



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 изменчивость концентраций загрязняющих веществ в воздухе Санкт-Петербург»

Исполнитель Андреев Максим Михайлович
(фамилия, имя, отчество)

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

Крюкова Светлана Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
И. о. Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
Восканян Карина Левановна

«24» мая 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение | 3 |
| 1 Строение и состав атмосферы | 5 |
| 1.1 Строение атмосферы | 5 |
| 1.2 Физико-химический состав атмосферы | 8 |
| 1.3 Основные источники загрязнения воздуха и загрязняющие вещества | 12 |
| 1.4 Нормативы качества атмосферного воздуха | 16 |
| 1.5 Влияние метеорологических факторов на загрязнение атмосферы | 18 |
| 1.6 Влияние барических систем на загрязнение атмосферы | 22 |
| 2 Экологический мониторинг окружающей среды | 30 |
| 2.1 Сущность, цели и задачи экологического мониторинга | 30 |
| 2.2 Классификация и организация экологического мониторинга | 31 |
| 2.3 Автоматические станции контроля в Санкт-Петербурге | 35 |
| 3 Исследование загрязнения воздуха в Невском районе города Санкт-Петербург в зимний и летний периоды 2021-2022 годов | 41 |
| 3.1 Общая информация о Невском районе | 40 |
| 3.2 Анализ данных мониторинга загрязняющих веществ | 42 |
| 3.3 Данные о метеорологических характеристиках в Санкт-Петербурге за зимний и летний периоды 2021 - 2022 годов | 48 |
| 3.4 Анализ зависимостей между концентрацией загрязняющих веществ и метеорологическими параметрами | 56 |
| Заключение | 65 |
| Список использованной литературы и источников | 67 |
| Приложение | 69 |

Введение

В наше время антропогенные факторы загрязнения атмосферы стали превышать по масштабам естественные, приобретая глобальный характер. Выбрасываемые в атмосферу вредные вещества не только уничтожают живую природу, отрицательно воздействуют на здоровье людей, но и способны изменить свойства самой атмосферы, что может привести к нежелательным экологическим и климатическим последствиям.

Актуальность данной темы состоит в том, что на сегодняшний день в крупных городах, характерно большое содержание различных примесей в атмосфере. Быстрый рост транспорта и промышленности приводит к тому, что такое большое количество опасных примесей не успевает рассеяться. В результате возрастает концентрация загрязняющих веществ в воздухе. Это может привести к серьезным экологическим и экономическим последствиям, а также к серьезному ухудшению состояния здоровья людей и животных.

Целью данной работы является исследование сезонной изменчивости концентраций загрязняющих веществ в воздухе Санкт-Петербурга.

Объектом исследования являются данные концентраций загрязняющих веществ, полученные со станции автоматического мониторинга воздуха №20, расположенной в Невском районе города Санкт-Петербург, на улице Тельмана, д.24.

Предметом исследования являются концентрации загрязняющих веществ за два периода 2021-2022 годов. В зимний период водит декабрь 2021 года, а также январь и февраль 2022 года. Летний период включает в себя летние месяцы 2022 года (июнь, июль, август).

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

В первой главе рассматриваются основные загрязняющие вещества в атмосферном воздухе, влияние на них различных параметров (барические образования, характеристики воздуха, рельеф).

Во второй главе рассматривается экологический мониторинг, его цели, задачи и классификация, а также автоматические станции контроля воздуха в Санкт-Петербурге.

В третьей главе представлены результаты исследований и анализ зависимостей между концентрацией загрязняющих веществ и метеорологическими параметрами.

В заключение работы отражены основные выводы по результатам исследования.

1 Строение и состав атмосферы

1.1 Строение атмосферы

Нашу планету окружает газовая оболочка, она называется атмосферой Земли. Нижняя ее граница начинается от поверхности земли, а верхняя переходит в околоземную часть космического пространства. Эта оболочка играет важную роль для обеспечения существования живых организмов.

Атмосфера может быть разделена на разные слои в вертикальном направлении на основе, как минимум, четырех основных признаков. Таких как: распределения температуры по высоте, состава атмосферного воздуха и присутствие заряженных частиц, взаимодействия атмосферы с поверхностью Земли, а также влияния атмосферы на летательные устройства [1].

По составу воздуха атмосферу можно разделить на 2 слоя: гетеросферу и гомосферу. Гомосфера – это нижний слой атмосферы до 100 км с мало меняющимся составом воздуха с высотой. В гомосфере за счет турбулентного перемешивания состав газов и удельная молекулярная масса воздуха постоянна. Гетеросфера – это слой, где происходит диффузия разделения газов, тяжелые внизу, а легкие наверху. Это происходит из-за низкой гравитации, где перемешивание на такой высоте незначительное.

По изменению температуры с высотой, атмосфера земли делится на 5 основных слоев, таких как: тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера и экзосфера, а также из четырех пауз, которые находятся между основными слоями. Ее строение представлено на рис. 1.1 [1].

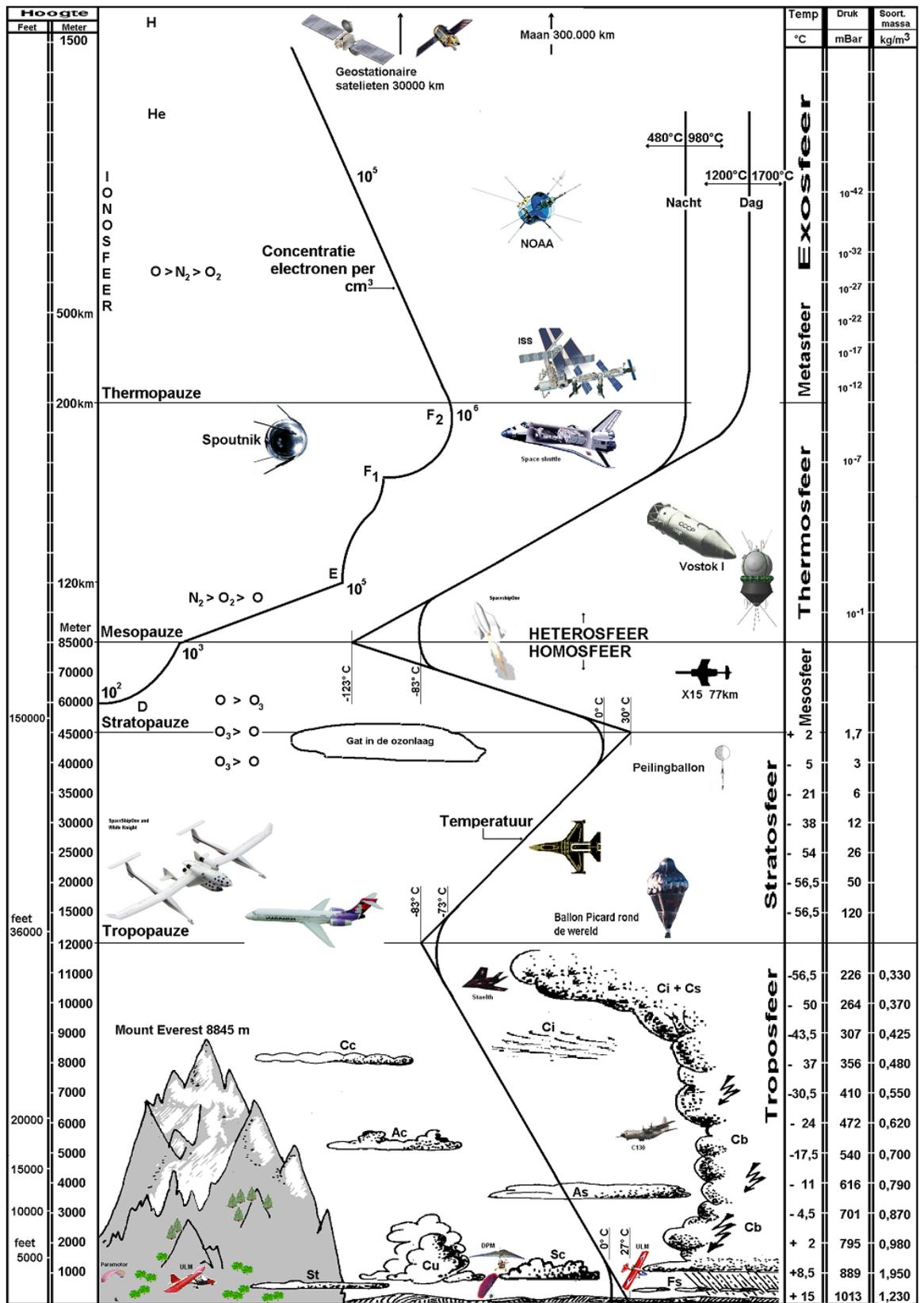


Рисунок 1.1- Вертикальное строение атмосферы

Тропосфера – это нижний слой атмосферы, его можно разделить на нижнюю, среднюю и верхнюю тропосферу. От поверхности и до высоты 1.5 километра располагается пограничный слой тропосферы. В этом слое наблюдается сильное влияние поверхности на метеорологические величины, такие как температура и ветра, а также они имеют ярко выраженный дневной ход. В пограничном слое возникают облака и связанные с ними явления погоды (грозы, метели, туманы, низкая облачность, интенсивные осадки). Температура воздуха с высотой падает на $-0.65 \frac{^{\circ}\text{C}}{100\text{м}}$. Если в слоях тропосферы температура наоборот начинает расти или наблюдается ровный ход, то такой слой называется инверсией. Ветер в тропосфере с высотой увеличивается [2].

В пограничном слое выделяют маленький слой, который называется приземным или слоем шероховатости. В этом слое сильное влияние подстилающей поверхности на ход метеорологических параметров.

Средняя тропосфера имеет высоту от 1.5 до 6 километров. В ней облачность достигает максимального развития, также в ней возникают первые струйные течения (скорость ветра более 100 км/ч).

Верхняя тропосфера начинается от высоты 6 километров и заканчивается перед тропопаузой. В ней наблюдается усиление ветра до 200-300 км/ч в умеренных широтах и 400-600 км/ч в экваториальной зоне.

Под тропопаузой наблюдается слой со значительным ухудшением горизонтальной видимости. Это связано с прекращением уменьшения температуры в тропопаузе, из-за чего задерживается проникновения водяного пара, пыли, облачных элементов в вышележащие слои [2].

Стратосфера – это слой, располагающийся на высоте от 11 до 50 километров. В нижнем слое стратосфера температура начинает расти, это происходит из-за того, что водяной пар начинает поглощать инфракрасные лучи солнечной радиации, а озон ультрафиолетовые. В стратосфере ветер с высотой уменьшается и примерно к середине стратосферы становится равным

нулю. В нижних слоях стратосферы наблюдаются перламутровые облака, которые возникают на высотах 30-40 километров. В стратосфере находится озоновый слой – это самый тонкий слой в атмосфере, находящийся на высоте от 20 до 40 километров. Он защищает планету от ультрафиолетового излучения, которое способно причинить значительный вред жизни на Земле.

Мезосфера – это слой начинается на высоте 50 км и простирается до 80—90 км. В нем температура понижается до -90°C .

Термосфера – это слой верхний предел, которого около 800 километров. В нем движение молекул газа происходит с большой скоростью и при взаимодействии между собой происходит ионизация молекул [2].

1.2 Физико-химический состав атмосферы

В атмосфере нашей планеты находится множество газов, примесей, а также взвешенных твердых и жидких частиц. Но их процент содержания в воздухе крайне мал. Основную долю по объему в атмосфере занимают такие газы как: азот (N_2) – 78,084%, кислород (O_2) – 20,946% и Аргон (Ar) – 0,939%. Сумма объемов этих трех газов составляет 99,96%, таким образом, на долю остальных всего около 0,04%. В табл. 1 представлен состав сухого воздуха (постоянная составляющая) у поверхности Земли [3].

Таблица 1.1 - Состав сухого воздуха у поверхности Земли

| Газ | Молекулярная масса, г/моль | Содержание, % объема | Плотность по отношению к сухому воздуху кг/м ³ |
|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---|
| Азот (N ₂) | 28,106 | 78,084 | 0,967 |
| Кислород (O ₂) | 32 | 20,946 | 1,105 |
| Аргон (Ar) | 39,944 | 0,934 | 1,379 |
| Углекислый газ (CO ₂) | 44,01 | 0,033 | 1,529 |
| Неон (Ne) | 20,183 | 18,18*10 ⁻⁴ | 0,695 |
| Гелий (He) | 4,003 | 5,24*10 ⁻⁴ | 0,138 |
| Криптон (Kr) | 83,7 | 1.14*10 ⁻⁴ | 2,868 |
| Водород (H ₂) | 2,016 | 0.5*10 ⁻⁴ | 0,07 |
| Озон (O ₃) | 48 | (0...0.07)*10 ⁻⁴ | 1,624 |
| Сухой воздух | 28,996 | 100 | 1 |

Из табл. 1.1 можно выделить 4 важнейших газов - это азот (N₂), кислород (O₂), углекислый газ (CO₂) и озон (O₃).

Азот (N₂) – это инертный газ, который является основной частью атмосферы. Он играет важную биологическую роль на планете. Его могут усваивать некоторые виды бактерий и водоросли, которые образуют из него органические соединения. Под влиянием атмосферного электричества образуется небольшое количество ионов азота, которые вымываются из атмосферы осадками и обогащают почву солями азотистой и азотной кислоты. Соли азотистой кислоты под влиянием почвенных бактерий превращаются в нитриты. Нитриты и соли аммиака усваиваются растениями и служат для синтеза белков. Также азот играет важную роль в разбавлении кислорода

атмосферы, так как в чистом кислороде жизнь невозможна. Но его увеличение содержания в воздухе может нести и вред для человека. Он может вызвать гипоксию, а также асфиксию вследствие снижения парциального давления кислорода [3].

Кислород (O_2) – это важнейший газ в атмосфере. Без его существования невозможна была бы жизнь на планете, так как он нужен для дыхания человека и животных. Также кислород участвует в процессах горения и окисления. При падении парциального давления кислорода у человека и животных наблюдаются явления кислородного голодания. Падение парциального давления кислорода наблюдается при подъеме вверх над уровнем моря. При его падении, у людей и животных, наблюдается кислородное голодание. При длительном проживании в высокогорной местности у людей развивается привыкание к недостатку кислорода и происходит акклиматизация.

Углекислый газ (CO_2) постоянно пополняется в атмосфере в результате процессов жизнедеятельности живых организмов, процессов горения, гниения и брожения. Накопления CO_2 в атмосфере не происходит из-за усваивания его растениями в процессе фотосинтеза. В приземном слое атмосферы наблюдаются небольшие колебания концентрации углекислого газа: над океаном она ниже, чем над сушей; в лесу она выше, чем в поле; в городах она выше, чем за городом. Повышение содержания углекислого газа в атмосфере оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека. Он вызывает учащение дыхания и раздражение слизистых оболочек [3].

Озон (O_3) один из важнейших компонентов в атмосфере. Он задерживает коротковолновую часть спектра солнечной радиации. При его отсутствии жизни на Земле была бы невозможна, из-за губительных действий ультрафиолетового излучения на все живое. А также озон поглощает инфракрасное излучение, что сдерживает около 20% теплового излучения Земли. В атмосфере содержание озона меняется по сезонам: весной имеет максимально значение, а осенью минимальное. Также его содержание зависит

от широты местности: чем ближе к экватору, тем его количество меньше, а также зависит от суточного хода: достигается максимуму к полудню [4].

Также большую роль в составе атмосфере играют примеси.

Примеси - это частицы, газы или другие вещества, которые не являются частями чистого воздуха. Они могут включать в себя такие вещества, как пыль, грубые и мелкие частицы, дым, газы, автомобильные выбросы, химические испарения и т.д. Наличие примесей в атмосфере может оказывать негативное влияние на здоровье людей и окружающую среду. Например, мелкие частицы могут проникать в легкие и вызывать различные заболевания, такие как астма, бронхит и даже рак. Кроме того, примеси могут вызывать серьезные изменения в глобальном климате, воздействуя на парниковый эффект и вызывая глобальное потепление и изменение климатических штормов, наводнений и других погодных явлений [4].

Содержащиеся в атмосфере газы и примеси можно разделить на 5 групп.

1. *Основные газовые составляющие воздуха.* К ним относятся три основных газа – это азот (N_2), кислород (O_2) и аргон (Ar). Их содержание сохраняется неизменным до высоты 100 километров.
2. *Малые газовые составляющие (МГС).* Это газы, находящиеся в небольшом количестве в атмосфере. Их количество может изменяться в различных местах планеты. Наиболее важные малые газы – озон (O_3), углекислый газ (CO_2), метан (CH_4), оксид углерода (CO), закись азота (N_2O). Они очень важны в жизни нашей планеты. Некоторые участвуют в химических процессах, некоторые способны поглощать коротковолновую и длинноволновую радиацию на разных участках спектра. Так же к малым газовым составляющим можно отнести водяной пар [5].
3. *Неустойчивые молекулы и атомы (свободные радикалы).* Число этих веществ в атмосфере незначительно. Из-за своей реакционной способности время их пребывания в атмосфере иногда достигает доли секунд. К ним

относятся: атомный кислород (O), гидроксил (OH), пергидроксил (HO₂), оксид хлора (ClO) и другие молекулы и частицы.

4. *Аэрозоли* – это твёрдые и жидкие мелкие частицы, взвешенные в воздухе. Их состав, размер и происхождение очень разнообразны. Они имеют большую площадь поверхности относительно своей массы, что при достаточно длительном времени их пребывания в атмосфере позволяет им активно участвовать в гетерогенных химических реакциях со следовыми газами и радикалами.
5. *Антропогенные примеси*. Они полностью или частично попадают в атмосферу в результате хозяйственной деятельности человека. К ним относятся такие вещества как: метан, углекислый газ, оксид углерода и оксиды азота [5].

1.3 Основные источники загрязнения воздуха и загрязняющие вещества

Загрязнение атмосферы - это нарушение естественного состояния и состава воздуха, вызванное попаданием в атмосферу различных вредных веществ и частиц, которые могут оказывать негативное воздействие на здоровье людей, животных и растительности, а также на окружающую среду в целом. Различают естественное и антропогенное загрязнение атмосферы.

Естественное загрязнение атмосферы происходит в естественных условиях и связано с природными процессами, такими как вулканическая активность, пепельные бури, лесные пожары и т.д. Антропогенное загрязнение атмосферы возникает из-за деятельности человека и связано с его расходами и выбросами. Антропогенное загрязнение атмосферы может быть вызвано различными источниками, такими как промышленные предприятия, автомобильный транспорт, предприятия энергетики и другие. На рис. 1.2 показаны основные источники загрязнения [6].

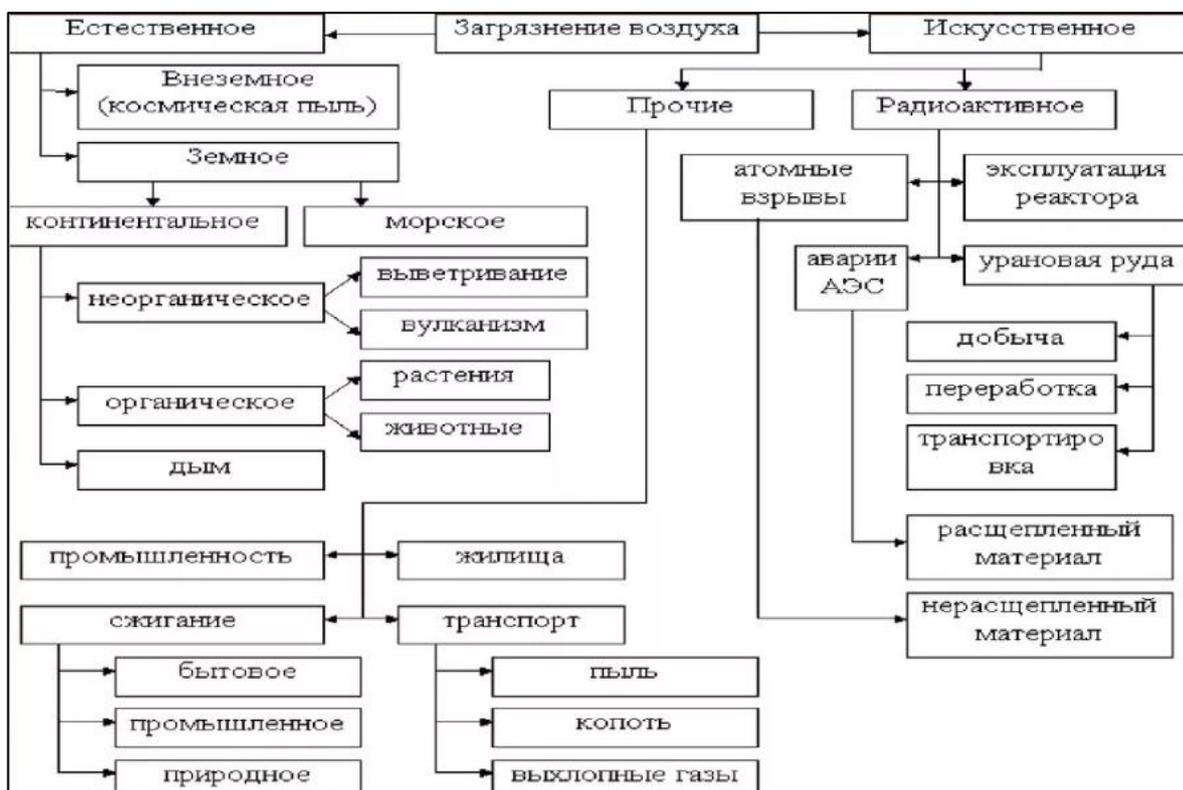


Рисунок 1.2 - Основные источники загрязнения

Большинство природных источников загрязнения, таких как: извержений вулканов, пыльных бури, частиц морской соли, лесных пожаров, пыли космических происхождений, продуктов растительного, животного и микробиологического происхождения рассматриваются в качестве фоновых. Уровень таких загрязнений мало изменяется со временем. Они равномерно распределены по поверхности планеты, и они уравновешены обменом веществ. Наибольшее влияние на загрязнение атмосферы оказывает вулканическая и флюидная активность Земли. Крупные извержения вулканов приводят к глобальному и долговременному загрязнению атмосферы. Это обуславливается тем, что в атмосферу моментально выбрасываются громадные количества газов, которые на большой высоте попадают во влияние воздушных масс и с высокой скоростью быстро разносятся по всей планете. Продолжительность загрязнений, связанных с вулканической активностью, достигает нескольких лет [6].

Наибольшее число загрязнений атмосферы вызывают антропогенные источники. К ним относятся промышленные источники, транспорт, сельскохозяйственное производства, энергетические установки, сжигающие ископаемое топливо.

Из всех антропогенных загрязнений первое место занимает транспорт. Только один автомобиль выбрасывает в атмосферу более 200 химических элементов. В среднем за год от автомобиля в воздух поступает 700 килограммов оксида углерода (CO), 230 килограммов несгоревших углеводородов, 40 килограммов окислов азота (NO₂) и около 3 килограммов твердых веществ. В наше время современный город насыщен и другими видами транспорта. Общее число выбросов постоянно растет [6].

Второе место по загрязнение после транспорта занимают промышленные предприятия. Наиболее большую опасность несут предприятия черной и цветной металлургии, нефтехимический и коксохимической промышленности, а также предприятия по производству строительных материалов. Они выбрасывают сажу, пыль, металлы и их соединения в окружающую среду. Металлы, поступающие в атмосферу, загрязняют почву и накапливаются в ней, а также проникают в воду водоемов. Население, живущее в районах, где находятся промышленные предприятия, подвергается неблагоприятному воздействию загрязнений. Кроме твердых частиц, промышленность выбрасывает в воздух различные газы, такие как серный ангидрид, оксид углерода, оксид азота, сероводород, углеводороды и радиоактивные газы. Загрязняющие вещества могут находиться в окружающей среде в течение длительного времени и оказывать вредное влияние на человека.

Сжигание твердого и жидкого топлива на теплоэлектростанциях приводит к значительному загрязнению атмосферы такими веществами как: окислами серы и азота, окисью углерода, сажами и пылью. Эти источники загрязнения характеризуются масштабностью воздействия на атмосферный воздух. В настоящее время известно множество фактов негативного влияния

атмосферных загрязнений на здоровье человека, которые могут проявляться как острое, так и хроническое воздействие на организм.

Основными загрязняющими веществами от промышленных предприятий являются: оксид углерода, диоксид серы, твердые вещества, оксид азота и углеводороды.

Угарный газ или оксид углерода - это очень ядовитый газ без цвета, запаха и вкуса. Он образуется при неполном сгорании различных материалов, таких как древесина, ископаемое топливо, табак, твердые отходы и органика при частичном анаэробном разложении. Почти половина этого газа образуется в связи с деятельностью человека, в основном при работе двигателей внутреннего сгорания автомобиля. Если помещение заполнено угарным газом, это может привести к снижению способности гемоглобина эритроцитов переносить кислород, что вызывает замедление реакций, ослабление восприятия и появление головной боли, сонливости и тошноты, а также может привести к обмороку, коме и даже смерти [7].

Сернистый газ, или диоксид серы (SO_2), является наиболее распространенным соединением серы и чаще всего появляется в атмосфере в результате природных процессов, таких как испарение брызг морской воды, эмиссии газов при извержениях вулканов и выделение биогенного сероводорода (H_2S). Однако, сернистый газ также может образовываться при сгорании топлива, содержащего серу, и различных производственных процессах, связанных с плавлением сульфидных руд. Вдыхание этого газа может вызвать раздражение верхних дыхательных путей. Постоянное воздействие сернистого газа может привести к проблемам с дыхательной системой, которые напоминают бронхит.

Оксиды азота образуются при сгорании топлива при очень высоких температурах и избытке кислорода. Воздействие атмосферы окисляет оксид азота до диоксида азота красно-бурого цвета, который легко заметен в

атмосфере крупных городов. Выхлопные газы автомобилей и выбросы теплоэлектростанций являются основными источниками диоксида азота в городах. Кроме того, диоксид азота образуется при сжигании твердых отходов в результате высокой температуры горения. Диоксид азота имеет резкий сладковатый запах, который раздражает дыхательную систему, особенно легкие, ухудшая тем самым состояние людей с астмой, хроническими бронхитом и эмфиземой легких. Кроме того, диоксид азота повышает риск острой респираторной пневмонии.

Взвешенные частицы, включающие пыль, сажу, пыльцу и споры растений и пр., сильно различаются по размерам и составу. Они могут либо непосредственно содержаться в воздушной среде, либо быть заключены в капельках, взвешенных в воздухе (аэрозоли). В целом за год в атмосферу Земли поступает около 100 млн. т аэрозолей антропогенного происхождения. Примерно 50 % частиц антропогенного происхождения выбрасывается в воздух из-за неполного сгорания топлива на транспорте, заводах, фабриках и тепловых электростанциях. По данным Всемирной организации здравоохранения, 70 % населения, живущего в городах развивающихся стран, дышит сильно загрязненным воздухом, содержащим множество аэрозолей.

Содержащиеся в воздухе загрязняющие вещества измеряются в единицах концентрации примесей. Большей частью определяют весовую концентрацию ($\text{мг}/\text{м}^3$), на низком уровне ($\text{мкг}/\text{м}^3$) и на очень низком уровне в ($\text{нг}/\text{м}^3$) [7].

1.4 Нормативы качества атмосферного воздуха

Качество атмосферного воздуха контролируется санитарно-гигиеническим нормативом, установленным Минздравсоцразвитием России (СанПиН 2.1.6. 1032-01) [8]. В соответствии с этим нормативом, установлена Предельно допустимая концентрация (ПДК) загрязняющего вещества в

атмосферном воздухе – концентрация, не оказывающая в течение всей жизни прямого или косвенного неблагоприятного действия на настоящее или будущее поколение, не снижающая работоспособность человека, не ухудшающая его самочувствие и санитарно-бытовые условия жизни. ПДК является основным критерием санитарно-гигиенической оценки качества воздуха и устанавливается Министерством здравоохранения России.

Предельно допустимая концентрация может устанавливаться для нескольких временных отрезков усреднения концентрации:

Одним из самых важных санитарно-гигиенических нормативов является среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК_{СС}) – это концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного воздействия при неограниченно долгом (годы) вдыхании. ПДК_{СС} выступает как «эталон» в оценке чистоты воздушной среды в заселенной зоне.

Максимально разовая предельно допустимая концентрация (ПДК_{МР}) – концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, которая не вызывает рефлекторных реакций в организме человека при вдыхании в течении двадцати минут.

В табл. 1.2 представлены предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ.

Таблица 1.2 - Нормативы ПДК вредных веществ в воздухе

| № | Вещество | ПДК _{СС} мг/м ³ | ПДК _{МР} мг/м ³ | Класс опасности |
|---|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| 1 | Оксид углерода | 3 | 5 | 4 |
| 2 | Аммиак | 0,04 | 0,2 | 4 |
| 3 | Диоксид серы | 0,05 | 0,5 | 3 |
| 4 | Оксид азота | 0,06 | 0,4 | 3 |

| | | | | |
|---|--------------------|------|------|---|
| 5 | Взвешенные частицы | 0,15 | 0,5 | 3 |
| 6 | Диоксид азота | 0,04 | 0,2 | 2 |
| 7 | Озон | 0,03 | 0,16 | 1 |

Класс опасности концентраций вредных веществ – это условная величина, которая предназначена для упрощенной классификации опасных веществ.

Подразделяются 4 класса опасности, связанные со степенью воздействия на организм вредных веществ:

- 1 класс – чрезвычайно опасные вещества;
- 2 класс – высоко опасные вещества;
- 3 класс – опасные вещества;
- 4 класс – умеренно опасные.

Учет класса опасности позволяет своевременно проводить необходимые профилактические мероприятия, а также предварительно оценивать опасность воздействия различных веществ на организм человека [7].

1.5 Влияние метеорологических факторов на загрязнение атмосферы

Такие метеорологические параметры как температура, температурные инверсии, скорость и направление ветра, влажность, осадки и солнечная радиация, оказывают большое значение на концентрацию вредных веществ в атмосфере.

Один из важнейших факторов загрязнения атмосферы является температура воздуха и связанные с ней температурные инверсии. Высокие температуры могут привести к увеличению уровня озона в атмосфере и,

следовательно, к увеличению концентрации вредных веществ. Высокие температуры также могут способствовать более интенсивному образованию аэрозолей, которые могут быть опасны для здоровья.

Температурная инверсия - повышение температуры воздуха с высотой, вместо обычного ее убывания. Она является неблагоприятным метеорологическим условием, из-за которого происходит возрастание концентраций загрязняющих веществ в нижних слоях атмосферы. Она препятствует естественному вертикальному движению воздуха. Это происходит из-за расположения тёплой воздушной массы над холодной, что блокирует прохождение воздуха, что ведет к скапливанию ЗВ, водяного пара, пыли и ядер конденсации. Они благоприятствуют образованию дымки и тумана. Главными характеристиками инверсий являются её мощность и интенсивность. Мощность инверсии – это разница между верхней и нижней границами инверсии, выраженной в метрах. Интенсивность инверсии – это разница температур на ее границах (°C) [9].

Инверсии бывают двух видов: приземная и приподнятая.

Приземная инверсия начинается от самой подстилающей поверхности и значение температуры постепенно растет с высотой. В приподнятой инверсии сначала температура понижается с высотой, но в один момент она начинается повышаться (см. рис.1.3).

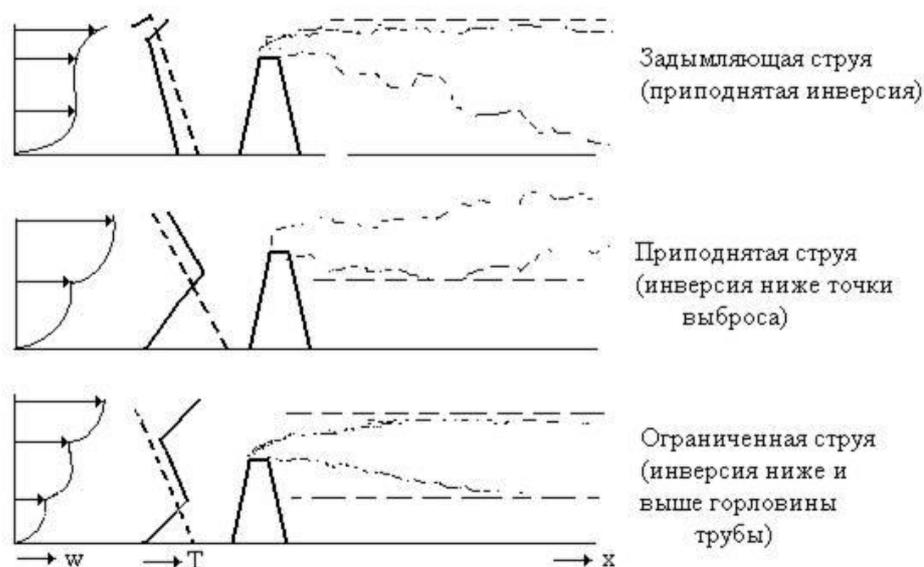


Рисунок 1.3 - Профили скорости ветра, температурный профиль и форма дымовой струи для различных атмосферных условий

Как видно на рис. 1.3, что при приподнятой инверсии все выбросы загрязняют прилегающее к земле воздушное пространство. Приземная инверсия препятствует подъему выбросов, которые располагаются у земной поверхности. Одновременно при приземных и приподнятых инверсиях факел выброса ограничен в струю, которая не задевает приземный воздух и не может подняться выше из-за препятствия, образованной приподнятой инверсией.

Также одним из важнейших факторов, влияющих на загрязнение атмосферы, является – ветер. Сильные ветры могут помочь рассеять загрязнение и снизить его концентрацию в окружающей среде. Однако слабый ветер или его отсутствие может привести к накоплению загрязняющих веществ и увеличению концентрации вредных веществ. Если выхлопные газы перегреты по отношению к окружающему воздуху, то они имеют начальную высоту подъема. В связи с этим вблизи источника создается поле вертикальных скоростей, способствующее подъему факела и перемещению примесей вверх. Это вызывает снижение концентрации примесей вблизи земли.

При низких или холодных источниках выбросов наблюдается повышенный уровень загрязнения воздуха при слабых ветрах ($v=0-1$ м/с) из-за

накопления примесей в поверхностном слое. Направление ветра оказывает непосредственное влияние на загрязнение воздуха в городе. Значительное увеличение концентрации примесей наблюдается при преобладании ветров со стороны промышленных объектов [10].

Для состояния атмосферы в городах наибольшую опасность представляет приземная инверсия в сочетании со слабыми ветрами, так называемая ситуация «застоя воздуха».

Влажность также способствует увеличению концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Капли тумана поглощают примеси не только вблизи подстилающей поверхности, но и из вышележащих, наиболее загрязненных слоев воздуха. В результате концентрация примесей значительно возрастает в слое тумана и уменьшается над ним. Растворение диоксида серы в каплях приводит к образованию серной кислоты.

Атмосферные осадки очищают воздух от загрязнений. После продолжительных интенсивных осадков, высоких концентраций примесей в атмосфере практически не наблюдается [10].

Солнечное излучение вызывает фотохимические реакции в атмосфере с образованием различных вторичных продуктов, которые часто обладают более токсичными свойствами, чем вещества, поступающие из источников выбросов.

Помимо метеорологических факторов на загрязнения атмосферы влияет и рельеф местности. Он может влиять на направление и интенсивность ветров, которые перемещают загрязненный воздух. Например, в гористых местностях ветры могут изменять свою скорость и направление, а также горные хребты могут служить барьером для него. Это может привести к образованию зон стагнации воздуха, что приведет к увеличению концентрации загрязняющих веществ. Также рельеф может влиять и на образование термических инверсий. Склоны гор и холмов нагреваются быстрее, чем поверхность у их подножья, поэтому воздух не может подняться и остается внизу. Это приводит к

увеличению концентраций загрязняющих веществ. Также высокие концентрации ЗВ (загрязняющих веществ) могут быть в низинах. Это может происходить из-за того, что в них может образовываться туман, особенно при наличии влаги, что способствует удержанию загрязняющих веществ в нижних слоях атмосферы, а также в них может скапливается холодный воздух, который менее подвижный, чем теплый воздух, и тем самым также увеличивает концентрацию.

Летом каменные покрытия нагреваются и начинают излучать тепло, это приводит к увеличению температуры и влажности. Многоэтажная застройка снижает скорость движения воздуха, в результате загрязнение увеличивается. В тихую погоду восходящие потоки могут вызывать приток прохладного воздуха от периферии к центру.

Зеленые насаждения улучшают микроклимат, ослабляют ветры, являются резервуаром чистого воздуха, выделяют в воздух кислород и поглощают углекислый газ. Почва, покрытая растительностью, хорошо поглощает солнечные лучи и снижает температуру летом.

Таким образом, рельеф местности может оказывать значительное влияние на концентрацию ЗВ в атмосфере [7].

1.6 Влияние барических систем на загрязнение атмосферы

Барическими системами называют распределения атмосферного давления на картах погоды, характеризуемых распределением изобар. К ним относятся циклоны, антициклоны, ложбины, гребни и седловины [11]. На рис. 1.4 представлены перечисленные барические системы.

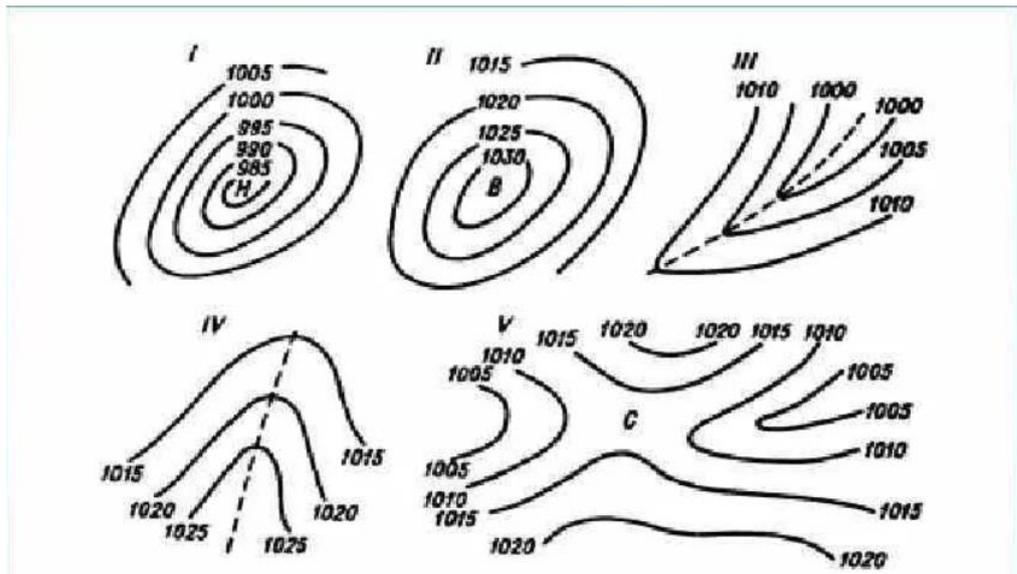


Рисунок. 1.4. - Барические системы

Циклон - это зона низкого атмосферного давления в центре, где воздух вращается против часовой стрелки в северном полушарии и по часовой стрелке в южном полушарии. В нем наблюдается восходящие движения воздуха. На рис. 1.5 изображено движение воздуха в циклоне.

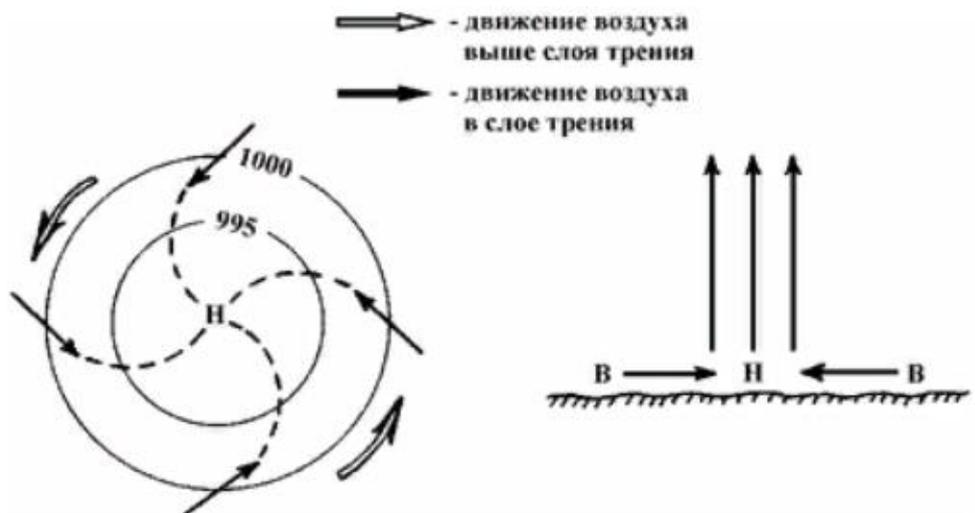


Рисунок. 1.5. - Движение воздуха в циклоне

У циклона существует четыре стадии развития [11]:

Начальная стадия — это стадия волны. На ней начинает зарождаться циклон. Как правило, это происходит на малоподвижных фронтах. Стадия проходит от волны до первой замкнутой изобары в вершине волны. Давление начинает падать.

Вторая стадия — это стадия молодого циклона. Давление в центре продолжает падать. Имеется не менее двух замкнутых изобар. Хорошо выделен теплый сектор

Третья стадия — это стадия максимального развития. Давление в центре достигает наименьшего значения. Увеличивается его площадь и растет число замкнутых изобар. Начинает формироваться фронт окклюзии.

Заполняющийся циклон. Вытеснение теплого воздуха вверх приводит к тому, что в окклюдированном циклоне все пространство у земли оказывается занятым холодным воздухом. Наблюдается быстрый рост давления в тылу циклона. При этом рост давления в тыловой части значительно превосходит падение в передней части циклона. Циклон заполняется, его облачные системы размываются, редуют, осадки прекращаются. Начинается постепенное улучшение погоды.

Последняя стадия — это стадия заполнения. Давление в центре начинает расти, уменьшается количество замкнутых изобар. В циклоне остается только фронт окклюзии.

На рис.1.6 представлены условия погоды в различных частях циклона [11].

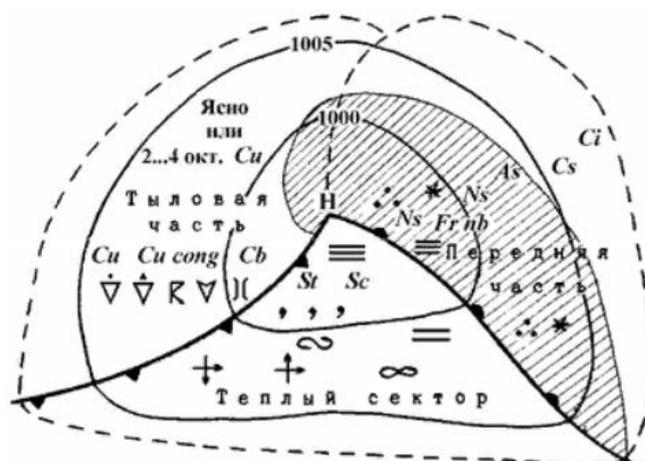


Рисунок 1.6 - Условия погоды в различных частях циклона

Из рис. 1.6 видно, что у циклона выделяется 4 части [11]:

Центральная часть располагается в пределах первой замкнутой изобары. В ней наблюдается самая неблагоприятная погода. Она характерна сплошной низкой облачностью, выпадением сильных осадков, понижением видимости и сильными ветрами. Летом могут быть сильные грозы, а зимой метели.

Передняя часть находится перед теплым фронтом, который и обуславливает погоду. Наблюдаются преимущественно слоистообразная облачность, обложные осадки, частые туманы, общие метели.

Тыловая часть находится за холодным фронтом. Здесь находится холодный воздух, который в теплое время года становится неустойчивой воздушной массой, а в холодное время года, как правило, устойчивой воздушной массой со слоисто-кучевыми облаками, из которых выпадает слабый снег. Также наблюдаются сильные порывистые ветры, часто проходят вторичные фронты.

Теплый сектор - это часть циклона которая расположенная между теплым и холодным фронтами. Здесь находится теплый воздух, который зимой является устойчивой воздушной массой, а летом - неустойчивой. Наиболее сложные условия наблюдаются в холодное время года, когда в теплом секторе

образуются низкие слоистые и слоисто-кучевые облака, морозящие осадки и адвективные туманы [11].

Ложбина — это область низкого давления с незамкнутыми изобарами. Ее ось — это область сходимости ветров, поэтому в ней наблюдается плохая погода, сопровождающаяся облачностью, осадками и сильными ветрами. На рис. 1.7 изображено строение ложбины.

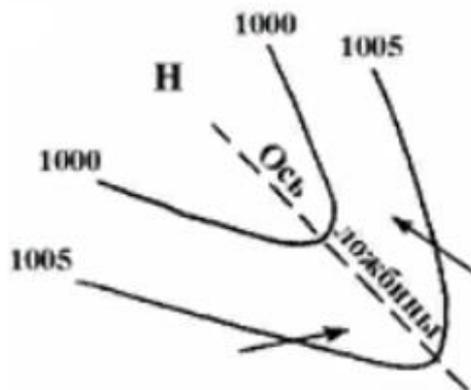


Рисунок 1.7 - Строение ложбины

Антициклон — это область высокого давления в центре с направлением ветра против часовой стрелки. Наблюдаются нисходящие движение воздуха [12]. На рис. 1.8 изображено движение воздуха в антициклоне.

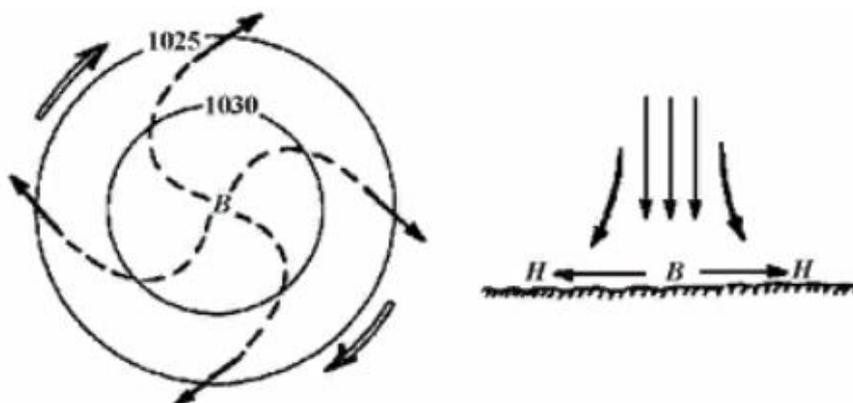


Рисунок 1.8 - Движение воздуха в антициклоне

Существует три стадии развития антициклона [12]:

Начальная стадия формирована это - стадия молодого антициклона. Он формируется в холодном воздухе в тыловой части циклона и имеет вид гребня с интенсивным ростом давления.

Вторая стадия — это стадия Максимального развития. На барических картах выражен несколькими замкнутыми изобарами. Давление в передней части антициклона растет, в тыловой - падает. Является высотным образованием.

Последняя стадия — это стадия разрушения антициклон. Давление в центре начинает понижаться, нисходящие движения потоки ослабевают, начинается разрушение антициклона.

На рис.1.9 представлены условия погоды в различных частях антициклона [12].

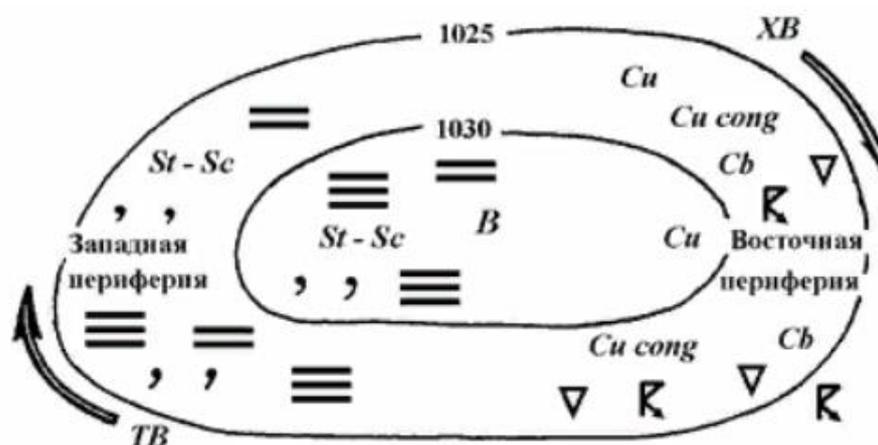


Рисунок 1.9 - Условия погоды в разных частях антициклона

Из рис. 1.9 можно выделить три части антициклона:

В центральной части антициклона наблюдается ясная или малооблачная погода с высокими температурами лето и низкими зимой. При большой влажности ночью могут образовываться радиационные туманы, а иногда низкие слоистые облака.

На восточной периферии антициклона воздух перемещается с севера. В разные времена года образуются разные воздушные массы, летом неустойчивая с кучево-дождевыми облаками и грозами. Зимой образуются устойчивые воздушные массы.

На западной периферии антициклона воздух перемещается с юга. Зимой образуется устойчивая воздушная масса, летом - неустойчивая. Наиболее сложные условия наблюдаются в холодное время года, когда при достаточной влажности воздуха образуются адвективные туманы и низкие слоистые и слоисто-кучевые облака [12].

Гребень – это область повышенного давления с незамкнутыми изобарами. Ось является область расходимости ветров. Погода в гребне ясная или малооблачная с устойчивой воздушной массой зимой и неустойчивой летом [12]. На рис. 1.10 изображено строение гребня антициклона.

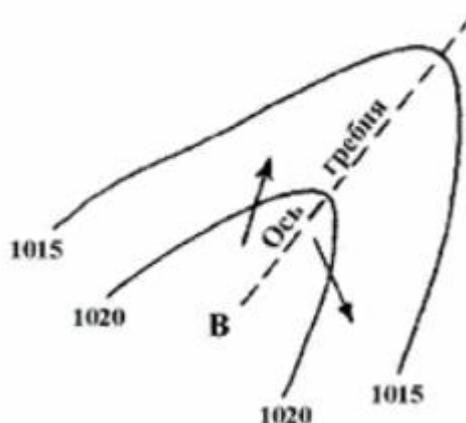


Рисунок 1.10 - Строение гребня

Седловиной называют барическое образование, которое находится между циклонами и антициклонами (см. рис.1.11).

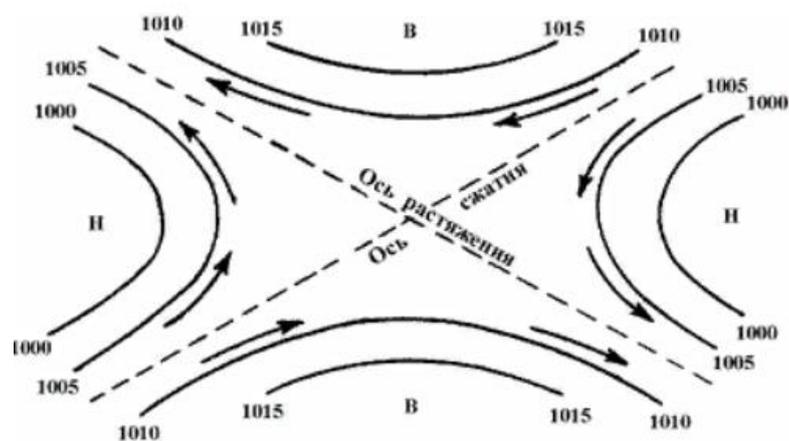


Рисунок. 1.11 - Строение седловины

Барические системы играют важную роль в формировании погоды и климата, поэтому они оказывают значительное влияние на загрязнение атмосферы. Циклоны и антициклоны могут приводить к изменениям скорости и направления ветра, что может влиять на перемещение загрязненного воздуха. На фронтах в зоне атмосферного фронта вдоль поверхности контакта холодной и теплой воздушных масс, а также в антициклонах могут образоваться приподнятые инверсии, которые препятствуют вертикальному передвижению воздуха. Так же из-за определенных условий погоды в барических образованиях могут возникать осадки, которые очищают атмосферу от загрязнений. Известно, что определенной синоптической ситуации свойственна своя система воздушных течений, которая в большей или в меньшей степени влияет на распределение примесей. Антициклон и гребень – области повышенного атмосферного давления. В этих барических системах преобладают нисходящие движения воздуха и малооблачная погода, без осадков. Это является одной из причин повышенных концентраций в приземном слое атмосферы. Циклон и ложбина – области пониженного давления, в которых преобладают восходящие движения воздуха и облачная, часто с осадками погода. Уровень загрязнения в этот период, преимущественно понижен [11,12].

2 Экологический мониторинг окружающей среды

2.1 Сущность, цели и задачи экологического мониторинга

Экологический мониторинг - это систематический процесс сбора, анализа и интерпретации информации об окружающей среде, который позволяет оценить ее состояние и изменения в течение времени. Этот процесс может включать в себя измерение уровней загрязнения воздуха, воды и почвы, изучение изменений в биологическом разнообразии и популяциях животных и растений, а также мониторинг других параметров окружающей среды [13].

Целями экологического мониторинга являются:

Оценка состояния окружающей среды: Экологический мониторинг позволяет получить информацию о том, в каком состоянии находится окружающая среда в настоящее время. Измерение уровней загрязнения воздуха, воды и почвы, а также изучение изменений в биологическом разнообразии позволяет оценить, насколько экосистемы здоровы и функционируют в соответствии с их естественными параметрами.

Определение экологических проблем: Экологический мониторинг также позволяет идентифицировать экологические проблемы, такие как загрязнение воздуха, воды и почвы, изменение климата, потеря биоразнообразия и т.д. Эта информация может быть использована для разработки мер по устранению проблем и предотвращению их повторного возникновения.

Оценка эффективности мер по защите окружающей среды: Мониторинг может использоваться для оценки эффективности мер по защите окружающей среды, таких как внедрение новых технологий и процессов, законодательные и нормативные акты и т.д. Это позволяет определить, насколько эффективны такие меры и внести необходимые изменения для их совершенствования.

Предоставление информации для принятия решений: Экологический мониторинг может быть использован для предоставления информации для принятия решений в области управления окружающей средой. Это может включать в себя разработку политики и стратегий в области охраны окружающей среды, разработку мер для предотвращения загрязнения окружающей среды и других решений [13].

К задачам, которые решает экологический мониторинг можно отнести:

- сбор первичной информации, ее накопление, систематизация, анализ и формирование банка данных;
- обработку и представление данных в виде различных таблиц, графиков, карт;
- усовершенствование и разработку методов получения исходной информации, оценка текущего состояния окружающей среды и прогноза;
- анализ причин наблюдаемых и вероятных изменений состояний;
- оперативное обеспечение необходимой информацией всех заинтересованных лиц.

2.2 Классификация и организация экологического мониторинга

Существует множество классификаций экологического мониторинга, в зависимости от различных факторов. Рассмотрим только некоторые из них [14]:

1. В зависимости от масштаба:

Глобальный мониторинг - этот тип мониторинга проводится на масштабе всей планеты и включает в себя изучение изменений в глобальных экологических системах, таких как изменение климата, потеря биоразнообразия, изменения в качестве водных ресурсов и т.д.

Региональный мониторинг - это форма экологического мониторинга, который проводится на территории, охватывающей несколько локальных участков, например, на территории региона или области. Региональный мониторинг может проводиться для оценки качества окружающей среды на данной территории, а также для выявления экологических проблем.

Национальный мониторинг - это тип мониторинга, который проводится на уровне всей территории страны. Он включает в себя сбор и анализ данных о состоянии окружающей среды, включая воздух, воду, почву, биоразнообразие и другие компоненты экосистем.

Локальный мониторинг - этот тип мониторинга проводится на конкретном участке или территории, например, на производственной площадке или в районе населенного пункта. Локальный мониторинг может включать в себя измерение уровней загрязнения окружающей среды, контроль за состоянием почвы и растительности, а также наблюдение за здоровьем и поведением животных.

2. В зависимости от воздействия на человека [14]:

Фоновый мониторинг - это метод оценки состояния окружающей среды в естественном режиме, без каких-либо дополнительных воздействий на окружающую среду.

Импактный мониторинг - это метод оценки воздействия на окружающую среду в результате каких-либо действий, таких как строительство объектов, эксплуатация промышленных предприятий, переработки отходов и т.д.

3. В зависимости от методов наблюдений [14]:

Физико-химические методы - это группа методов, которые используются в экологическом мониторинге для анализа химических и физических свойств различных компонентов окружающей среды.

К ним относятся следующие методы:

- *Спектроскопические методы*, используются для анализа свойств химических соединений и для определения их концентрации.
- *Хроматографические методы*, используются для анализа химических соединений в образцах, таких как вода, почва, воздух и др.
- *Электрохимические методы*, используются для измерения концентрации различных химических соединений и ионов в образцах.
- *Фотометрические методы*, включающие колориметрию и спектрофотометрию. Они используются для анализа свойств химических соединений и для определения их концентрации.
- *Термические методы*, используются для анализа свойств и химического состава различных материалов.

Методы биологического мониторинга, позволяет судить о состоянии окружающей среды по факту встречи, отсутствия, особенностям развития организмов-биоиндикаторов. В него входят мониторинги видового состава, популяций, биохимических параметров живых организмов, здоровья живых организмов и индикаторных видов

Методы статистической и математической обработки данных широко используются в экологическом мониторинге для анализа полученных результатов. Они помогают выявлять закономерности и тренды в изменении параметров окружающей среды и связывать их с возможными причинами. К основным методам статистической и математической обработки данных относятся: дисперсионный анализ, корреляционный анализ, регрессионный анализ, многомерный статистический анализ и моделирование.

Организация мониторинга атмосферного воздуха проводится в соответствии с ГОСТ 17.2.3.01 86 Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов [15].

Наблюдения за уровнем загрязнения атмосферного воздуха в городах и населённых пунктах, производятся на посту. Он представляет собой заранее

выбранное для этой цели место, на котором размещается автомобиль, который оборудован всеми соответствующими приборами, или павильон. Посты наблюдений бывают трех категорий: стационарные, маршрутные и передвижные (подфакельный).

Стационарные посты предназначены для обеспечения перманентной регистрации содержания загрязняющих веществ или регулярного отбора проб воздуха для последующего анализа. Такие посты могут быть установлены как на территории производственных предприятий, в населенных пунктах, в экологически чувствительных районах или в зонах природных заповедников.

Маршрутный пост предназначен для регулярного отбора проб воздуха в фиксированной точке местности при наблюдениях, которые проводятся при помощи передвижного оборудования. Маршрутные посты наблюдения имеют ряд преимуществ по сравнению со стационарными постами. Во-первых, они позволяют получить данные о состоянии окружающей среды на большей территории, что позволяет более полно оценить уровень загрязнения. Во-вторых, маршрутные посты могут использоваться для мониторинга состояния окружающей среды в режиме реального времени в местах, где нет стационарных постов. В-третьих, маршрутные посты могут быть быстро перемещены в новую точку, что позволяет эффективно реагировать на изменения ситуации и определять наиболее проблемные участки на территории [15].

Передвижной (подфакельный) пост предназначен для отбора проб под дымовым (газовым) факелом с целью выявления зоны влияния данного источника.

Посты размещаются на открытой, проветриваемой площадке с непылящим покрытием для исключения искажения результатов измерений. Места размещения определяются на основе предварительного исследования загрязнения воздушной среды. Размещение стационарных постов

согласовывается с местными органами Росгидромета и санитарно-эпидемиологической службой. Их число и расположение определяется с учетом численности населения, площади населенного пункта, развития промышленности и транспортной инфраструктуры. Число стационарных постов устанавливается в зависимости от численности населения. В населенных пунктах их устанавливают через каждые 0,5-5 км с учетом сложности рельефа и наличия источников загрязнения. При проведении расширенных исследований число стационарных постов может быть увеличено [15].

2.3 Автоматические станции контроля воздуха в Санкт-Петербурге

Автоматическая станция мониторинга загрязнения атмосферного воздуха – это комплекс аппаратно-программных средств, разработанный для автоматического сбора и обработки информации о загрязнении воздуха на определенной территории. Она позволяет проводить непрерывный контроль за состоянием атмосферы и выявлять наличие источников загрязнения воздуха. Автоматические станции мониторинга загрязнения атмосферного воздуха оснащены различными датчиками, которые измеряют концентрацию вредных веществ в атмосфере, таких как диоксид серы, оксиды азота, углекислый газ, озон и другие. Полученные данные передаются на центральную базу данных, где происходит их анализ и обработка. Результаты мониторинга могут быть использованы для принятия мер по улучшению экологической ситуации и защите здоровья населения.

Единая государственная система мониторинга загрязнения атмосферного воздуха на территории Санкт-Петербурга включает государственную наблюдательную сеть, сформированную Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и территориальную

систему наблюдений, сформированную Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности.

ФГБУ «Северо-Западное УГМС» (государственная сеть наблюдений) проводит систематические наблюдения за состоянием загрязнённости атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге на стационарных постах (ПНЗ), расположенных в разных административных районах города. Правила и программы работы постов наблюдений регламентированы Руководством по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89 [16]. На постах отбираются пробы воздуха на содержание в нем взвешенных веществ, диоксида серы, оксида углерода, диоксида азота, оксида азота, фенола, сероводорода, аммиака, хлористого водорода, формальдегида, бенз(а)пирена и ароматических углеводородов (бензол, ксилолы, толуол, этилбензол).

В рамках территориальной системы наблюдений Комитетом сформирована автоматизированная система мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга (далее - АСМ-АВ), в состав которой входит 25 автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. Станции АСМ-АВ расположены во всех 18 административных районах Санкт-Петербурга (см. рис.2.1) [17].

Адреса расположения автоматических станций:

- №1 - СПб, ул.Профессора Попова, 48
- №2 - г. Колпино, ул. Красная, д.1-А
- №3 - СПб, ул. Карбышева, 7
- №4 - СПб, Будапештская, д.7, к.1
- №5 - СПб, пр. Маршала Жукова, 30, корп. 3
- №6 - пр, Кима, 26 лит, А
- №7 - СПб, ул. Шпалерная, д. 56
- №8 - СПб, Новосельковская улица, 23
- №9 - СПб, Малая Балканская ул., д.54

- №10 - Московский пр., д. 19
- №11 - Сестрорецк, ул. М.Горького,2
- №12 - ул. Пестеля, д. 1
- №13 - СПб, пр. Индустриальный, 64
- №14 - Уткин проспект, д.16
- №15 - Кронштадт, ул. Ильмянинова, д.4
- №16 - Московский пр., дом 139, корп. 2, литер А
- №17 - г. Пушкин, Тиньков пер., д.4
- №18 - СПб, ул. Ольги Форш, д.6
- №19 - СПб, пр. Ветеранов, д.167, к. 6/1
- №20 - СПб, ул. Тельмана, д.24
- №21 - г.Ломоносов, ул.Федюнинского, д.3
- №22 - Канонерский остров, д. 21/1
- №23 - СПб, пр.Динамо, 44
- №24 – СПб, В.О., Средний пр., д. 74
- №25 - пос.Металлострой, ул.Железнодорожная, д.13/1

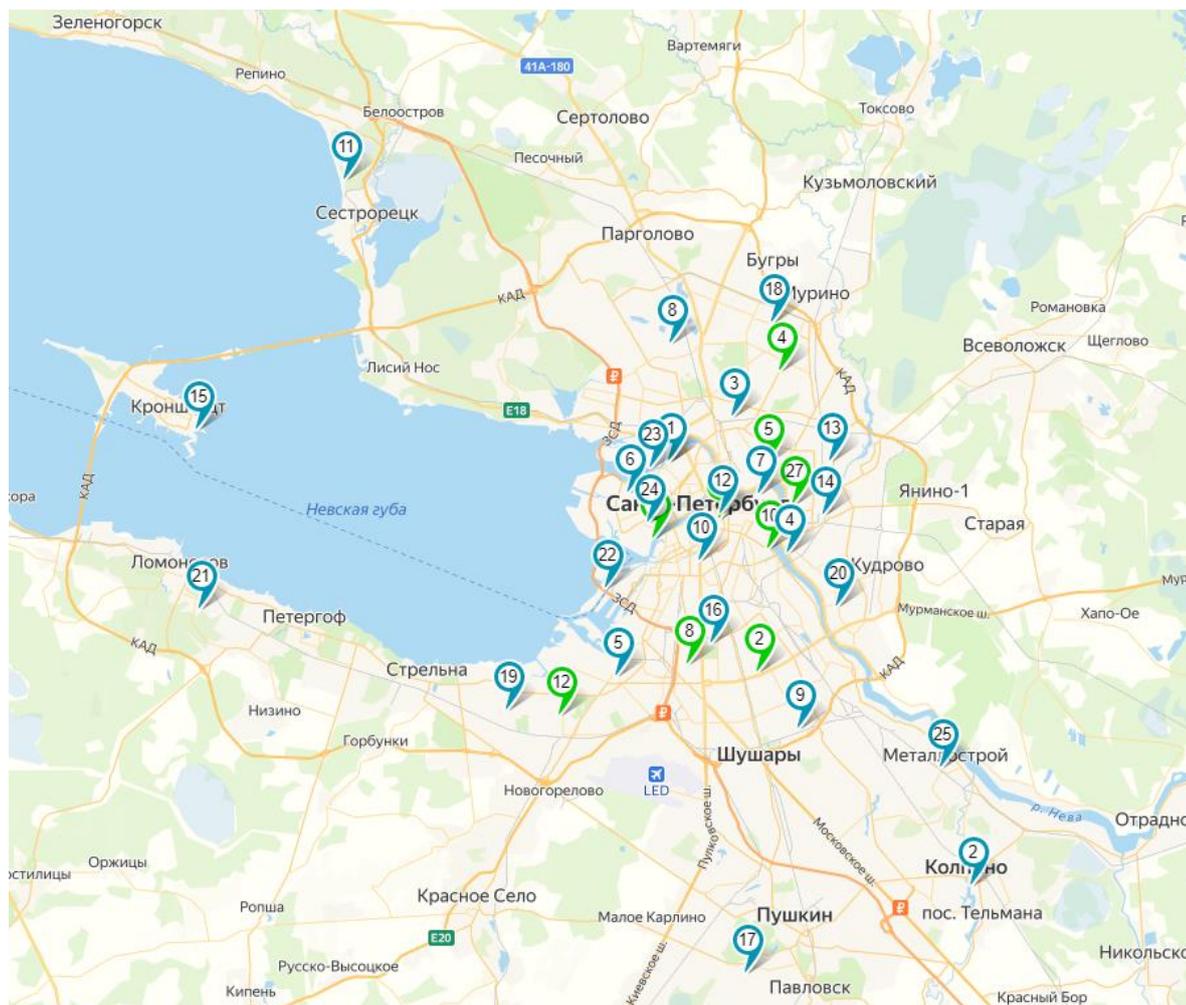


Рисунок 2.1 - Схема размещения автоматических станций

На рис. 2.1 синими метками отмечены автоматические станции загрязнения атмосферного воздуха, а зелеными станции стационарные посты наблюдения за состоянием загрязнённости атмосферного воздуха (ПНЗ) ФГБУ «Северо-Западное УГМС».

На автоматических станциях в зависимости от программы мониторинга осуществляется круглосуточное определение (каждые 20 минут) взвешенных частиц диаметром менее 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) или взвешенных частиц диаметром менее 10 мкм (PM_{10}), диоксида серы (SO_2), оксида углерода (CO), диоксида азота (NO_2), оксида азота (NO), озона (O_3). На станциях, оснащённых автоматизированными хроматографами, определяется фенол, ароматические углеводороды (бензол, изомеры ксилолы (о-, м-, п-), толуол, этилбензол). На

автоматической станции №8 дополнительно отбираются пробы на бенз(а)пирен.

АСМ-АВ обеспечивает ежедневное (по состоянию на утро) получение информации об уровне загрязнения атмосферного воздуха в городе. Обеспечение функционирования станций осуществляет Санкт-Петербургское государственное геологическое унитарное предприятие "Специализированная фирма "Минерал" [17].

3 Исследование загрязнения воздуха в Невском районе города Санкт-Петербург в зимний и летний периоды 2021-2022 годов

3.1 Общая информация о Невском районе

Невский район – административная единица Санкт-Петербурга, он расположен на юго-востоке города (рис.3.1). Это единственный район, который одновременно расположен сразу на двух берегах Невы.

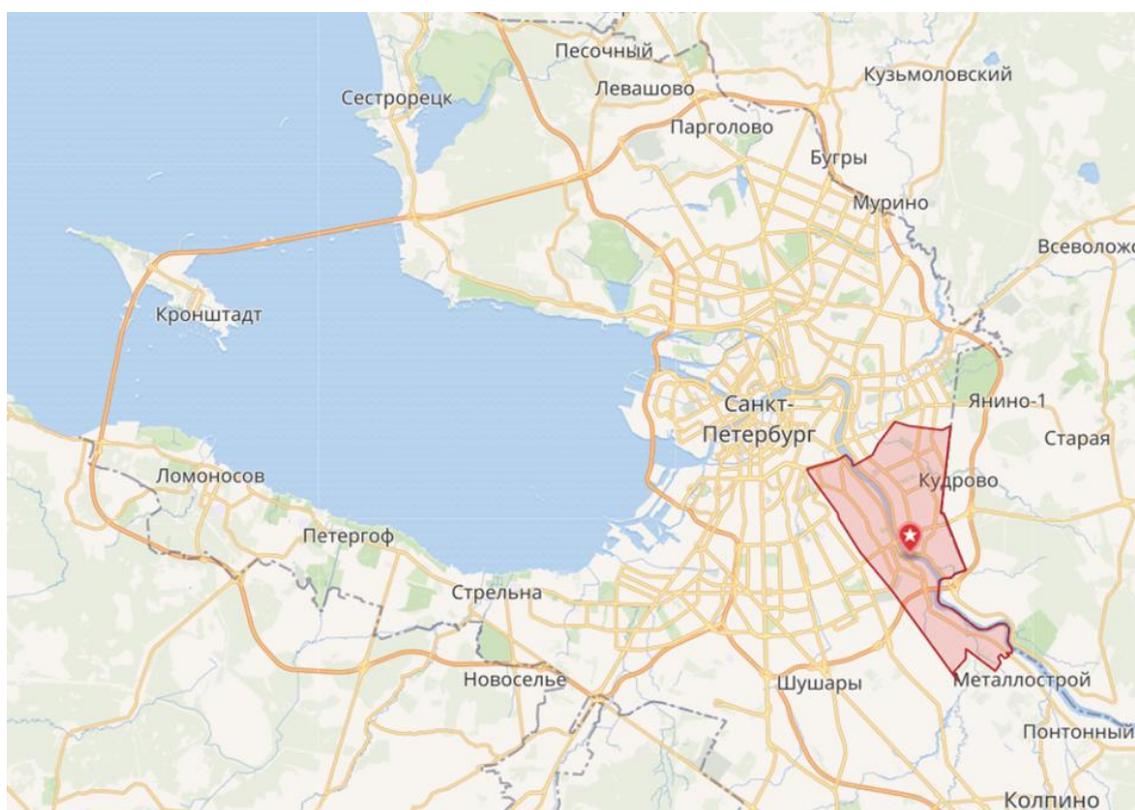


Рисунок 3.1 - Расположение Невского района

Его площадь составляет около 6 тысяч гектаров, это 4.3% от общей площади города. Его протяженность с севера на юг – около 20 км, а с запада на восток – около 8 км. На севере граничит с Красногвардейским и Центральным районами, на западе с Фрунзенским районом, на юго-востоке – с Колпинским районом, а на востоке его граница является границей города, к ней примыкает Всеволожский район Ленинградской области [18].

В Невском районе хорошо развита транспортная инфраструктура. Основными транспортными магистралями являются, на правом берегу – Октябрьская набережная, Дальневосточный проспект, проспекты Большевиков, Российский, Товарищеский и Искровский, а также улицы Подвойского, Коллонтай, Дыбенко, Народная. На левом берегу: проспекты Обуховской обороны, Шлиссельбургский, улицы Седова, Бабушкина и Ивановская. Народная улица переходит в Мурманское шоссе.

Между берегами Невы расположены два автомобильных (Володарский и Большой Обуховский (Вантовый)) и один железнодорожный (Финляндский) мосты.

По району проходит множество автобусных, трамвайных, троллейбусных маршрутов. Также расположено 7 станций метрополитена (Елизаровская, Ломоносовская, Пролетарская, Обухово, Рыбацкое, Проспект Большевиков и Улица Дыбенко) и 6 железнодорожных станций (Навалочная, Пост 5 км, Фарфоровская, Сортировочная-Московская, Обухово и Рыбацкое).

В Невском районе расположено более 70 фабрик и заводов, наиболее крупные из них – металлургический и машиностроительный «Обуховский завод», «Невская косметика», комбинат хлебопродуктов им. Кирова, стекольный завод, Императорский фарфоровый завод, «Невский завод», Российский научный центр «Прикладная Химия», Комбинат технических суков, Писчебумажная фабрика им Володарского, Завод турбинный лопаток, ОАО «Звезда», Научно-производственная фирма «Пигмент», Пролетарский завод, Октябрьский электровагоноремонтный завод, завод «Навигатор», завод подъемно-транспортного оборудования имени С.М. Кирова, пивоварня «Heineken».

В Невском районе находится небольшое количество парков, основные из них – парки имени И.В. Бубушкина, парк имени Есенина, парк Усадьбы

генерала Чернова «Сосновка», парка «Куракина Дача», парк Боевого Братства и др. [19].

3.2 Анализ данных мониторинга загрязняющих веществ

Оценка качества атмосферного воздуха Невского района Санкт-Петербурга проводилась на основании данных, полученных с официального сайта Экологического портала Санкт-Петербурга [17], которые находятся в свободном доступе.

На территории района размещена только одна автоматическая станция №20 мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, расположенная по адресу улица Тельмана, д. 24 (рис.3.2).

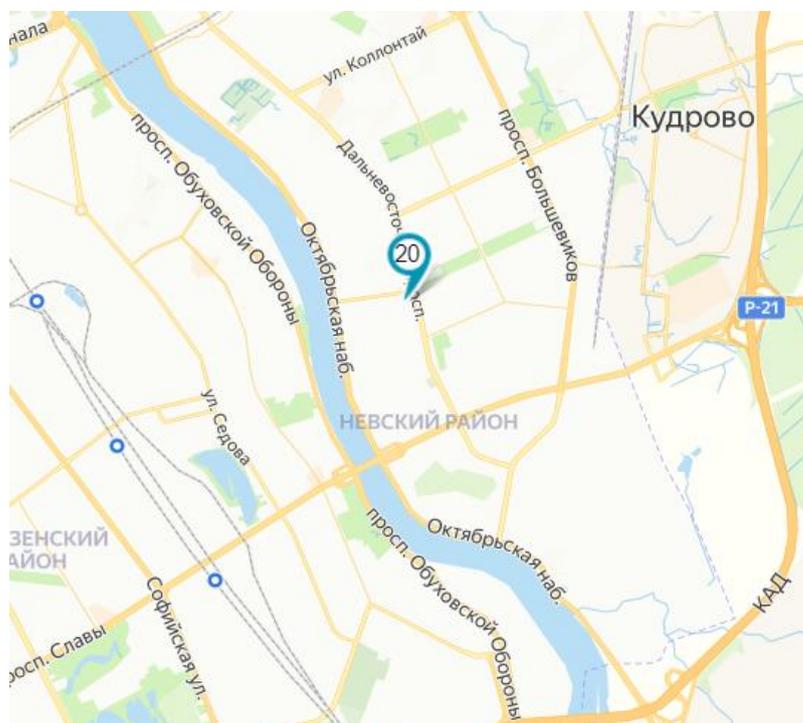


Рисунок 3.2 - Расположение автоматической станции

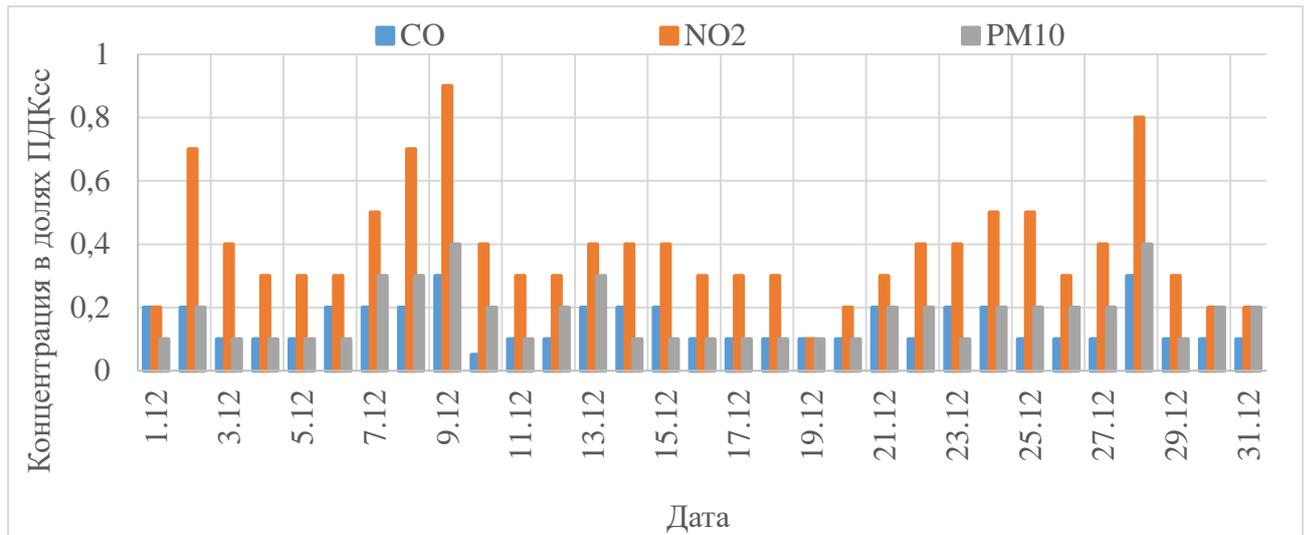
Станция расположена на правом берегу Невы, рядом с ней находятся крупные автомагистрали, такие как Дальневосточный проспект, Октябрьская набережная, улицы Крыленко, Тельмана и Народная. Рядом находятся пивоварня и промышленная зона «Невская Мануфактура». На юго-востоке от автоматической станции расположена Правобережная ТЭЦ, а также большой сектор различных предприятий.

Автоматическая станция №20 предоставляет данные о концентрациях загрязняющих веществ, таких как оксид углерода (CO), диоксид азота (NO₂), диоксид серы (SO₂) и взвешенных частиц (PM₁₀). Средние концентрации загрязняющих веществ, выраженные в единицах среднесуточных предельно допустимых концентраций (ПДК_{сс}).

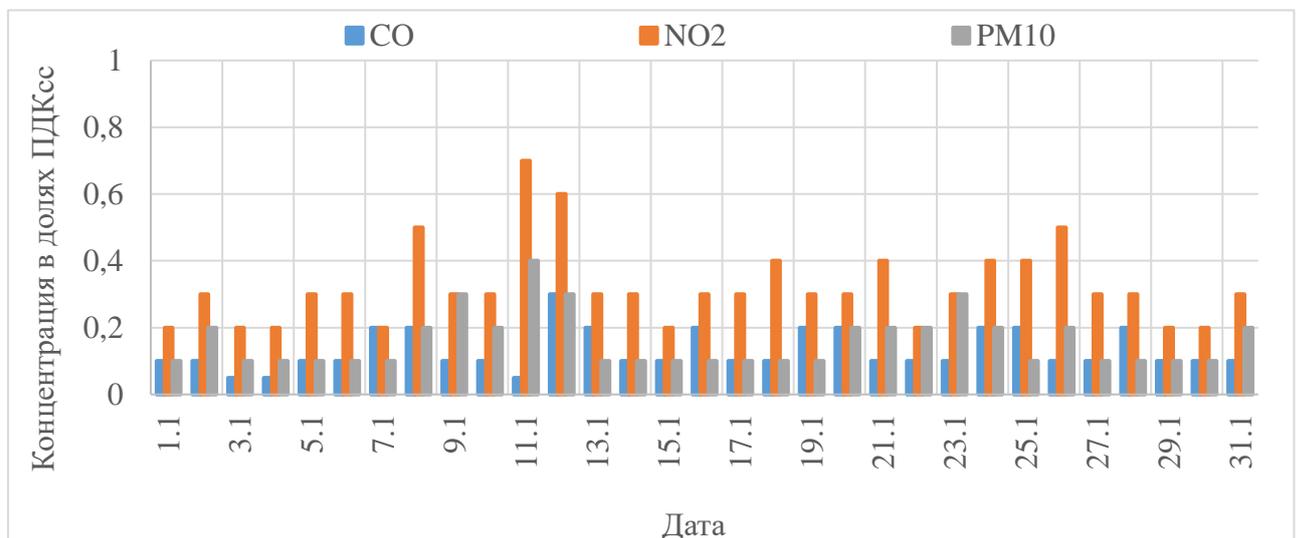
В качестве исследуемого периода были выбраны шесть месяцев 2021-2022 годов, из которых три зимних (декабрь, январь, февраль) и три летних (июнь, июль, август).

На рис. 3.3 представлены графики распределения среднесуточных концентраций ЗВ в долях ПДК_{сс} за каждый месяц исследуемого периода, Таблицы с данными представлены в Приложении.

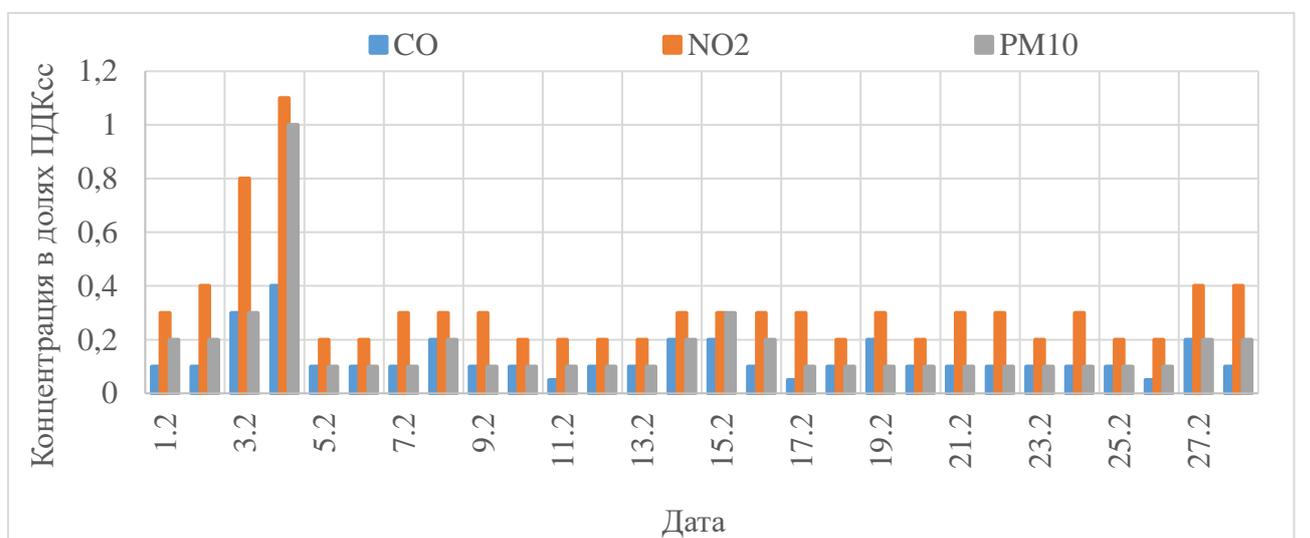
а. Декабрь



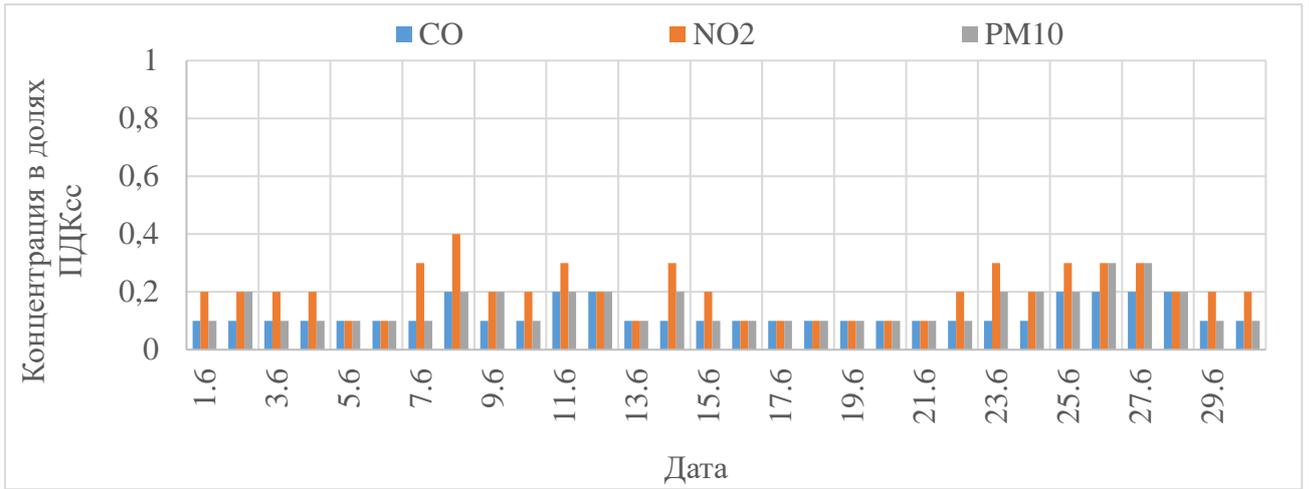
б. Январь



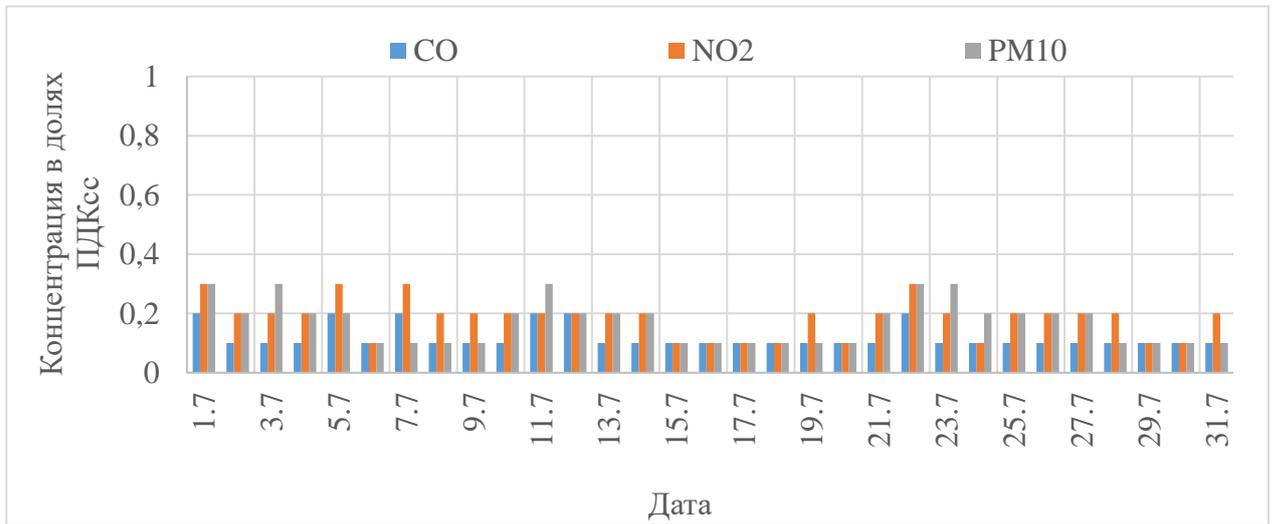
с. Февраль



d. ИЮНЬ



e. ИЮЛЬ



f. АВГУСТ

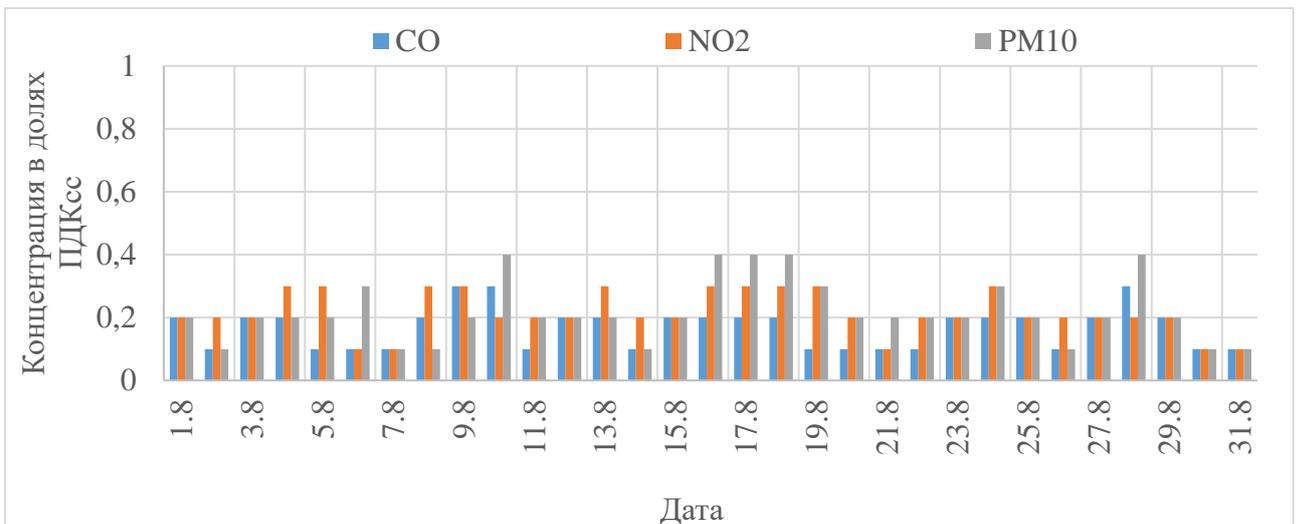


Рисунок 3.3 - Концентрации загрязняющих веществ за шесть месяцев
 а – декабрь, б – январь, с – февраль, d – июнь, е – июль, f – август

Проанализировав рис. 3.3 можно сделать выводы:

В декабре максимальное значение СО было зафиксировано 09.12, а также 28.12 и составило 0,3 ПДК_{сс}. Минимально значение СО было 10.12 и имело значение меньше 0,1 ПДК_{сс}. Максимально значение NO₂ наблюдалось 09.12 и составило 0,9 ПДК_{сс}, а минимальное значение было 19.12 и равнялось 0,1 ПДК_{сс}. PM₁₀ максимум поднимались 09.12 и 28.12 и равнялись 0,4 ПДК_{сс}, минимально значение было 0,1 ПДК_{сс}.

В январе максимально значение NO₂ было 11.01 и составил 0,7 ПДК_{сс}, минимум равнялся 0,2, он часто наблюдался на протяжении всего месяца. Максимальное значение СО наблюдалось 12.01 и равнялось 0,3 ПДК_{сс}, минимальное значение было менее единицы и наблюдалось несколько раз в первой половине января.

В феврале максимально значение NO₂ наблюдалось 04.02 и составило 1,2 ПДК_{сс}, что является превышением нормы. Минимум наблюдался почти на протяжении всего месяца и составил 0,2 ПДК_{сс}. Максимум СО равнялся 0,4 ПДК_{сс} и наблюдался 04.02, минимум был равен меньше 0,1 и наблюдался 11.2, 17.02 и 26.02. Максимум PM₁₀ составил 1 ПДК_{сс}, он наблюдался 04.02, минимум наблюдался на протяжении всего месяца и равнялся 0,1 ПДК_{сс}.

Проанализировав значения концентраций загрязняющих веществ зимой, можно сделать вывод, что уровень загрязнения был выше среднего. Значения хоть и были повышены, но почти всегда оставались в норме. В декабре и январе концентрация диоксида азота (NO₂) часто была больше 0,4 ПДК_{сс}, иногда она поднималась и до более высоких значений, таких как 0,7, а также 0,8 и 0,9 ПДК_{сс}, что почти превышало норму среднесуточной концентрации. В феврале значения NO₂ были повышены только в первые 4 дня месяца. Они резко росли с 0,3 ПДК_{сс}, и перешли значения нормы 04.02 и равнялись 1,2 ПДК_{сс}. После на протяжении оставшегося месяца концентрации не поднимались выше 0,3 ПДК_{сс}. Значения концентраций СО на протяжении все зимы были достаточно

низки, только 04.02 оно поднялось до своего максимума и составило 0,4 ПДК_{сс}. Концентрация взвешенных частиц (PM₁₀) за всю зиму редко поднимались и были на умеренном уровне. 09.12, 28.12 и 11.01 концентрация поднялась до значений 0,4 ПДК_{сс}, а 04.02 была на границе нормы среднесуточной концентрации и составила 1 ПДК_{сс}. Самый загрязнённый месяц за всю зиму был декабрь, менее загрязненный январь, и самый «чистый», хоть и с одним днем, где наблюдалось превышение ПДК_{сс} - это февраль.

В июне максимально значение концентрации СО наблюдалось шесть раз и составило 0,2 ПДК_{сс}, минимум наблюдался на протяжении всего месяца и равнялся 0,1 ПДК_{сс}. Максимум NO₂ наблюдался 08.06 и составил 0,4 ПДК_{сс}, минимум был на протяжении всего месяца и равнялся 0,1 ПДК_{сс}. Максимум PM₁₀ наблюдался 26.06, а также 27.06 и был равен 0,3 ПДК_{сс}, минимум был на протяжении всего месяца и равнялся 0,1 ПДК_{сс}.

В июле максимальное значение СО наблюдалось пять раз и равнялось 0,2 ПДК_{сс}. Значение 0,1 ПДК_{сс}, является минимумом и наблюдалось на протяжении всего месяца. Своего максимума концентрация NO₂ достигала четыре раза и равнялась 0,3 ПДК_{сс}, а больше половины месяца достигала своего минимума и равнялась 0,1 ПДК_{сс}. Концентрация PM₁₀ до своего максимума поднималась пять раз и равнялась 0,3 ПДК_{сс}, минимум был равен 0,1, и он наблюдался на таком значении около половины месяца.

В августе максимальное значение СО достигалось 3 раза и равнялось 0,3 ПДК_{сс}, минимальное значение составило 0,1 ПДК_{сс}, и наблюдалось на протяжении всего месяца. Максимальное значение NO₂ часто наблюдалось за месяц и составило 0,3 ПДК_{сс}, минимально значение наблюдалось пять раз и составило 0,1 ПДК_{сс}. Максимальное значение PM₁₀ равнялось 0,4 ПДК_{сс}, и поднималось до него четыре раза. Минимальное значение равнялось 0,1 ПДК_{сс}, оно достигалось 8 раз за месяц.

Проанализировав значения концентраций загрязняющих веществ летом, можно сделать вывод что, уровень загрязнения был довольно низок. Самый «чистый» месяц был - июль, значения во время него находились в диапазоне 0,1 – 0,3 ПДК_{сс} и не превышали его. Более загрязненным был июль. Значения СО₂ на протяжении всего месяца были низки. Значения NO₂ в июне были выше по сравнению с июлем. Довольно часто значения поднимали до 0,3 ПДК_{сс}, и один раз до значения 0,4 ПДК_{сс}. Значения PM₁₀ в эти месяцы были примерно одинаковые. Самым загрязненным месяцем был август. Во время него значения среднесуточных концентраций PM₁₀ и NO₂ были выше, чем в июне и июле. Они часто достигали значения 0,3 и 0,4 ПДК_{сс}, когда в предыдущие месяцы эти значения достигались по несколько раз за тридцать дней.

Делая общий вывод из рис. 3.4 можно сказать, что значения ПДК_{сс} NO₂ зимой выше, чем летом. Концентрация СО₂, что зимой, что летом, находится на одном уровне. Значения PM₁₀ чуть выше летом, чем зимой.

3.3 Данные о метеорологических характеристиках в Санкт-Петербурге за зимний и летний периоды 2021 - 2022 годов

Санкт-Петербург и Ленинградская область относятся к зоне умеренного климата, переходного от океанического к континентальному, с умеренно мягкой зимой и умеренно теплым летом [19].

Основной особенностью климата здесь является непостоянство погоды, обусловленное частой сменой воздушных масс, которые, в зависимости от района формирования, подразделяются на морские, континентальные и арктические. Морские воздушные массы поступают с запада, юго-запада или северо-запада при перемещении через северо-западные районы России атлантических циклонов. Циклоны приносят пасмурную, ветреную погоду и осадки. Зимой они являются причиной резких потеплений, а летом, наоборот,

несут прохладу. С востока, юга или юго-востока входит сухой континентальный воздух. В антициклонах, сформировавшихся в этих воздушных массах, устанавливается малооблачная и сухая погода, летом жаркая, а зимой холодная. С севера и северо-востока, главным образом со стороны Карского моря, приходит сухой и всегда очень холодный арктический воздух, формирующийся надо льдом. Вторжения арктических воздушных масс сопровождаются наступлением ясной погоды и резким понижением температуры воздуха. В областях повышенного давления, сформировавшихся в этих воздушных массах, даже летом наблюдаются заморозки, а зимой – наиболее сильные морозы. Разнообразие синоптических процессов и частая смена воздушных масс являются причиной больших междусуточных колебаний метеопараметров. Перепады температуры воздуха, обусловленные сменой воздушных масс, могут значительно превышать амплитуду суточных колебаний и нередко достигают $\pm 20^\circ$ и более.

В Санкт-Петербурге зима продолжается в среднем 3,5 месяца (с начала декабря до середины марта). Для первой половины зимы, вследствие преобладания западного переноса воздушных масс, характерна пасмурная, ветреная, с частыми осадками и оттепелями погода. Во второй половине зимы зональная циркуляция чаще нарушается вторжениями арктического воздуха – холодного и сухого. Облачность заметно уменьшается, оттепели отмечаются реже [19].

Лето – умеренно теплое и длится в среднем от начала июня до конца первой декады сентября. Средняя многолетняя температура летних месяцев составляет $14^\circ\text{C} \dots 17^\circ\text{C}$.

В зависимости от особенностей атмосферной циркуляции отдельные зимы могут быть как экстремально теплыми, так и экстремально холодными. Средняя многолетняя температура зимой понижается от -5°C в декабре до $-8,5^\circ\text{C}$ в феврале.

Обзор погоды за декабрь 2021 года:

В декабре преобладающими в формировании погодных условий были процессы циклонического характера. При этом циклоны в основном смещались либо с запада на восток непосредственно через районы Ленинградской области, такой характер атмосферной циркуляции обусловил преобладание облачной погоды с частыми осадками преимущественно в виде снега. Температурный фон в первой и третьей декадах месяца был заметно пониженным относительно климатической нормы, лишь во второй декаде декабря превышал климатические показатели или был близким к ним.

В первой декаде месяца в ночные часы температура воздуха в Ленинградской области часто понижалась до $-15\dots-20$ градусов, в отдельные ночи местами до $-22\dots-26$ градусов, дневные температуры воздуха в первые дни декабря составляли $-5\dots-10$ градусов, затем понизились до $-12\dots-17$ градусов.

Во второй декаде декабря температурный фон существенно повысился до значений на $2\dots5$ градусов выше климатической нормы. В период с 13 по 19 декабря температура воздуха в ночные часы находилась в пределах от -4 до $+1$ градусов, днем повышалась до $-2\dots+3$ градусов.

В третьей декаде декабря температура воздуха вновь понизилась. Ночью морозы нередко усиливались до $-14\dots-19$ градусов, местами до $-23\dots-28$ градусов. Дневные температуры воздуха при этом составляли $-6\dots-11$, местами до -15 градусов. В последние дни декабря северо-атлантический циклон принес в наши районы теплый, влажный воздух. 31 декабря температура воздуха повысилась до $-3\dots+1$ градуса [19].

В Санкт-Петербурге среднемесячная температура воздуха составила $-7,5$ градуса, что на $2,9$ градуса ниже климатической нормы. Месячная сумма осадков составила $50,8$ мм или 100% от климатической нормы.

Основными направлениями ветра были юго-западные, северо-западные и южные направления. Средняя скорость изменялась от 1 до 5 м/с.

Обзор погоды за январь 2022 года:

В первой половине января формирование погодных условий в Ленинградской области происходило под чередующимся влиянием процессов циклонического и антициклонического характера. Во второй половине месяца наблюдался циклонический характер погоды, при этом.

В течение месяца осадки наблюдались почти ежедневно, преимущественно в виде снега, в отдельные дни в виде мокрого снега местами с дождем.

Температурный фон в первой половине месяца претерпевал значительные колебания от значений на 2...5 градусов ниже климатической нормы до значений на 2...7 градусов выше нее, во второй половине месяца превышал климатические показатели на 2...6 градусов, а в отдельные дни на 7...9 градусов.

В целом за месяц аномалия среднемесячной температуры воздуха по станциям Ленинградской области составила +3,3...+4,9 градуса. За месяц по области выпало 118-163% осадков от месячной нормы, на северо-востоке местами 89-105% осадков, на северо-западе местами 193-196% осадков от месячной нормы.

В Санкт-Петербурге среднемесячная температура воздуха составила -4,1 градуса, что на 3,7 градуса выше климатической нормы. Месячная сумма осадков составила 61 мм или 161% от климатической нормы [19].

Основными направлениями ветра были южные, северо-западные и юго-западные направления. Средняя скорость изменялась от 1 до 5 м/с.

Обзор погоды за февраль 2022 года:

В течение февраля преобладающими в формировании погодных условий были процессы циклонического характера. Большую часть месяца районы Ленинградской области находились под влиянием восточных и южных периферий северо-атлантических циклонов.

В течение месяца почти ежедневно выпадали осадки от небольших до умеренных в виде снега, мокрого снега, в отдельные дни с дождем. Преобладающие ночные температуры воздуха составляли 0...-5 градусов, в отдельные ночи при прояснениях морозы усиливались до -6...-11 градусов, местами до -15...-20 градусов. Преобладающие дневные температуры воздуха находились в пределах -3...+2 градуса, отдельные дни в начале месяца были холоднее с температурами -4...-9 градусов, а в отдельные дни в середине и в конце месяца температура воздуха днем повышалась до +3...+5 градусов.

В Санкт-Петербурге среднемесячная температура воздуха составила -1,2 градуса, что на 5,7 градуса выше климатической нормы. Месячная сумма осадков составила 61 мм или 197% осадков от климатической нормы [19].

Основными направлениями ветра были южные, юго-западные и западные направления. Средняя скорость изменялась от 1 до 4 м/с.

Обзор погоды за июнь 2022 года:

В первой и второй декадах июня погодные условия в Ленинградской области формировались под чередующимся воздействием процессов циклонического и антициклонического характера. Дождливые периоды сменялись отдельными погожими днями, при этом дожди, в основном, были кратковременного, хотя и нередко ливневого характера. Сильные дожди принес 14-15 июня «южный» циклон. Преобладающие ночные температуры воздуха находились в пределах от +8 до +13 градусов, в отдельные ночи понижались до +2...+7 градусов. Преобладающие дневные температуры составляли +15...+20 градусов, отдельные дни были теплее на 3...5 градусов.

В третьей декаде месяца над ЕТР установился антициклон. Наблюдалась сухая и жаркая погода. Воздух постепенно прогревался. Температурный фон 21-22 июня еще был немного ниже климатической нормы, а в последующие дни превышал климатические показатели. Если 21-23 июня температура воздуха в ночные часы не превышала +5...+10 градусов, а днем пределом было +18...+23 градуса, то 25-27 июня в ночные часы температура не опускалась ниже +12...+17 градусов, дневной прогрев при этом составлял +27...+32 градуса. 28-30 июня жара немного спала. Ночные температуры понизились до +11...+16, местами до +5...+8 градусов, днем воздух прогревался до +24...+29 градусов.

В Санкт-Петербурге среднемесячная температура воздуха составила +17,6 градуса, что на 1,5 градуса выше климатической нормы. Месячная сумма осадков составила 46,3 мм или 67% от климатической нормы [19].

Основными направлениями ветра были западные, северо-западные и юго-западные направления. Средняя скорость изменялась от 1 до 3 м/с.

Обзор погоды за июль 2022 года:

В первые дни июля погодные условия в Ленинградской области формировались под влиянием процессов антициклонического характера. Наблюдалась малооблачная, сухая и жаркая погода. Температурный фон превышал климатические показатели на 6...8 градусов. Ночные температуры воздуха находились в пределах +13...+18 градусов, дневной прогрев достигал +26...+31 градуса.

С 5 июля началась череда циклонических воздействий. Почти ежедневно отмечались дожди различной интенсивности, в отдельные дни с грозами. Преобладающие ночные температуры воздуха находились в пределах +10...+15 градусов, преобладающие дневные составляли +21...+26 градусов и лишь днем 12 июля, когда районы Ленинградской области оказалась под влиянием теплого сектора южного циклона, максимальные дневные температуры повысились до

+27...+33 градусов. В период с 15 по 20 июля, ночные температуры воздуха находились в пределах от +8 до +13 градусов, дневные не превышали +17...+22 градуса.

Распространение гребня Европейского антициклона обусловило 21-22 июля прекращение осадков и повышение температуры воздуха ночью до +11...+16 градусов, днем до +25...+30 градусов.

В первой половине дня 23 июля воздух еще успел прогреться до +25...+30 градусов, а во второй половине дня с холодным фронтом пришли дожди, местами сильные, в отдельных районах отмечались грозы. Температура воздуха понизилась и 24-25 июля составляла днем +21...+26 градусов.

26 июля благодаря промежуточному гребню повышенного давления было сухо и почти солнечно. Дневной прогрев составил +24...+28 градусов.

В последние дни месяца погодные условия в Ленинградской области вновь формировались под влиянием циклонов, причем, в основном, их тыловых частей. Это обусловило ежедневные дожди, часто ливневого характера, с грозами. Ночные температуры воздуха находились в пределах +8...+13 градусов, дневные составляли +17...+22 градуса.

В Санкт-Петербурге среднемесячная температура воздуха составила +19,9 градуса, что на 0,8 градуса выше климатической нормы. Месячная сумма осадков составила 75,2 мм или 90% от климатической нормы [19].

Основными направлениями ветра были юго-западные, западные и южные направления. Средняя скорость изменялась от 1 до 3 м/с.

Обзор погоды за август 2022 года:

Большую часть августа погодные условия формировались под влиянием процессов антициклонического характера. Наблюдалась малооблачная, преимущественно сухая и жаркая погода. Часто максимальные дневные температуры воздуха достигали 30-градусной отметки. Ночные температуры

воздуха при этом находились в пределах от +12 до +17 градусов, у водоемов местами до +20 градусов. Активные циклонические воздействия наблюдались лишь в начале и в конце месяца.

1-2 и 6-7 августа повсеместно прошли дожди, местами сильные. 6-7 августа в отдельных районах отмечались грозы и шквалистые усиления ветра. 1-2 августа ночные температуры находились в пределах от +10 до +15 градусов, дневные температуры воздуха составляли +17...+22 градуса. Днем 6 августа в теплом секторе циклона воздух еще успел прогреться до +27...+31 градуса, однако за холодным фронтом температура воздуха резко понизилась и днем 7 августа уже не превышала +19...+21 градуса.

Резкое ухудшение погодных условий произошло 30-31 августа. Южный циклон принес в регион дожди, местами сильные и очень сильные, и усиление ветра. Заток холода в его тыловой (западной) части обусловил значительное понижение температуры воздуха. 30 августа днем температура воздуха не превышала +13...+17 градусов. 31 августа температурный фон еще понизился. После ночных +8...+10 градусов днем температура воздуха составила всего +9...+13 градусов.

В Санкт-Петербурге среднемесячная температура воздуха составила +20,6 градуса, что на 3,2 градуса выше климатической нормы. Август 2022 года стал самым теплым августом за весь период инструментальных наблюдений в Санкт-Петербурге (с 1881 года). Месячная сумма осадков составила 112,1 мм или 130% от климатической нормы [19].

Основными направлениями ветра были юго-восточные, южные и юго-западные направления. Средняя скорость изменялась от 1 до 3 м/с.

3.4 Анализ зависимостей между концентрацией загрязняющих веществ и метеорологическими параметрами

Из предыдущих подглав 3.2 и 3.3 можно сделать вывод о том, как метеорологические параметры влияют на концентрацию загрязняющих веществ в атмосфере.

В декабре концентрации ЗВ были достаточно велика. Это можно связать с высокой влажностью, низкими температурами, которые не позволяли растаять снежному покрову, частым осадкам в виде снега, а также слабому ветру [20]. В снежном покрове могут накапливаться загрязняющие вещества, поэтому их концентрация в воздухе может увеличиваться. В дни, когда концентрация NO_2 превышала значения 0,5 ПДК_{сс}, наблюдались температурные инверсии [21], которые блокировали вертикальное передвижение ЗВ. На рис 3.4 представлены инверсии за дни, когда концентрация NO_2 превышала значение 0,7 ПДК_{сс}.

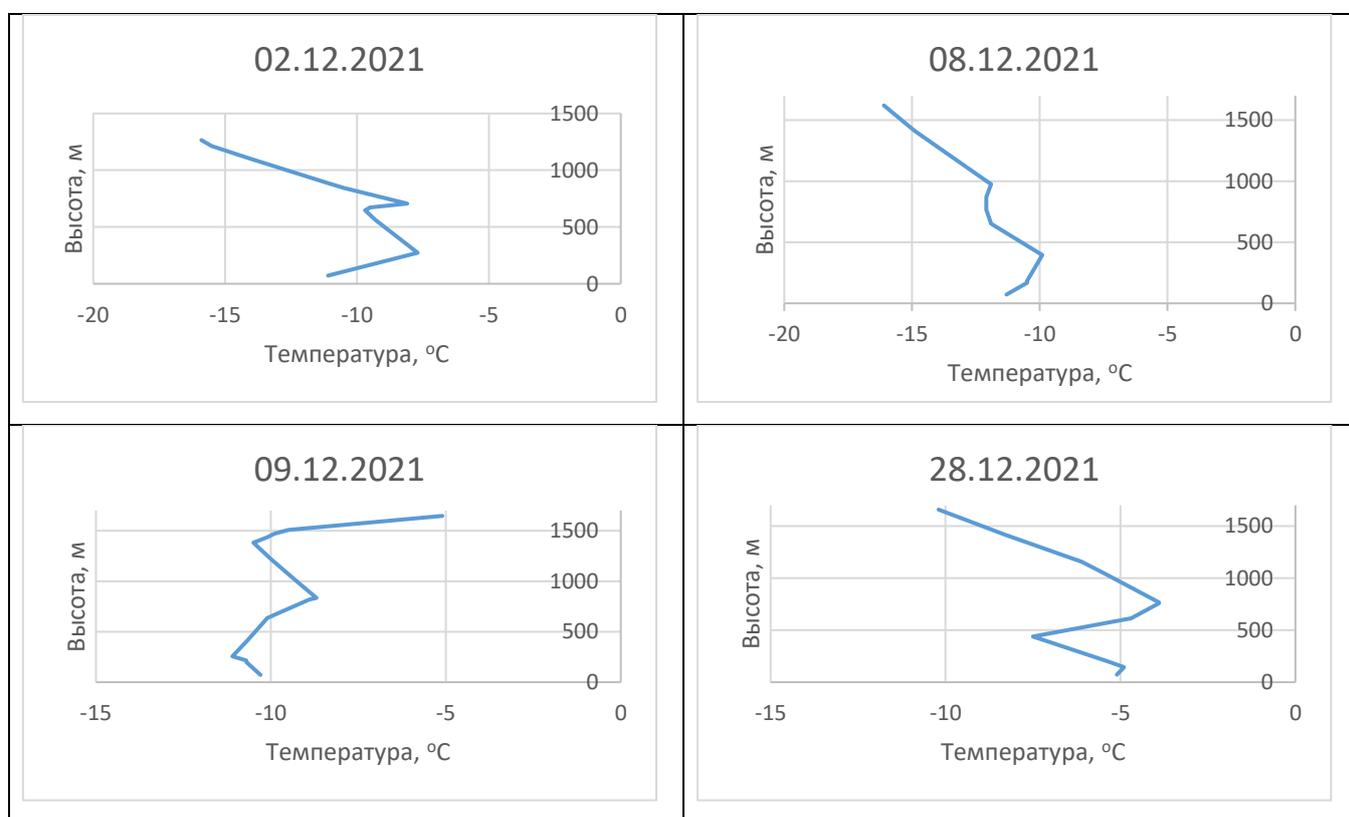


Рисунок 3.4 - Температурные инверсии за некоторые дни декабря

Из рис. 3.4 видно, что из четырех дней три были с приземной и один день с приподнятой инверсиями.

Для выявления взаимосвязи между концентрациями загрязняющих веществ и метеорологических параметров по данным из таблиц, представленных в Приложении, были построены корреляционные матрицы. Коэффициенты корреляции могут быть как положительные и отрицательные. Когда он положительный ($\rho > 0$), то наблюдается прямая зависимость между переменными (при увеличении значений одной переменной значения другой переменной также увеличиваются). Когда коэффициент корреляции отрицательный ($\rho < 0$), то наблюдается обратная зависимость (при увеличении значений одной переменной значения другой переменной уменьшаются). Значения коэффициентов корреляции между основными загрязняющими веществами (CO , NO_2 и PM_{10}) и метеопараметрами (температура воздуха, относительная влажность, скорость и направление ветра) за зимний период представлены в таблицах 3.1-3.4, а за летний – в таблицах 3.6-3.7. Значимые коэффициенты корреляции выделены звездочкой.

Таблица 3.1 - Корреляционная матрица за декабрь

| <i>ЗВ</i> <i>м/п</i> | CO | NO ₂ | PM ₁₀ |
|-------------------------|-------|-----------------|------------------|
| T | -0,11 | -0,26 | -0,36* |
| f | 0,23 | 0,13 | 0,17 |
| WD | 0,03 | -0,07 | 0,01 |
| WS | -0,30 | -0,59* | -0,65* |

Из табл. 3.1 видно, что наибольшая значимая обратная связь за декабрь наблюдается у пар PM_{10} -T, PM_{10} -WS (скорость ветра), а также NO_2 -WS. Следовательно, из таблицы, их коэффициенты корреляции равняются

следующим значениям $-0,36$, $-0,65$ и $-0,59$. Они являются значимыми, т.е. имеют наибольшую обратную связь между параметрами. Таким образом, можно сделать вывод, что за декабрь наибольшее влияние на концентрацию оказали скорость ветра и температура.

В январе, как и в декабре, значения концентраций также были повышены. Это объясняется тем же, что и в предыдущем месяце - низкими температурами, высокой влажностью, слабым ветром, снежными покровом и осадками в виде снега. Также важным параметром были температурные инверсии (рис 3.5).

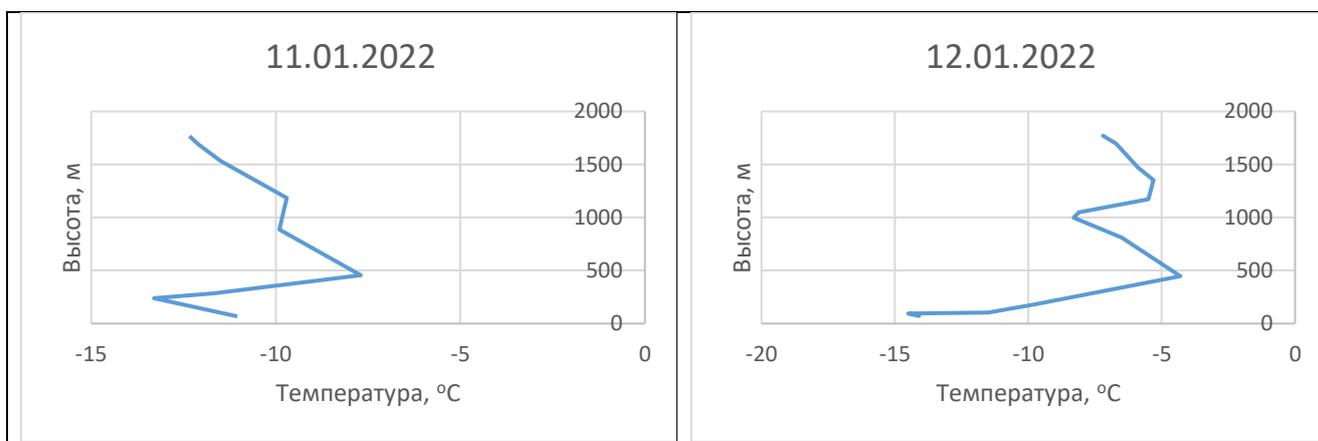


Рисунок 3.5 - Температурные инверсии за некоторые дни января

Таблица 3.2 - Корреляционная матрица за январь

| ZB м/п | CO | NO ₂ | PM ₁₀ |
|-------------|-------|-----------------|------------------|
| T | -0,06 | -0,51* | -0,53* |
| f | 0,17 | 0,14 | 0,13 |
| WD | -0,03 | 0,13 | -0,06 |
| WS | 0,16 | -0,30 | -0,33 |

Из табл. 3.2 видно, что наибольшая значимая обратная связь за январь наблюдается у пар NO₂-T, а также PM₁₀-T. Следовательно, из таблицы, их коэффициенты корреляции равняются следующим значениям $-0,51$ и $-0,53$.

Таким образом можно сделать вывод, что за январь наибольшее влияние на концентрацию оказала температура воздуха.

В феврале концентрация ЗВ в воздухе была ниже, чем в декабре и январе. Только в первые четыре дня месяца, значения концентраций росли и 04.02 достигли своего максимума. В последний день повышения, показатели NO_2 дошли до уровня 1,2 ПДК_{сс}, что является превышением среднесуточной нормы. Показатели PM_{10} равнялись 1 ПДК_{сс}, что является границей нормы. Концентрация CO поднялась до 0,4 ПДК_{сс}, что является максимальным значением за всю зиму. Такое резкое повышение концентраций объясняется совокупностью метеорологических параметров, таких как: низкой средней температурой за день, 04.02 она равнялась $-12,2\text{ }^\circ\text{C}$, высокой влажностью, практически отсутствием ветра и отсутствием каких-либо осадков, а также температурной инверсии (рис. 3.6).

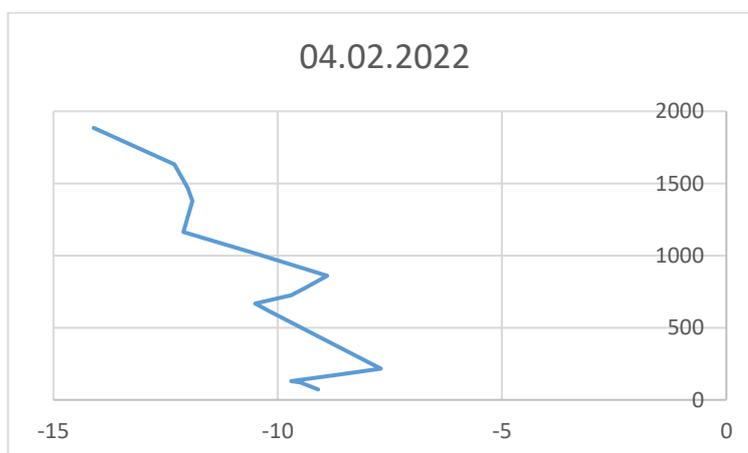


Рисунок 3.6 - Температурная инверсия за 4 февраля

После первых дней февраля, концентрации всех веществ резко упали и не поднимались до последних дней месяца. Это можно объяснить тем, что средняя температура за день в феврале, часто переходила через $+0\text{ }^\circ\text{C}$, высокой скоростью ветра, а также частых смешанных осадков, что способствовало вымыванию примесей из атмосферы.

Таблица 3.3 - Корреляционная матрица за февраль

| <i>ЗВ</i> <i>м/п</i> | CO | NO ₂ | PM ₁₀ |
|-------------------------|---------------|-----------------|------------------|
| T | -0,58* | -0,72* | -0,64* |
| f | -0,16 | -0,09 | -0,14 |
| WD | 0,03 | -0,07 | -0,19 |
| WS | -0,39* | -0,46* | -0,29 |

Из табл. 3.3 видно, что наибольшая значимая обратная связь за февраль наблюдается у пар CO-T, NO₂-T, PM₁₀-T, а также у CO-WS и NO₂-WS. Следовательно, из таблицы, их коэффициенты корреляции равняются следующим значениям -0,58, -0,72, -0,64, а также -0,39 и -0,46. Таким образом можно сделать вывод, что за февраль наибольшее влияние на концентрацию оказали температура воздуха и скорость ветра.

Таблица 3.4 - Корреляционная матрица за зимний период

| <i>ЗВ</i> <i>м/п</i> | CO | NO ₂ | PM ₁₀ |
|-------------------------|---------------|-----------------|------------------|
| T | -0,24* | -0,46* | -0,40* |
| f | 0,06 | 0,05 | 0,00 |
| WD | 0,02 | 0,00 | -0,08 |
| WS | -0,20 | -0,45* | -0,36* |

Из табл. 3.4 видно, что наибольшая значимая обратная связь за зимний период наблюдается у пар CO-T, NO₂-T, PM₁₀-T, а также у CO-WS и NO₂-WS. Следовательно, из таблицы, их коэффициенты корреляции равняются следующим значениям -0,24, -0,46, -0,40, а также -0,45 и -0,36. Таким образом можно сделать вывод, что за зимний период температура воздуха и скорость

ветра оказывают наибольшее влияние на концентрацию загрязняющих веществ в воздухе. Также большую роль сыграли температурные инверсии. В таблице 3.5 представлены характеристики инверсий за некоторые дни зимы.

Таблица 3.5 - Характеристики температурных инверсий

| дата инверсии | слой, м | мощность, м | Интенсивность, °С |
|---------------|-----------|-------------|-------------------|
| 02.дек | 72-272 | 200 | 3,4 |
| | 647-707 | 60 | 1,2 |
| 08.дек | 72-396 | 324 | 1,4 |
| | 768-977 | 209 | 0,2 |
| 09.дек | 255-835 | 580 | 2 |
| | 1381-1647 | 266 | 5,4 |
| 28.дек | 72-145 | 73 | 0,2 |
| | 440-766 | 326 | 3,6 |
| 11.январь | 238-456 | 218 | 5,6 |
| | 887-1183 | 296 | 0,2 |
| 12.январь | 96-447 | 351 | 10,2 |
| | 999-1353 | 354 | 3 |
| 04.фев | 130-216 | 86 | 2 |
| | 667-860 | 193 | 1,3 |
| | 1163-1377 | 214 | 0,2 |

Июнь и июль оказались достаточно чистыми, только 08.06 концентрация NO₂ поднялась до значения 0,4 ПДК_{сс}, это максимум за два летних месяца, другие загрязняющие вещества не превышали значений 0,3 ПДК_{сс}. Это можно объяснить тем, что на протяжении этих 2 месяцев стояла хорошая, умеренная погода, со средними климатическими температурами, умеренными или иногда сильными ветрами, а также с довольно частыми осадками.

Август из всех летних месяцев оказался наиболее загрязненным. Концентрация РМ₁₀ во время него, была наибольшей за все рассматриваемые месяцы. Это связано с тем, что на протяжении долго времени с 08.08 по 28.08 стояла жаркая и засушливая погода. Дневные температуры поднимались до 30°С. Также в эти дни был слабый ветер. Такую погоду можно объяснить тем, что она формировалась под влиянием процессов антициклонического

характера. Летом такая погода сопровождается высокими температурами, ясным небом и слабыми ветрами.

За все дни лета, когда значения концентраций поднимались до 0,4 ПДК_{сс}, инверсии не наблюдались.

Таблица 3.6 - Корреляционная матрица за август

| <i>ЗВ</i> <i>м/п</i> | CO | NO ₂ | PM ₁₀ |
|-------------------------|---------------|-----------------|------------------|
| T | 0,10 | 0,52* | 0,67* |
| f | 0,12 | -0,44* | -0,46* |
| WD | 0,03 | -0,05 | -0,03 |
| WS | -0,61* | -0,60* | -0,24 |

Из таблицы 3.6 видно, что наибольшая значимая связь за август наблюдается у пар NO₂-T, PM₁₀-T, NO₂-f, PM₁₀-f, а также у NO₂-WS и CO-WS. У первых двух пар наблюдалась прямая связь, а у остальных обратная. Следовательно, из таблицы, коэффициенты корреляции равняются следующим значениям 0,52, 0,67, -0,44, -0,46, а также -0,61 и -0,6. Таким образом, можно сделать вывод, что за август температура, влажность и скорость ветра оказали наибольшее влияние на концентрацию загрязняющих вещества в воздухе.

Таблица 3.7 - Корреляционная матрица за летний период

| <i>ЗВ</i> <i>м/п</i> | CO | NO ₂ | PM ₁₀ |
|-------------------------|---------------|-----------------|------------------|
| T | 0,33* | 0,49* | 0,70* |
| f | 0,03 | -0,33* | -0,21* |
| WD | -0,17 | -0,13 | -0,19 |
| WS | -0,47* | -0,59* | -0,39* |

Из таблицы 3.7 видно, что наибольшая связь за летний период наблюдается у пар CO-T, NO₂-T, PM₁₀-T, NO₂-f, PM₁₀-f, а также у CO-WS, NO₂-WS и CO-WS. У первых трех пар наблюдалась прямая связь, а у остальных обратная. Следовательно, из таблицы, коэффициенты корреляции равняются следующим значениям 0,33, 0,49, 0,7, -0,33, -0,21, а также -0,47, -0,59 и -0,39. Таким образом, можно сделать вывод, что за летний период температура, влажность и скорость ветра оказали наибольшее влияние на концентрацию загрязняющих вещества в воздухе.

Также немаловажной характеристикой для концентрации ЗВ, являются барические образования. Приземные карты были взяты с сайта гидрометцентра России [22]. Из-за их влияния определяется, какая будет погода и как будут перемещаться воздушные массы. На рис. 3.7 представлена повторяемость барических образование за два периода, зимний и летний, когда значение концентраций равнялось или превышало 0.4 ПДК_{сс}.

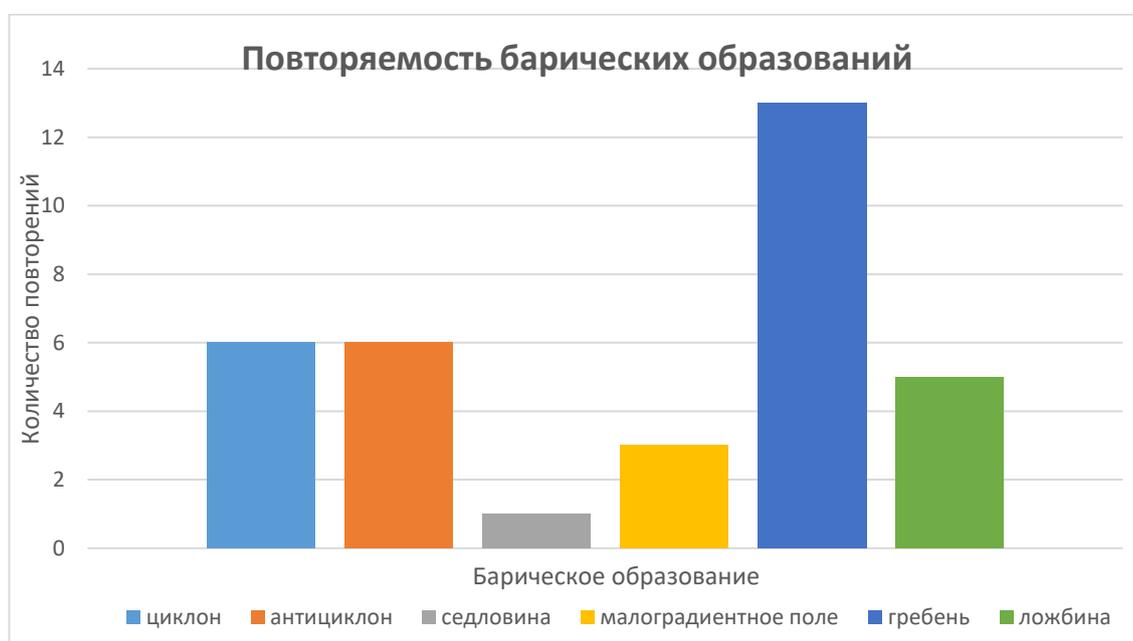


Рисунок 3.7 – Повторяемость барических образований

Из рис. 3.7 видно, что всего таких дней было 34. Из них 13 раз город находился под влиянием гребня антициклона, по 6 раз под влиянием циклона и антициклона, 5 раз был под влиянием ложбины циклона, 3 раза находился в малоградиентном поле и 1 раз в седловине. Из этого можно сделать вывод, что под влиянием антициклонических процессов, концентрация ЗВ поднимается чаще, чем при циклонических процессах. Это связано с тем, что в антициклонах наблюдаются нисходящие движения воздуха, что способствует скоплению ЗВ у поверхности земли. Также во время него наблюдается ясная и безветренная погода, с высокой температурой летом и низкой зимой. Такая погода способствует увеличению концентраций загрязняющих веществ. Погода в циклоне наоборот, ветреная и облачная, часто выпадают осадки. Также в циклоне наблюдаются восходящие движения воздуха, что способствует переносу ЗВ в следующие слои атмосферы.

Просмотрев два периода, зимний и летний, можно сказать, что наиболее загрязненный стал зимний период. Это связано с низкой температурой, высокой влажностью, слабым ветром и слоем снега на подстилающей поверхности.

Заключение

В данной работе была проведена оценка загрязненности воздуха Невского района г. Санкт-Петербурга диоксидом азота (NO_2), оксидом углерода (CO) и взвешенными частицами (PM_{10}) в зимний и летний периоды 2022 года.

При использовании данных со станций автоматического мониторинга атмосферного воздуха были составлены таблицы среднесуточных концентраций загрязняющих веществ, диаграммы среднесуточных концентраций диоксида азота (NO_2), оксида углерода (CO) и взвешенных частиц (PM_{10}).

Также при использовании данных среднесуточных метеопараметров, таких как: температура воздуха, относительная влажность, скорость и направление ветра, были построены таблицы и графики.

Проведен корреляционный анализ между загрязняющими веществами и метеопараметрами, и в результате были составлены корреляционные матрицы.

При использовании данных о высотном зондировании атмосферы, были построены графики изменения температуры воздуха с высотой для определения слоев температурной инверсии.

Проведен анализ приземных карт на различные барические образования, а также была построена гистограмма повторяемости этих образований.

Проделанная работа и полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

Анализ данных за два исследуемых периода показывает, что уровень загрязнения за зимний период был выше, чем за летний. Наиболее загрязненным оказался декабрь, а наименее – июль. Концентрации исследуемых ЗВ (NO_2 , CO , PM_{10}) за весь исследуемый срок, превысили уровень среднесуточной концентрации ПДК_{сс}, только один раз. Превышение

наблюдалось 04.02 и норму превысила концентрация диоксида азота (NO_2) – 1,2 ПДК_{сс}.

При анализе корреляционных матриц можно сказать, что наиболее значимыми для изменения концентраций загрязняющих веществ были температура, скорость ветра, и влажность летом. Зимой между концентрациями загрязняющих веществ и метеопараметрами (температура и скорость ветра) наблюдалась обратная связь. Летом между температурой и ЗВ наблюдалась прямая связь, а между влажностью, скоростью ветра и ЗВ – обратная.

При анализе влияния барических систем на концентрации ЗВ можно сказать, что антициклонические процессы способствуют увеличению концентраций, а циклонические наоборот - к уменьшению.

По проведенному исследованию можно сделать вывод, что по данным со станций автоматического мониторинга значительных превышений загрязняющих веществ в атмосферном воздухе выявлено не было, но в зимний период он оставался достаточно высок.

Количество автотранспорта и промышленности постоянно растет, это приводит к увеличению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Для улучшения состояния воздуха необходимы следующие мероприятия:

- Использование менее токсичного топлива для автомобилей
- Строительство систем газоочистки на промышленных предприятиях
- Переход промышленных предприятий на более качественное сырье
- Строительство парков, аллей, и озеленение города

Список использованной литературы и источников

1. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы - Л.: Гидрометиздат. - 1984. - 752 с.
2. Седунов Ю.С. Атмосфера. Справочник – Л.: Гидрометиздат. - 1991. – 504 с.
3. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния окружающей среды. – М.: Гидрометеиздат. - 1984. – 375 с.
4. Росляков П.В., Ионкин И.Л., Закиров И.А. и др. Контроль вредных выбросов ТЭС в атмосферу: Учеб.пособие - М.: Издательство МЭИ. - 2004. - 228 с.
5. Стадницкий Г.В., Родионов А.И. Экология. - СПб: Химия. - 1997. – 240 с.
6. Беккер А.А. , Агаев Т.Б. Охрана и контроль загрязнения природной среды. - Л.: Гидрометиздат. - 1989. – 286 с.
7. Крюкова С.В. Контроль загрязнения природной среды: Анализ данных загрязнения. Лабораторный практикум. - СПб.: РГГМУ. - 2014. - 45 с.
8. СанПиН 2.1.6. 1032-01 «Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения».
9. Бретшнайдер Б., Курфюрст И. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль: Пер. с англ./Под ред. Туболкина А.Ф. - Л.: Химия. - 1989. – 288 с.
10. Потапов А.И., Воробьев В.Н., Карлин Л.Н, Музалевский А.А. Мониторинг, контроль и управление качеством окружающей среды. Часть 1. Мониторинг окружающей среды. Научное, учебно-методическое справочное пособие. - СПб. Л: РГГМУ. - 2002. - 432 с.
11. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. - Л.: Гидрометеиздат, 1991г. – 616 с.
12. Зверев А.С. Синоптическая метеорология – Л.: Гидрометеиздат, 1977г. – 711 с.

13. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг: учебное пособие / И.В. Якунина, Н.С. Попов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 188 с.
14. 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.
15. ГОСТ 17.2.3.01-86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов».
16. РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы».
17. Экологический портал Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.infoeco.ru/> (дата обращения 01.05.23).
18. Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.gov.spb.ru/gov/terr/nevsky/> (дата обращения: 01.05.2023).
19. Официальный портал ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс.] - Режим доступа: <http://www.meteo.nw.ru/> (дата обращения 01.05.23)
20. Расписание погоды [Электронный ресурс.] - Режим доступа: <https://rp5.ru/> (дата обращения 01.05.23).
21. Университет Вайоминга [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (дата обращения 01.05.23).
22. Гидрометцентр России [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://meteoinfo.ru/> (дата обращения 01.05.23).

Таблица А.1 – Среднесуточные содержания концентраций загрязняющих веществ и среднесуточные метеопараметры за зимний период

| Дата | Оксид углерода (СО) ПДКсс | Диоксид азота (NO2) ПДКсс | Взвешенные частицы PM ₁₀ ПДКсс | Средняя температура (°С) | Относительная влажность (%) | Направление ветра (румб) | Направление ветра (град) | Скорость ветра (м/с) |
|--------|------------------------------|------------------------------|--|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------|
| 1 дек | 0,2 | 0,2 | 0,1 | -6,1 | 83 | СЗ | 315 | 5,1 |
| 2 дек | 0,2 | 0,7 | 0,2 | -8 | 83 | СЗ | 315 | 2,1 |
| 3 дек | 0,1 | 0,4 | 0,1 | -7,5 | 87 | ВСВ | 68 | 2,5 |
| 4 дек | 0,1 | 0,3 | 0,1 | -6,1 | 87 | С | 360 | 1,9 |
| 5 дек | 0,1 | 0,3 | 0,1 | -13,5 | 79 | В | 90 | 1 |
| 6 дек | 0,2 | 0,3 | 0,1 | -18 | 78 | В | 90 | 1,1 |
| 7 дек | 0,2 | 0,5 | 0,3 | -14,2 | 83 | СВ | 45 | 0,4 |
| 8 дек | 0,2 | 0,7 | 0,3 | -12,3 | 88 | СЗ | 315 | 0,3 |
| 9 дек | 0,3 | 0,9 | 0,4 | -10,5 | 88 | Ю | 180 | 0,2 |
| 10 дек | 0,05 | 0,4 | 0,2 | -14 | 80 | ЮВ | 135 | 2,1 |
| 11 дек | 0,1 | 0,3 | 0,1 | -5,7 | 80 | ЮВ | 135 | 3,4 |
| 12 дек | 0,1 | 0,3 | 0,2 | -3,9 | 86 | З | 270 | 0,9 |
| 13 дек | 0,2 | 0,4 | 0,3 | -1,9 | 93 | ЗЮЗ | 248 | 0,5 |
| 14 дек | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 88 | ЮЮЗ | 203 | 2,9 |
| 15 дек | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 1,2 | 92 | ЮЗ | 225 | 2,9 |

| | | | | | | | | |
|--------|------|-----|-----|-------|----|-----|-----|-----|
| 16 дек | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 1,9 | 94 | З | 270 | 2,9 |
| 17 дек | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 1 | 85 | СЗ | 315 | 1,8 |
| 18 дек | 0,1 | 0,3 | 0,1 | -0,2 | 90 | ЗЮЗ | 248 | 1,8 |
| 19 дек | 0,1 | 0,1 | 0,1 | -1 | 88 | СЗ | 315 | 3,2 |
| 20 дек | 0,1 | 0,2 | 0,1 | -9,1 | 83 | С | 360 | 2,8 |
| 21 дек | 0,2 | 0,3 | 0,2 | -14,4 | 84 | СЗ | 315 | 1,5 |
| 22 дек | 0,1 | 0,4 | 0,2 | -11,2 | 84 | С | 360 | 1,7 |
| 23 дек | 0,2 | 0,4 | 0,1 | -6,8 | 86 | ЮЗ | 225 | 3,8 |
| 24 дек | 0,2 | 0,5 | 0,2 | -5,5 | 85 | ЮЗ | 225 | 2,6 |
| 25 дек | 0,1 | 0,5 | 0,2 | -12,6 | 83 | ВСВ | 68 | 3,5 |
| 26 дек | 0,1 | 0,3 | 0,2 | -17,4 | 83 | СЗ | 315 | 1,4 |
| 27 дек | 0,1 | 0,4 | 0,2 | -10,2 | 84 | ЮВ | 135 | 3,9 |
| 28 дек | 0,3 | 0,8 | 0,4 | -10,2 | 88 | ЮЮЗ | 203 | 0,4 |
| 29 дек | 0,1 | 0,3 | 0,1 | -5,7 | 80 | Ю | 180 | 3,3 |
| 30 дек | 0,1 | 0,2 | 0,2 | -7,6 | 83 | Ю | 180 | 2,9 |
| 31 дек | 0,1 | 0,2 | 0,2 | -3 | 90 | Ю | 180 | 2,8 |
| 1 янв | 0,1 | 0,2 | 0,1 | -3,7 | 81 | СЗ | 315 | 2,6 |
| 2 янв | 0,1 | 0,3 | 0,2 | -9 | 88 | ЗЮЗ | 248 | 1,3 |
| 3 янв | 0,05 | 0,2 | 0,1 | -6,3 | 84 | ЮВ | 135 | 2 |
| 4 янв | 0,05 | 0,2 | 0,1 | -4,7 | 89 | ЮВ | 135 | 2,5 |
| 5 янв | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,8 | 93 | Ю | 180 | 1,5 |
| 6 янв | 0,1 | 0,3 | 0,1 | -3 | 89 | СЗ | 315 | 1,6 |
| 7 янв | 0,2 | 0,2 | 0,1 | -11,2 | 84 | СЗ | 315 | 2,5 |

| | | | | | | | | |
|--------|------|-----|-----|-------|----|-----|-----|-----|
| 8 янв | 0,2 | 0,5 | 0,2 | -11,1 | 87 | ЗЮЗ | 248 | 1,1 |
| 9 янв | 0,1 | 0,3 | 0,3 | -5,1 | 89 | Ю | 180 | 1,3 |
| 10 янв | 0,1 | 0,3 | 0,2 | -6,5 | 86 | ССВ | 23 | 1 |
| 11 янв | 0,05 | 0,7 | 0,4 | -13,1 | 87 | ССЗ | 338 | 0,2 |
| 12 янв | 0,3 | 0,6 | 0,3 | -13,4 | 84 | ЮЮЗ | 203 | 1,4 |
| 13 янв | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,3 | 89 | ЗЮЗ | 248 | 5,5 |
| 14 янв | 0,1 | 0,3 | 0,1 | -0,2 | 79 | СЗ | 270 | 4,3 |
| 15 янв | 0,1 | 0,2 | 0,1 | -2,7 | 72 | СЗ | 315 | 2,9 |
| 16 янв | 0,2 | 0,3 | 0,1 | -0,5 | 86 | ЮЗ | 225 | 2,9 |
| 17 янв | 0,1 | 0,3 | 0,1 | -5,9 | 81 | ЮЗ | 225 | 2,6 |
| 18 янв | 0,1 | 0,4 | 0,1 | -0,1 | 71 | СЗ | 315 | 2,5 |
| 19 янв | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 1,6 | 88 | ЮЗ | 225 | 3,1 |
| 20 янв | 0,2 | 0,3 | 0,2 | -0,7 | 88 | ЮЮЗ | 203 | 2,6 |
| 21 янв | 0,1 | 0,4 | 0,2 | -2,2 | 87 | ВЮВ | 112 | 4,5 |
| 22 янв | 0,1 | 0,2 | 0,2 | -5,3 | 86 | ЮВ | 135 | 4,4 |
| 23 янв | 0,1 | 0,3 | 0,3 | -2 | 81 | Ю | 202 | 3,6 |
| 24 янв | 0,2 | 0,4 | 0,2 | -1,4 | 91 | ВЮВ | 202 | 4,3 |
| 25 янв | 0,2 | 0,4 | 0,1 | -6,8 | 90 | ЮВ | 135 | 4,2 |
| 26 янв | 0,1 | 0,5 | 0,2 | -4,3 | 91 | ЮЗ | 225 | 1,6 |
| 27 янв | 0,1 | 0,3 | 0,1 | -2,3 | 89 | Ю | 270 | 2,4 |
| 28 янв | 0,2 | 0,3 | 0,1 | -3,8 | 90 | СВ | 45 | 1,6 |
| 29 янв | 0,1 | 0,2 | 0,1 | -2,8 | 86 | ССЗ | 338 | 1,1 |
| 30 янв | 0,1 | 0,2 | 0,1 | -3 | 87 | ЮВ | 112 | 4,9 |

| | | | | | | | | |
|--------|------|-----|-----|-------|----|-----|-----|-----|
| 31 янв | 0,1 | 0,3 | 0,2 | -3,4 | 88 | BCB | 68 | 1,1 |
| 1 фев | 0,1 | 0,3 | 0,2 | -4,3 | 87 | CB | 45 | 0,4 |
| 2 фев | 0,1 | 0,4 | 0,2 | -8,6 | 84 | CB | 45 | 0,1 |
| 3 фев | 0,3 | 0,8 | 0,3 | -12,2 | 83 | C | 360 | 0 |
| 4 фев | 0,4 | 1,1 | 1 | -6,5 | 84 | ЮB | 135 | 0,6 |
| 5 фев | 0,1 | 0,2 | 0,1 | -1,9 | 82 | ЮЮB | 158 | 4,6 |
| 6 фев | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 1,1 | 87 | Ю | 180 | 1,6 |
| 7 фев | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 92 | ЮB | 135 | 0,9 |
| 8 фев | 0,2 | 0,3 | 0,2 | -0,3 | 92 | 3 | 270 | 0,8 |
| 9 фев | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 1,2 | 89 | ЮЮЗ | 203 | 0,9 |
| 10 фев | 0,1 | 0,2 | 0,1 | -0,5 | 87 | ЗЮЗ | 247 | 2,8 |
| 11 фев | 0,05 | 0,2 | 0,1 | -2,5 | 85 | 3 | 270 | 3,2 |
| 12 фев | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,8 | 84 | 3 | 270 | 2,6 |
| 13 фев | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 1,4 | 86 | ЗЮЗ | 247 | 3,5 |
| 14 фев | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 2,8 | 83 | ЮЗ | 225 | 2,9 |
| 15 фев | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 2,8 | 73 | ЮЗ | 225 | 2,9 |
| 16 фев | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 1,7 | 79 | ЮЮЗ | 203 | 2,6 |
| 17 фев | 0,05 | 0,3 | 0,1 | 0,9 | 90 | ЮЮB | 158 | 4,4 |
| 18 фев | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 1,3 | 85 | ЗЮЗ | 248 | 4,3 |
| 19 фев | 0,2 | 0,3 | 0,1 | -0,8 | 84 | ЮЮB | 158 | 0,9 |
| 20 фев | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 87 | ЗЮЗ | 247 | 2,2 |
| 21 фев | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,8 | 83 | BЮB | 202 | 0,3 |
| 22 фев | 0,1 | 0,3 | 0,1 | -4,3 | 92 | C | 360 | 0,3 |

| | | | | | | | | |
|--------|------|-----|-----|------|----|-----|-----|-----|
| 23 фев | 0,1 | 0,2 | 0,1 | -0,7 | 84 | ЗСЗ | 293 | 0,8 |
| 24 фев | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 1,8 | 75 | ЮЗ | 225 | 3,5 |
| 25 фев | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 78 | Ю | 180 | 3,8 |
| 26 фев | 0,05 | 0,2 | 0,1 | -3,5 | 82 | З | 270 | 2,8 |
| 27 фев | 0,2 | 0,4 | 0,2 | -0,7 | 73 | - | - | 0,1 |
| 28 фев | 0,1 | 0,4 | 0,2 | -0,5 | 76 | ЗЮЗ | 247 | 0,6 |

Таблица А.2 – Среднесуточные содержания концентраций загрязняющих веществ и среднесуточные метеопараметры за летний период.

| Дата | Оксид углерода (СО) ПДКсс | Диоксид азота (NO2) ПДКсс | Взвешенные частицы PM ₁₀ ПДКсс | Средняя температура (°С) | Относительная влажность (%) | Направление ветра (румб) | Направление ветра (град) | Скорость ветра (м/с) |
|--------|------------------------------|------------------------------|--|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------|
| 1 июн | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 17 | 52 | Ю | 180 | 1,5 |
| 2 июн | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 17,1 | 58 | ЮВ | 135 | 2,4 |
| 3 июн | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 15,1 | 67 | ЮЗ | 225 | 2,5 |
| 4 июн | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 13,7 | 79 | З | 270 | 2,3 |
| 5 июн | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 14,7 | 72 | З | 270 | 2,3 |
| 6 июн | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 14,8 | 59 | СЗ | 315 | 2,4 |
| 7 июн | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 15,7 | 56 | СЗ | 315 | 1,8 |
| 8 июн | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 17,6 | 51 | ЮВ | 135 | 1,3 |
| 9 июн | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 17,2 | 76 | З | 270 | 1,9 |
| 10 июн | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 17,5 | 70 | З | 270 | 2 |

| | | | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|------|----|-----|-----|-----|
| 11 июн | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 19 | 67 | 3С3 | 292 | 0,5 |
| 12 июн | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 18,5 | 67 | С3 | 315 | 1,3 |
| 13 июн | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 17 | 66 | 3 | 270 | 1,8 |
| 14 июн | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 15,6 | 74 | 3 | 270 | 1,1 |
| 15 июн | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 13,6 | 87 | С | 360 | 2,8 |
| 16 июн | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 15,7 | 69 | 3 | 270 | 4,8 |
| 17 июн | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 13,1 | 71 | С3 | 315 | 2,6 |
| 18 июн | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 14,8 | 76 | Ю3 | 225 | 1,8 |
| 19 июн | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 15,8 | 76 | 3 | 270 | 4,2 |
| 20 июн | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 14,6 | 70 | С3 | 225 | 2,3 |
| 21 июн | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 15,2 | 61 | СВ | 45 | 1,4 |
| 22 июн | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 16,4 | 56 | СВ | 45 | 0,4 |
| 23 июн | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 18,3 | 59 | Ю3 | 135 | 1,1 |
| 24 июн | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 20,2 | 65 | 3С3 | 292 | 1,8 |
| 25 июн | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 21,9 | 62 | 3С3 | 292 | 1,1 |
| 26 июн | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 24,2 | 58 | С3 | 315 | 1 |
| 27 июн | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 25,3 | 59 | С3 | 315 | 1,3 |
| 28 июн | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 23,7 | 54 | В | 90 | 1,7 |
| 29 июн | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 22,5 | 44 | В | 90 | 1,8 |
| 30 июн | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 22,8 | 43 | В | 90 | 0,8 |
| 1 июл | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 24,3 | 50 | СВ | 45 | 0,5 |
| 2 июл | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 26,8 | 40 | Ю | 180 | 0,7 |
| 3 июл | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 24,5 | 61 | 3Ю3 | 247 | 1,6 |

| | | | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|------|----|-----|-----|-----|
| 4 июл | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 23 | 64 | 3 | 270 | 1,2 |
| 5 июл | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 21,1 | 71 | 3 | 270 | 1,4 |
| 6 июл | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 19,7 | 64 | ЗЮЗ | 247 | 2 |
| 7 июл | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 19 | 67 | 3 | 270 | 1,2 |
| 8 июл | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 18,7 | 66 | 3 | 270 | 2,1 |
| 9 июл | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 19,5 | 65 | Ю | 180 | 2,3 |
| 10 июл | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 18,5 | 78 | ЮВ | 135 | 0,8 |
| 11 июл | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 18 | 82 | В | 90 | 0,8 |
| 12 июл | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 21,2 | 80 | СВ | 45 | 2,1 |
| 13 июл | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 21,9 | 61 | Ю | 180 | 2 |
| 14 июл | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 19,4 | 67 | Ю | 180 | 2 |
| 15 июл | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 17,7 | 65 | ЮЗ | 225 | 1,9 |
| 16 июл | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 16,2 | 66 | ЮЗ | 225 | 2,8 |
| 17 июл | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 15,5 | 71 | ЗЮЗ | 247 | 2,1 |
| 18 июл | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 15,5 | 74 | ЗЮЗ | 247 | 2,4 |
| 19 июл | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 17,5 | 72 | 3 | 270 | 1,6 |
| 20 июл | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 18,4 | 63 | СЗ | 315 | 4,2 |
| 21 июл | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 22,2 | 62 | СЗ | 315 | 1,9 |
| 22 июл | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 23,1 | 64 | ЮЮЗ | 203 | 0,2 |
| 23 июл | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 22,7 | 71 | ЮЗ | 225 | 1,7 |
| 24 июл | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 19,6 | 80 | 3 | 270 | 1,4 |
| 25 июл | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 19,9 | 79 | ЗСЗ | 292 | 1,1 |
| 26 июл | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 21,9 | 62 | Ю | 180 | 0,7 |

| | | | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|------|----|-----|-----|-----|
| 27 ИЮЛ | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 20,5 | 70 | ЮЗ | 225 | 1,4 |
| 28 ИЮЛ | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 18,5 | 70 | ЗЮЗ | 247 | 1,5 |
| 29 ИЮЛ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 17,3 | 77 | З | 270 | 2,1 |
| 30 ИЮЛ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 17,5 | 73 | З | 270 | 3 |
| 31 ИЮЛ | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 17,2 | 72 | З | 270 | 1,3 |
| 1 АВГ | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 16,8 | 77 | ЮВ | 135 | 1,4 |
| 2 АВГ | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 17,6 | 86 | ЗЮЗ | 247 | 2,6 |
| 3 АВГ | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 19,6 | 74 | ЮЗ | 225 | 1,4 |
| 4 АВГ | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 22,5 | 60 | ЮЗ | 225 | 1,5 |
| 5 АВГ | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 24,5 | 49 | Ю | 180 | 1,6 |
| 6 АВГ | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 23,5 | 69 | Ю | 180 | 3,1 |
| 7 АВГ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 17,9 | 65 | З | 247 | 2,7 |
| 8 АВГ | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 17 | 71 | ЗЮЗ | 247 | 0,6 |
| 9 АВГ | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 17,1 | 73 | ССВ | 22 | 0,4 |
| 10 АВГ | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 18,1 | 71 | СЗ | 315 | 0,9 |
| 11 АВГ | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 20,3 | 59 | ЮЗ | 225 | 2 |
| 12 АВГ | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 20,8 | 71 | З | 270 | 2,2 |
| 13 АВГ | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 20,4 | 74 | С | 360 | 1 |
| 14 АВГ | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 19,8 | 64 | СВ | 45 | 0,6 |
| 15 АВГ | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 22,8 | 66 | ВЮВ | 112 | 0,6 |
| 16 АВГ | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 25,2 | 58 | ЮВ | 135 | 1,3 |
| 17 АВГ | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 25,7 | 55 | ВЮВ | 112 | 1,9 |
| 18 АВГ | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 25,1 | 60 | ЮВ | 135 | 1 |

| | | | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|------|----|-----|-----|-----|
| 19 абГ | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 25,8 | 51 | ЮВ | 135 | 1,7 |
| 20 абГ | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 24,1 | 48 | ЮВ | 135 | 2,4 |
| 21 абГ | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 20,1 | 60 | ЮВ | 135 | 2,5 |
| 22 абГ | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 21,3 | 61 | Ю | 180 | 2,3 |
| 23 абГ | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 21,7 | 75 | В | 90 | 1 |
| 24 абГ | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 24,5 | 62 | Ю | 180 | 1,6 |
| 25 абГ | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 20,8 | 75 | СЗ | 315 | 1,3 |
| 26 абГ | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 17,6 | 80 | ССВ | 22 | 0,6 |
| 27 абГ | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 19,8 | 78 | ЮВ | 135 | 0,4 |
| 28 абГ | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 23 | 67 | Ю | 135 | 0,8 |
| 29 абГ | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 20,4 | 74 | СВ | 45 | 1,6 |
| 30 абГ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 14,7 | 84 | СВ | 45 | 3,6 |
| 31 абГ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 10,1 | 91 | С | 360 | 4,3 |