0,05 | 0,18     | -0,27 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | O3-f     | -0,13 | 0,18     | -0,73 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | PM2.5-d  | -0,09 | 0,18     | -0,48 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | PM10-d   | -0,06 | 0,18     | -0,35 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | CO-d     | 0,17  | 0,18     | 0,97  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | NO2-d    | 0,49  | 0,14     | 3,51  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | SO2-d    | -0,18 | 0,18     | -0,99 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | O3-d     | 0,20  | 0,18     | 1,13  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | PM2.5-V  | -0,44 | 0,15     | -2,95 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | PM10-V   | -0,43 | 0,15     | -2,92 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | CO-V     | -0,55 | 0,13     | -4,33 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | NO2-V    | -0,38 | 0,16     | -2,47 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | SO2-V    | 0,12  | 0,18     | 0,65  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | O3-V     | 0,26  | 0,17     | 1,54  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
| Январь | ЗВ-метео | r     | $\sigma$ | t*    | ткр  | ВЫВОД  |
| N=31   | PM2,5-T  | 0,17  | 0,18     | 0,96  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | PM10-T   | 0,14  | 0,18     | 0,77  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | CO-T     | -0,26 | 0,17     | -1,56 | 2,04 | НЕЗНАЧ |

|         |          |       |      |       |      |        |
|---------|----------|-------|------|-------|------|--------|
|         | NO2-T    | -0,44 | 0,15 | -3,03 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|         | SO2-T    | 0,00  | 0,18 | -0,01 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|         | O3-T     | -0,13 | 0,18 | -0,73 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|         | PM2.5-P  | -0,05 | 0,18 | -0,28 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|         | PM10-P   | -0,05 | 0,18 | -0,28 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|         | CO-P     | -0,01 | 0,18 | -0,06 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|         | NO2-P    | 0,26  | 0,17 | 1,56  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|         | SO2-P    | -0,01 | 0,18 | -0,05 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|         | O3-P     | 0,35  | 0,16 | 2,16  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|         | PM2.5-f  | 0,31  | 0,17 | 1,88  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|         | PM10-f   | 0,28  | 0,17 | 1,69  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|         | CO-f     | 0,08  | 0,18 | 0,43  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|         | NO2-f    | -0,33 | 0,16 | -2,04 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|         | SO2-f    | 0,17  | 0,18 | 0,98  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|         | O3-f     | -0,73 | 0,09 | -8,58 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|         | PM2.5-d  | -0,40 | 0,15 | -2,63 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|         | PM10-d   | -0,40 | 0,15 | -2,58 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|         | CO-d     | -0,53 | 0,13 | -4,07 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|         | NO2-d    | -0,34 | 0,16 | -2,07 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|         | SO2-d    | -0,36 | 0,16 | -2,23 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|         | O3-d     | 0,30  | 0,17 | 1,83  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|         | PM2.5-V  | -0,41 | 0,15 | -2,72 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|         | PM10-V   | -0,42 | 0,15 | -2,79 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|         | CO-V     | -0,63 | 0,11 | -5,62 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|         | NO2-V    | -0,54 | 0,13 | -4,22 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|         | SO2-V    | -0,15 | 0,18 | -0,85 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|         | O3-V     | 0,24  | 0,17 | 1,37  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
| Февраль | ЗВ-метео | r     | σ    | t*    | ткр  | ВЫВОД  |
| N=28    | PM2,5-T  | 0,20  | 0,18 | 1,07  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|         | PM10-T   | 0,18  | 0,19 | 0,97  | 2,05 | НЕЗНАЧ |

|      |          |       |      |       |      |        |
|------|----------|-------|------|-------|------|--------|
|      | CO-T     | -0,26 | 0,18 | -1,42 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | NO2-T    | 0,04  | 0,19 | 0,21  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | SO2-T    | -0,02 | 0,19 | -0,08 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | O3-T     | 0,30  | 0,18 | 1,69  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | PM2.5-P  | 0,46  | 0,15 | 3,08  | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | PM10-P   | 0,47  | 0,15 | 3,15  | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | CO-P     | 0,53  | 0,14 | 3,77  | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | NO2-P    | -0,31 | 0,17 | -1,76 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | SO2-P    | 0,42  | 0,16 | 2,62  | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | O3-P     | -0,43 | 0,16 | -2,71 | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | PM2.5-f  | -0,31 | 0,17 | -1,79 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | PM10-f   | -0,30 | 0,18 | -1,70 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | CO-f     | 0,08  | 0,19 | 0,41  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | NO2-f    | -0,27 | 0,18 | -1,53 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | SO2-f    | 0,05  | 0,19 | 0,26  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | O3-f     | -0,72 | 0,09 | -7,86 | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | PM2.5-d  | -0,37 | 0,17 | -2,23 | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | PM10-d   | -0,37 | 0,17 | -2,26 | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | CO-d     | -0,32 | 0,17 | -1,84 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | NO2-d    | -0,04 | 0,19 | -0,19 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | SO2-d    | -0,09 | 0,19 | -0,46 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | O3-d     | 0,16  | 0,19 | 0,86  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | PM2.5-V  | -0,55 | 0,14 | -4,03 | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | PM10-V   | -0,55 | 0,13 | -4,06 | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | CO-V     | -0,61 | 0,12 | -4,98 | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | NO2-V    | -0,20 | 0,18 | -1,07 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | SO2-V    | -0,33 | 0,17 | -1,91 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | O3-V     | 0,37  | 0,17 | 2,20  | 2,05 | ЗНАЧ   |
| Зима | ЗВ-метео | r     | σ    | t*    | ткр  | ВЫВОД  |
| N=90 | PM2,5-T  | -0,15 | 0,10 | -1,42 | 1,99 | НЕЗНАЧ |

|  |         |       |      |       |      |        |
|--|---------|-------|------|-------|------|--------|
|  | PM10-T  | -0,16 | 0,10 | -1,57 | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|  | CO-T    | -0,45 | 0,08 | -5,27 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | NO2-T   | -0,34 | 0,09 | -3,64 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | SO2-T   | -0,08 | 0,11 | -0,75 | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|  | O3-T    | 0,03  | 0,11 | 0,24  | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|  | PM2.5-P | 0,48  | 0,08 | 5,86  | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | PM10-P  | 0,48  | 0,08 | 5,93  | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | CO-P    | 0,41  | 0,09 | 4,69  | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | NO2-P   | 0,12  | 0,10 | 1,16  | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|  | SO2-P   | 0,27  | 0,10 | 2,77  | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | O3-P    | 0,10  | 0,10 | 0,96  | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|  | PM2.5-f | -0,27 | 0,10 | -2,73 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | PM10-f  | -0,28 | 0,10 | -2,82 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | CO-f    | -0,18 | 0,10 | -1,73 | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|  | NO2-f   | -0,34 | 0,09 | -3,69 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | SO2-f   | -0,04 | 0,11 | -0,38 | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|  | O3-f    | -0,49 | 0,08 | -6,07 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | PM2.5-d | -0,25 | 0,10 | -2,50 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | PM10-d  | -0,24 | 0,10 | -2,45 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | CO-d    | -0,20 | 0,10 | -2,00 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | NO2-d   | -0,03 | 0,11 | -0,27 | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|  | SO2-d   | -0,07 | 0,11 | -0,65 | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|  | O3-d    | 0,22  | 0,10 | 2,14  | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | PM2.5-V | -0,54 | 0,07 | -7,30 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | PM10-V  | -0,54 | 0,07 | -7,30 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | CO-V    | -0,59 | 0,07 | -8,50 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | NO2-V   | -0,42 | 0,09 | -4,76 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | SO2-V   | -0,22 | 0,10 | -2,22 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | O3-V    | 0,19  | 0,10 | 1,90  | 1,99 | НЕЗНАЧ |

Таблица 4 Данные проверки коэффициента корреляции на значимость за летний период 2025 г. в г. Гатчина

| Июнь | ЗВ-метео | r     | $\sigma$ | t*    | tkp  | ВЫВОД  |
|------|----------|-------|----------|-------|------|--------|
| N=30 | PM2,5-T  | 0,38  | 0,16     | 2,42  | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | PM10-T   | 0,38  | 0,16     | 2,38  | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | CO-T     | -0,03 | 0,19     | -0,16 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | NO2-T    | 0,42  | 0,15     | 2,77  | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | SO2-T    | 0,03  | 0,19     | 0,18  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | O3-T     | 0,26  | 0,17     | 1,50  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | PM2.5-P  | 0,24  | 0,18     | 1,37  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | PM10-P   | 0,24  | 0,17     | 1,38  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | CO-P     | 0,01  | 0,19     | 0,06  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | NO2-P    | 0,23  | 0,18     | 1,30  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | SO2-P    | 0,21  | 0,18     | 1,19  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | O3-P     | 0,17  | 0,18     | 0,95  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | PM2.5-f  | 0,10  | 0,18     | 0,54  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | PM10-f   | 0,09  | 0,18     | 0,51  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | CO-f     | 0,27  | 0,17     | 1,60  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | NO2-f    | -0,33 | 0,17     | -1,96 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | SO2-f    | -0,39 | 0,16     | -2,50 | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | O3-f     | -0,36 | 0,16     | -2,21 | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | PM2.5-d  | -0,29 | 0,17     | -1,70 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | PM10-d   | -0,29 | 0,17     | -1,69 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | CO-d     | -0,55 | 0,13     | -4,29 | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | NO2-d    | -0,22 | 0,18     | -1,24 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | SO2-d    | 0,17  | 0,18     | 0,95  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | O3-d     | 0,33  | 0,17     | 2,01  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | PM2.5-V  | -0,56 | 0,13     | -4,44 | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | PM10-V   | -0,56 | 0,13     | -4,38 | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | CO-V     | -0,29 | 0,17     | -1,72 | 2,05 | НЕЗНАЧ |

|      |          |       |      |       |      |        |
|------|----------|-------|------|-------|------|--------|
|      | NO2-V    | -0,43 | 0,15 | -2,84 | 2,05 | ЗНАЧ   |
|      | SO2-V    | -0,01 | 0,19 | -0,07 | 2,05 | НЕЗНАЧ |
|      | O3-V     | 0,19  | 0,18 | 1,07  | 2,05 | НЕЗНАЧ |
| Июль | ЗВ-метео | r     | σ    | t*    | tкр  | ВЫВОД  |
| N=31 | PM2,5-T  | 0,66  | 0,10 | 6,43  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | PM10-T   | 0,66  | 0,10 | 6,34  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | CO-T     | -0,24 | 0,17 | -1,37 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|      | NO2-T    | -0,15 | 0,18 | -0,86 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|      | SO2-T    | 0,70  | 0,09 | 7,45  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | O3-T     | 0,48  | 0,14 | 3,36  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | PM2.5-P  | 0,44  | 0,15 | 2,96  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | PM10-P   | 0,43  | 0,15 | 2,94  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | CO-P     | -0,43 | 0,15 | -2,89 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | NO2-P    | -0,41 | 0,15 | -2,66 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | SO2-P    | 0,41  | 0,15 | 2,72  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | O3-P     | 0,24  | 0,17 | 1,36  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|      | PM2.5-f  | -0,44 | 0,15 | -2,96 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | PM10-f   | -0,44 | 0,15 | -3,02 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | CO-f     | 0,35  | 0,16 | 2,17  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | NO2-f    | 0,26  | 0,17 | 1,50  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|      | SO2-f    | -0,58 | 0,12 | -4,76 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | O3-f     | -0,46 | 0,14 | -3,23 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | PM2.5-d  | -0,39 | 0,16 | -2,49 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | PM10-d   | -0,39 | 0,15 | -2,52 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|      | CO-d     | 0,14  | 0,18 | 0,81  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|      | NO2-d    | 0,33  | 0,16 | 2,02  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|      | SO2-d    | 0,09  | 0,18 | 0,48  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|      | O3-d     | -0,15 | 0,18 | -0,83 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|      | PM2.5-V  | -0,31 | 0,17 | -1,86 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|      | PM10-V   | -0,31 | 0,16 | -1,88 | 2,04 | НЕЗНАЧ |

|        |          |       |      |       |      |        |
|--------|----------|-------|------|-------|------|--------|
|        | CO-V     | 0,00  | 0,18 | -0,01 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | NO2-V    | 0,16  | 0,18 | 0,90  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | SO2-V    | -0,22 | 0,17 | -1,24 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | O3-V     | -0,18 | 0,18 | -1,00 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
| Август | ЗВ-метео | r     | σ    | t*    | tкр  | ВЫВОД  |
| N=31   | PM2,5-T  | 0,56  | 0,12 | 4,54  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | PM10-T   | 0,55  | 0,13 | 4,37  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | CO-T     | -0,54 | 0,13 | -4,11 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | NO2-T    | -0,53 | 0,13 | -4,00 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | SO2-T    | 0,08  | 0,18 | 0,44  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | O3-T     | -0,71 | 0,09 | -7,74 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | PM2.5-P  | 0,34  | 0,16 | 2,08  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | PM10-P   | 0,33  | 0,16 | 2,06  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | CO-P     | -0,23 | 0,17 | -1,31 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | NO2-P    | -0,25 | 0,17 | -1,44 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | SO2-P    | 0,39  | 0,15 | 2,52  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | O3-P     | -0,44 | 0,15 | -2,96 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | PM2.5-f  | -0,22 | 0,17 | -1,27 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | PM10-f   | -0,21 | 0,17 | -1,17 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | CO-f     | 0,60  | 0,12 | 5,10  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | NO2-f    | 0,59  | 0,12 | 5,04  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | SO2-f    | -0,11 | 0,18 | -0,60 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | O3-f     | 0,75  | 0,08 | 9,51  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | PM2.5-d  | -0,36 | 0,16 | -2,30 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | PM10-d   | -0,35 | 0,16 | -2,21 | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | CO-d     | 0,25  | 0,17 | 1,45  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | NO2-d    | 0,28  | 0,17 | 1,65  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | SO2-d    | 0,13  | 0,18 | 0,72  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|        | O3-d     | 0,43  | 0,15 | 2,87  | 2,04 | ЗНАЧ   |
|        | PM2.5-V  | -0,07 | 0,18 | -0,36 | 2,04 | НЕЗНАЧ |

|      |          |       |      |       |      |        |
|------|----------|-------|------|-------|------|--------|
|      | PM10-V   | -0,06 | 0,18 | -0,33 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|      | CO-V     | 0,07  | 0,18 | 0,41  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|      | NO2-V    | 0,09  | 0,18 | 0,52  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|      | SO2-V    | -0,09 | 0,18 | -0,49 | 2,04 | НЕЗНАЧ |
|      | O3-V     | 0,15  | 0,18 | 0,85  | 2,04 | НЕЗНАЧ |
| Лето | ЗВ-метео | r     | σ    | t*    | tkp  | ВЫВОД  |
| N=92 | PM2,5-T  | 0,67  | 0,06 | 11,67 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | PM10-T   | 0,66  | 0,06 | 11,17 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | CO-T     | -0,47 | 0,08 | -5,78 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | NO2-T    | -0,39 | 0,09 | -4,39 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | SO2-T    | 0,51  | 0,08 | 6,63  | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | O3-T     | -0,28 | 0,10 | -2,93 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | PM2.5-P  | 0,41  | 0,09 | 4,72  | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | PM10-P   | 0,41  | 0,09 | 4,67  | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | CO-P     | -0,25 | 0,10 | -2,59 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | NO2-P    | -0,17 | 0,10 | -1,68 | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|      | SO2-P    | 0,41  | 0,09 | 4,63  | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | O3-P     | -0,08 | 0,10 | -0,80 | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|      | PM2.5-f  | -0,32 | 0,09 | -3,36 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | PM10-f   | -0,31 | 0,09 | -3,27 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | CO-f     | 0,56  | 0,07 | 7,88  | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | NO2-f    | 0,48  | 0,08 | 5,94  | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | SO2-f    | -0,17 | 0,10 | -1,68 | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|      | O3-f     | 0,58  | 0,07 | 8,41  | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | PM2.5-d  | -0,47 | 0,08 | -5,66 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | PM10-d   | -0,46 | 0,08 | -5,53 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | CO-d     | 0,23  | 0,10 | 2,36  | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | NO2-d    | 0,35  | 0,09 | 3,75  | 1,99 | ЗНАЧ   |
|      | SO2-d    | -0,01 | 0,10 | -0,06 | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|      | O3-d     | 0,38  | 0,09 | 4,26  | 1,99 | ЗНАЧ   |

|  |         |       |      |       |      |        |
|--|---------|-------|------|-------|------|--------|
|  | PM2.5-V | -0,29 | 0,10 | -3,02 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | PM10-V  | -0,29 | 0,10 | -3,08 | 1,99 | ЗНАЧ   |
|  | CO-V    | -0,11 | 0,10 | -1,03 | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|  | NO2-V   | -0,12 | 0,10 | -1,17 | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|  | SO2-V   | -0,19 | 0,10 | -1,90 | 1,99 | НЕЗНАЧ |
|  | O3-V    | -0,11 | 0,10 | -1,09 | 1,99 | НЕЗНАЧ |