



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему «Исследование влияния метеорологических параметров на загрязнение
воздуха в Санкт-Петербурге»

Исполнитель

Тараканов Валерий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

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

Крюкова Светлана Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор физико-математических наук, профессор
Кузнецов Анатолий Дмитриевич

«__» ____ 2022 г.

Санкт-Петербург

2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Содержание

	стр.
Введение	3
1 Общие сведения об атмосфере	5
1.1 Вертикальное строение атмосферы	5
1.2 Химический состав атмосферы	8
1.3 Загрязнение атмосферного воздуха	9
1.4 Влияние метеорологических параметров на загрязнение атмосферы	14
2 Экологический мониторинг окружающей среды	18
2.1 Суть, цели и задачи экологического мониторинга	18
2.2 Методы контроля и приборы, осуществляющие измерение концентраций загрязняющих веществ	20
2.3 Автоматические станции контроля концентраций загрязняющих веществ в г. Санкт-Петербург	25
3 Исследование пространственного распределения загрязняющих веществ в Санкт-Петербурге	29
3.1 Анализ среднемесячных значений концентраций загрязняющих веществ	29
3.2 Пространственное распределение загрязняющих веществ	38
3.3 Выявление влияния метеорологических параметров на концентрации загрязняющих веществ	46
Заключение	52
Список используемой литературы	54

Введение

В наши дни достаточно остро стоит проблема загрязнения окружающей среды вследствие антропогенного воздействия на природу. Открываются различные промышленные производства, от которых в воздух поступает тысячи тонн пыли и химических соединений в год. Все больше людей переходит на автомобильный транспорт, а ведь ежегодно от одного автотранспорта в год в атмосферу поступает от 600 до 800 кг оксида углерода, около 50 кг оксида азота и примерно 200 кг несгоревших углеводородов.

Результаты всех вышеуказанных действий могут негативно сказаться как на самом человеке, так и на окружающей его среде. Одной из главных причин загрязнения атмосферы является отсутствие оказания достаточного внимания на планирование и организацию различных мероприятий, способных защитить окружающий воздух. Под загрязнением атмосферы можно понимать любое её химическое изменение и изменение свойств, которые могут оказать достаточно негативное воздействие на здоровье человека, животных и состояние других живым организмов.

Для таких крупных городов, как Санкт-Петербург, достаточно характерно большое содержание различных примесей в атмосфере. Быстрый рост промышленности и транспорта приводит к тому, что такое большое количество вредных примесей не успевает рассеяться. В результате возрастает концентрация загрязняющих веществ в воздухе. Эти вещества могут попадать в организм, в результате чего могут развиваться различные патологии и заболевания дыхательных путей. Таким образом, данное исследование является актуальным на сегодняшний день.

Целью данной работы является выявление влияния метеорологических параметров на концентрации загрязняющих веществ.

Требуемые цели потребуют выполнения следующих задач:

- 1 Построить диаграммы распределения загрязняющих веществ;
- 2 Построить поля распределения загрязняющих веществ;
- 3 Построить 3D изображения пространственного распределения загрязняющих веществ;
- 4 Определить влияние метеорологических параметров на концентрации загрязняющих веществ.

Предметом исследования являются данные по загрязнению воздуха за зимний период 2020-2021 года (декабрь, январь, февраль) и летний период 2021 года (июнь, июль, август), полученные с 25 автоматических станций экологического мониторинга атмосферного воздуха в г. Санкт-Петербург.

Структура выпускной работы: работа состоит из трёх глав, которые подразделены на подглавы, заключения и списка использованной литературы.

Первая глава посвящена общим сведениям об атмосфере. Вторая глава посвящена основам экологического мониторинга. В третьей главе производится анализ содержания загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга. В заключение работы сделаны основные выводы по результатам исследования.

1 Общие сведения об атмосфере

1.1 Вертикальное строение атмосферы

Вследствие того, что атмосфера обладает целым рядом свойств, такими как: специфический состав газов, возможностью отражать и поглощать радиацию Солнца, успешно установившийся режим температур, наличие водяного пара и конечно же, присутствие озонового слоя, задерживающего основную часть коротковолнового излучения Солнца, ее можно назвать главным источником всей жизни на Земле [1].

Атмосферу обычно разделяют на 5 слоев: самый нижний – тропосфера, далее она разделяется от стратосферы переходный слоем, так называемой тропопаузой. Чуть выше располагается мезосфера, отделяемая от стратосферы стратопаузой. Также выделяют ионосферу и термосферу, который отделен от мезосферы мезопаузой. Помимо этого, атмосферу принято делить на нижнюю, среднюю и верхнюю. К нижней атмосфере относятся тропосфера и тропопауза, к средней – стратосфера, мезосфера и мезопауза, к верхней – экосфера. В приведенной ниже таблице указаны значения температурных градиентов, а также значения высоты над уровнем моря на нижней и верхней границах слоев и температура воздуха на этих высотах.

Распределение температур в различных слоях представлено в таблице 1.1:

Таблица 1.1 Распределение температур в слоях

Слой	Высота над уровнем моря, км		Температурный градиент, °C/км	Температура воздуха на границах, °C	
	Нижняя граница	Верхняя граница		Нижняя граница	Верхняя граница
Тропосфера	0	От 8 до 18	-6,45	15	-56
Стратосфера	От 8 до 18	От 50 до 55	+1,38	-56	-2
Мезосфера	От 50 до 55	От 80 до 85	-2,56	-2	-90
Термосфера	От 80 до 85	1000	+3,13 (до 300 км)	-92	1200

Вертикальное строение атмосферы графически представлено на рисунке 1.1:

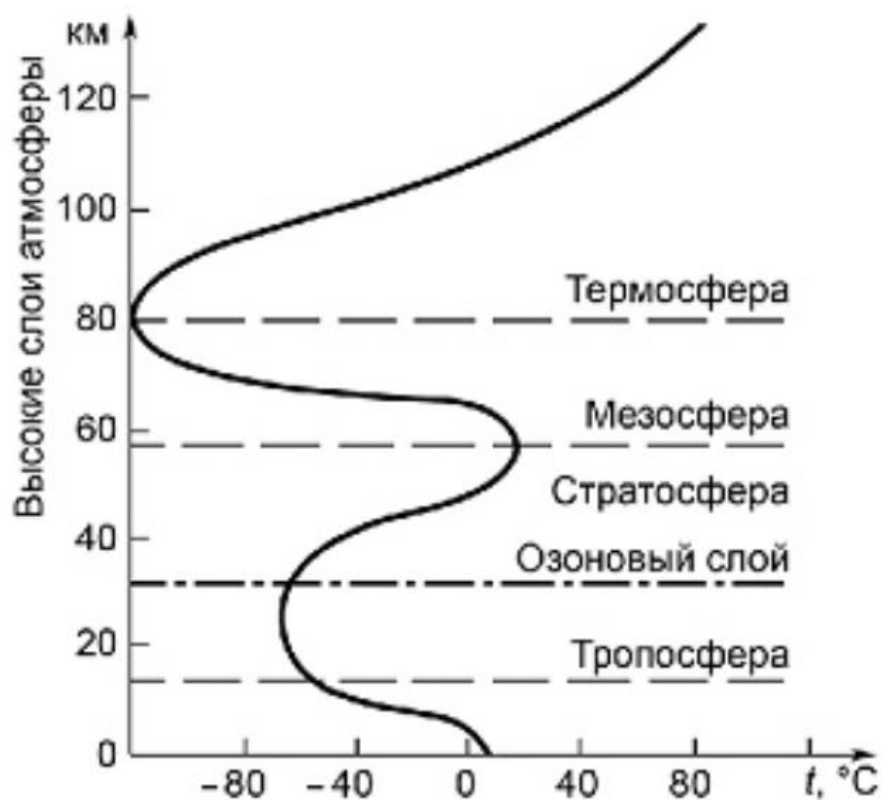


Рис. 1.1 Вертикальное строение атмосферы

Тропосфера — самый нижний, основной слой атмосферы, имеет высоту 8-10 км в полярных районах, в умеренном поясе примерно до 10-12 км, в тропических широтах - 16-18 км. Почти весь водяной пар сосредоточен именно в тропосфере. Через каждые 100 м высоты, температура в тропосфере снижается в среднем на $0,65^{\circ}\text{C}$ и достигает на своей верхней границе значение около 220 К (-53°C). В тропосфере сильно развиты турбулентность и конвекция, что способствует появлению облаков, формированию циклонов и антициклонов. Этот верхний слой тропосферы называется тропопаузой. Тропопауза - переходный слой между тропосферой и стратосферой, толщина лежит в диапазоне от нескольких сотен метров до 1-2 км. Зимой тропопауза ниже, чем летом. Также стоит заметить, что высота тропопаузы может колебаться при проходе циклона и антициклона. Средняя температура над полюсом около -65°C зимой и около -45°C летом, над экватором круглый год около -70°C и ниже.

Стратосфера – слой, расположенный над тропосферой, имеющий протяженность около 40 км. В нижних слоях стратосферы температура с высотой не изменяется, а затем, вследствие поглощения озона ультрафиолетовыми излучением, повышается примерно до 10°C . Большая часть коротковолновой энергии захватывается в стратосфере (180-200нм) и происходит преобразование коротковолновой энергии. Под влиянием этих лучей происходят изменения магнитных полей, распад молекул, ионизация, новообразование газов и других химических веществ. Эти процессы можно наблюдать в виде северного сияния или молний.

Мезосфера – слой, который располагается выше стратосферы, он берет начало от 50 км и простирается до 80-90 км до высоты около 80 км, температура воздуха понижается почти до -90°C . Вследствие некоторых химических взаимодействий между кислородом, азотом и другими молекулами возникает атмосферное свечение. Верхней границей мезосферы является мезопауза - переходной слой между мезосферой и термосферой.

Термосфера – слой, верхняя граница которого простирается почти до 1000 км. Температура растет до высоты 200-300 км, достигая значения около 1200°C, затем вплоть до верхней границы слоя остается неизменной [2].

Ультрафиолетовые и рентгеновские солнечные и космические лучи ионизируют воздух («полярное сияние»). Размер этого слоя определяется состоянием активности Солнца – чем ниже активность, тем меньше толщина термосферы [3].

1.2 Химический состав атмосферы

Наибольшую часть состава атмосферы занимают азот (78,08%) и кислород (20,95%). Также в состав атмосферы входит аргон (0,93%) и углекислый газ (0,03%). Ничтожно малую часть всего объема атмосферы занимает водяной пар в сухом воздухе (0,1%), но во влажном воздухе его содержание может достигать 4%. В основном водяной пар сконцентрирован в нижней части атмосферы, в стратосфере его практически нет [4]. Некоторые инертные газы также присутствуют в атмосфере, такие как: неон, гелий, криптон, ксенон, аммиак, метан, озон и диоксид серы. Вместе с газами атмосфера содержит твердые частицы, происходящие из поверхности Земли (например, продукты горения, вулканическая деятельность, частицы почвы) и из космоса (космическая пыль), а также различные продукты растительного, животного или микробного происхождения.

Более подробный газовый состав атмосферы представлен в таблице 1.2:

Таблица 1.2 Газовый состав атмосферы

Газ	Содержание, % от объема
Азот	78,08
Кислород	20,95
Аргон	0,93
Диоксид углерода	0,033

Неон	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Гелий	$5,2 \cdot 10^{-4}$
Криптон	$1 \cdot 10^{-4}$
Ксенон	$8 \cdot 10^{-6}$
Оксид азота	$2,5 \cdot 10^{-4}$
Водород	$5 \cdot 10^{-5}$
Метан	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Диоксид азота	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Озон	$2 \cdot 10^{-6}$
Диоксид серы	$2 \cdot 10^{-8}$
Оксид углерода	$1 \cdot 10^{-5}$
Аммиак	$1 \cdot 10^{-6}$

1.3 Загрязнение атмосферного воздуха

Проблема загрязнения атмосферы в наше время оказывает достаточное сильное воздействие на все живые организмы. При неблагоприятных метеорологических условиях может увеличиваться концентрация дымовых газов в атмосфере, что в итоге приводит к возникновению ядовитых туманов. Достаточно известный случай произошел в Лондоне в 1952 году, в начале декабря, жители отапливали свои дома каминами и загрязняющие вещества, возникающие в результате горения, должны были рассеиваться в атмосфере, но из-за проходившего на тот момент антициклона, возникла температурная инверсия, в результате которой дым удерживался у поверхности земли и накрыл столицу Великобритании на 96 часов. По официальным данным, погибло около 12 тысяч человек, а остальные жители Лондона были вынуждены ещё год ходить в фильтрующих масках [5].

Промышленные выбросы, выхлопные газы, копоть, частицы пыли в воздухе больших городов образуют своеобразные дымовые шапки и ослабляют проникновение ультрафиолетовой части солнечного спектра.

Также загрязнители воздуха могут вызывать различные болезни глаз, легких. Зафиксировано, что загрязняющие вещества могут отрицательно влиять на работоспособность человека, вызывать недомогание, головные спазмы и головокружение.

Было отмечено, что выброс в атмосферу различными предприятиями фторидов привел к массовому отравлению и гибели овец, пчел и крупного рогатого скота. Вскрытие часто выявляет повреждение дыхательных путей и эмфизему. Загрязнение атмосферы также приводит к снижению плодovitости и продуктивности скота, уменьшению численности насекомых, гибели рыб в водоемах [6].

Воздействие загрязняющих веществ на живые организмы принято делить на 3 группы опасности:

1 группа опасности – радиоактивные вещества, возникающие при работе атомных электростанций, аварии на них и результаты испытаний ядерного оружия в атмосфере. Наиболее опасны стронций-90, цезий-134 и 137, плутоний-239.

2 группа опасности – концентрированные газообразные выбросы, которые образуют в атмосфере густой ядовитый туман – смог, концентрация загрязняющих веществ в несколько раз превышает ПДК (предельно допустимая концентрация). Вызывают респираторное заболевание сердечно-сосудистой и других систем органов.

3 группа опасности - повышение температуры в городах на 2-3°C по сравнению с окружающей местностью. Это приводит к тепловому загрязнению атмосферы, изменению температуры и циркуляции воздуха.

Для измерения степени загрязненности атмосферы требуется определить концентрацию примесей в мг/м^3 воздуха. Содержание пыли и аэрозолей определяется в их выпадении в г/м^2 земной поверхности. Качество воздуха

характеризуется ПДК загрязняющих веществ. Для каждого загрязнителя существует свой ПДК.

Источники загрязнения обычно делят на 2 группы: естественные и искусственные.

Естественное загрязнение связано с тем, что в атмосфера постоянно содержит в себе некоторое количество пыли. Она возникает в результате естественных явлений, которые происходят в природе.

Существует 3 вида пыли: минеральная, органическая и космическая. К причинам возникновения минеральной пыли обычно относят выветривание горных пород, лесные пожары, извержение вулканов и конечно же испарение с поверхностей морей. Органическая пыль – это продукт брожения, гниения и разложения различных животных и растений. Также органическая пыль представлена аэропланктонами – организмами, живущими в атмосфере (споры грибов, бактерии и пыльца). Космическая же пыль – это остатки сгоревших метеоритов, прошедших через атмосферу.

Искусственное загрязнение или как его ещё называют антропогенное связано с различной деятельностью человека. Их принято делить на 3 группы:

1) механические загрязнители - промышленные выбросы (цементные заводы), топливный дым, сажа и т. д. Основным источником загрязнения воздуха являются промышленные предприятия (тепловые электростанции и промышленные печи).

2) химические загрязнители - пыль или газообразные вещества, способные вступать в химические реакции: выделяется сернистый газ, SO_2 , SO_3 при сжигании угля, сланца, и нефти.

3) радиоактивное загрязнение – утечка радионуклидов в результате аварии на атомных электростанциях, взрывы оружия массового поражения, ядерные отходы.

Также к наиболее значимым загрязнителям относятся выбросы от работы различных видов транспорта, в частности автомобилей. Подсчитано, что автомобили в мире выбрасывают около 0,5 млн тонн угарного газа в день, 100

000 тонн углеводородов, 26 тысяч тонн оксида азота и большое количество паров бензина.

Воздушный транспорт также выделяет вредные газы. Один сверхзвуковой лайнер загрязняет атмосферу также, как 7000 автомобилей.



Рис. 1.2 Источники загрязнения атмосферы

В таблице 1.3 представлены основные загрязняющие вещества:

Таблица 1.3 Основные загрязняющие вещества

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

ПДК_{мр} - предельно допустимая максимально разовая концентрация химического вещества в воздухе населенных мест, мг/м³.

ПДК_{сс} - предельно допустимая среднесуточная концентрация химического вещества в воздухе населенных мест, мг/м³.

Оксид углерода - очень токсичный газ без цвета, запаха и вкуса. Возникает в результате неполного сжигания древесины, ископаемого топлива и табака, сжигания твердых отходов и частичном анаэробном разложении органических веществ. Примерно 50 % оксида углерода образуется в связи с деятельностью человека, в основном в результате работы двигателей внутреннего сгорания автомобилей.

Диоксид и оксид азота образуется при сжигании топлива при очень высоких температурах (650°C) и избытке кислорода. Впоследствии оксид азота окисляется в атмосфере до газообразного красновато-коричневого диоксида, что хорошо проявляется в атмосфере большинства крупных городов. Основными источниками диоксида азота в городах являются выхлопы автомобилей и выбросы тепловых электростанций.

Диоксид серы - бесцветный газ, образующийся при сгорании серосодержащих видов топлива (особенно угля и тяжелых нефтяных фракций), а также в различных промышленных процессах, таких как плавка сульфидных руд.

Аммиак – бесцветный газ, отличительной чертой которого является резкий запах. В природе он образуется при разложении азотсодержащих органических соединений. Основными источниками выбросов аммиака являются предприятия по производству азотной кислоты и солей аммония, холодильные камеры, коксохимические заводы и животноводческие фермы.

Озон - продукт вторичного загрязнения атмосферы в результате химических реакций, вызванных солнечным излучением. Образуется озон при расщеплении любой молекулы кислорода или диоксида азота с образованием атомарного кислорода, который затем связывается с другой молекулой кислорода. В тропосфере он ведет себя как сильный окислитель - разрушает растения, строительные материалы, резину и пластик. Озон имеет характерный запах, что является признаком фотохимического смога.

Взвешенные частицы – включают в себя пыль, сажу, пыльцу и споры растений, сильно различаются по размеру и составу. Они могут либо непосредственно содержаться в воздухе, либо быть заключенными во взвешенных в воздухе каплях (аэрозоли). Примерно 50% частиц антропогенного происхождения выбрасывается в воздух из-за неполного сгорания топлива на транспорте, заводах, фабриках и тепловых электростанциях [7].

1.4 Влияние метеорологических параметров на загрязнение атмосферы

Перенос пыли в атмосфере зависит от размера и плотности частиц, а также от перемещения воздушных масс, а распространение газов определяется его способностью к химическому взаимодействию с компонентами атмосферы и степенью растворимости в воде. Наличие их в атмосфере зависит от того, ограничивается ли перенос 100-километровой зоной, или же он имеет глобальный характер. К газам, которые имеют глобальный характер распространения, можно отнести углекислый, в то же время диоксид серы и диоксид азота имеют свойство сохраняться в атмосфере от нескольких дней до нескольких недель.

Кроме всего вышесказанного, перенос выбросов зависит от метеорологических условий. Направление переносов определяется направлением ветра, а высота их подъема – скоростью. Увеличение скорости ветра способствует более интенсивному перемешиванию газов с окружающим воздухом и вследствие этого выбросы становятся более разбавленными. Также следует отметить, что в зависимости от источника выбросов определяется опасная скорость ветра. Так для мощных источников (трубы ТЭЦ) его значения составляют 5-7 м/с, для предприятий металлургии - 2-4 м/с, для химической промышленности, котельных и линейных источников - 1-2 м/с [8]. Точно также на направление выбросов влияет температура окружающего воздуха, так в тропосфере, при подъеме на каждые 100 метров, температура воздуха

понижается на 1°C , при таких условиях выбросы могут без всяких препятствий подниматься вверх.

Также в некоторых районах направление ветра может меняться из-за горных вершин или чередования областей высокого и низкого давления, что также играет важную роль в горизонтальном распределении загрязняющих веществ.

Особым случаем вертикального распределения выбросов является инверсия, то есть с ростом высоты растет и температура воздуха. Обычно такое явление создается при внезапном охлаждении слоев воздуха, которые прилегают к земной поверхности, или же при наложении потока тёплого воздуха на нижние холодные слои. Инверсия приводит к увеличению концентрации выбросов, и при достаточной солнечной радиации может наблюдаться образование смога.

Инверсию принято различать на 2 вида: приземная и приподнятая.

При приземной инверсии температура воздуха в нижних слоях имеет минимальное значение и постепенно растет с высотой, это препятствует подъему выбросов, которые располагаются у земной поверхности.

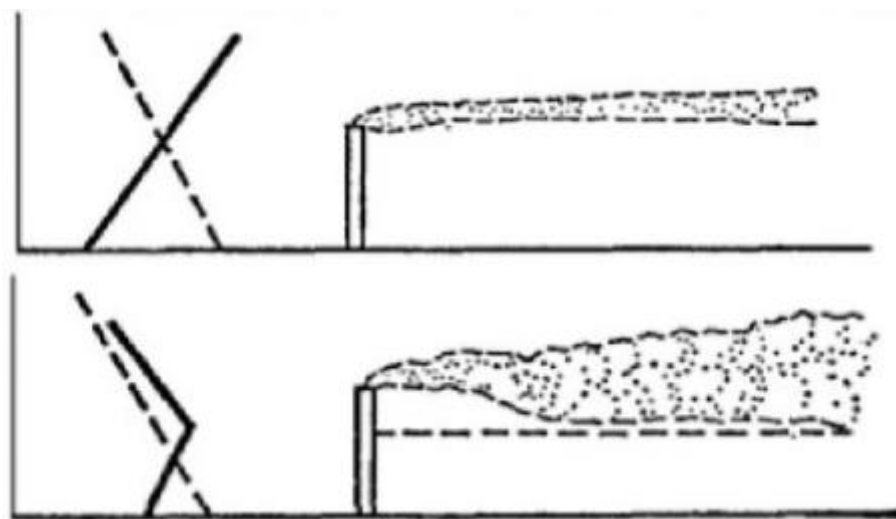


Рис 1.3 Приземная инверсия

Во втором случае слой воздуха с инверсионным градиентом температуры лежит над слоем воздуха, где наблюдается нормальный ход температур. В этом случае все выбросы, которые располагаются под нижним инверсионным слоем, загрязняют прилегающее к земле воздушное пространство [9].

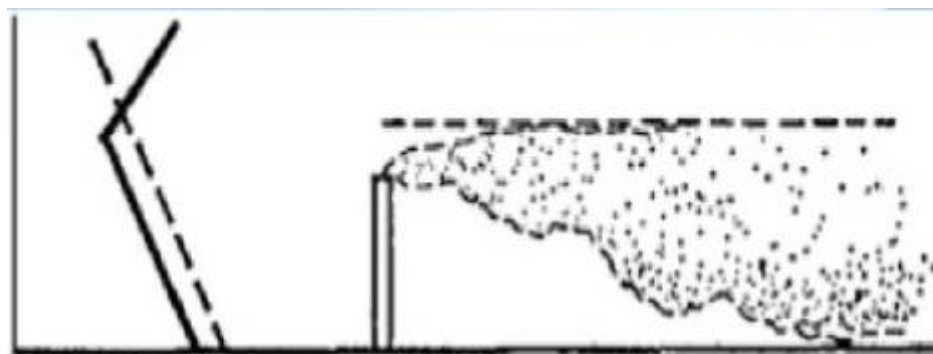


Рис 1.4 приподнятая инверсия

В некоторых случаях восходящие потоки воздуха в центре области высокого давления не могут поднять выбросы от земли, когда рельеф местности препятствует их горизонтальному распространению.

Также установлена определенная связь между влажностью воздуха и концентрацией загрязняющих веществ. При проведении наблюдений был сделан вывод, что при увеличении относительной влажности наблюдается увеличение концентрации загрязняющих веществ.

Изменение относительной влажности воздуха косвенно отражает условия температурной стратификации (в основном устойчивая ночью зимой и неустойчивая летом днем) и как следствие, интенсивность вертикального перемешивания воздуха.

Связь между содержанием загрязняющих веществ в воздухе и его относительной влажностью в основном проявляется температурой. Например, чем выше относительная влажность, тем ниже температура и тем чаще наблюдается приземная инверсия, которая способствует накоплению загрязняющих веществ в некотором слое.

Осадки являются основным метеорологическим элементом, способствующим удалению загрязняющих веществ из атмосферы. Эффективность очистки воздуха от примесей вымыванием осадками зависит главным образом от их количества и продолжительности.

До или в начале выпадения осадков концентрация пыли в приземном слое атмосферы увеличивается за счет его отложения из верхних слоев. Затем

запыленность снижается за счет преимущественного эффекта смывания пыли и притока чистого воздуха.

Вымывание же различных примесей в атмосфере происходит следующим образом - вещества могут растворяться в каплях воды в образовании облаков, после чего превращается в капли дождя. Затем с осадками растворенные примеси достигают земной поверхности.

Скорость снижения концентрации диоксида серы увеличивается с увеличением интенсивности осадков. Концентрация диоксида азота и диоксида серы также уменьшается после выпадения осадков. Озон практически полностью исчезает из загрязненного воздуха после дождя в летний период.

2 Экологический мониторинг окружающей среды

2.1 Суть, цели и задачи экологического мониторинга

Мониторингом окружающей среды называют регулярные наблюдения за природной средой, природными ресурсами, флорой и фауной, осуществляемые по программе, позволяющей выяснить их состояние и процессы, происходящие в них под влиянием природной и антропогенной деятельности.

Экологический мониторинг содержит в себе:

- мониторинг физических, химических, биологических процессов, происходящих в окружающей природной среде, уровней загрязнения атмосферного воздуха, почвы, воды, зданий, последствий его воздействия на растительный и животный мир;
- предоставление оперативной и срочной информации организациям и населению о состоянии окружающей природной среды;
- оповещение и прогноз состояния окружающей природной среды.

К задачам экологического мониторинга можно отнести:

- мониторинг источников и факторов антропогенного воздействия;
- мониторинг состояния природной среды и процессов, происходящих в ней под воздействием антропогенных факторов;
- оценка фактического состояния природной среды;
- прогнозирование изменений природной среды под воздействием факторов антропогенного воздействия;
- информационное обеспечение и принятие решений в области охраны окружающей среды и экологической безопасности, их своевременный доступ к потребителям.

Главными целями экологического мониторинга являются:

- оценка показателей состояния и функциональной целостности экосистем и мест обитания человека;

- выявление причин изменения этих показателей и оценка последствий этих изменений;
- определение корректирующих функций в случаях, когда не достигаются требуемые показатели состояния окружающей среды;
- создание предпосылок для определения корректирующих мероприятий в связи с возникающими негативными ситуациями.

На рисунке 2.1 представлена система управления окружающей природной средой, с использованием данных, которые были получены при проведении экологического мониторинга.

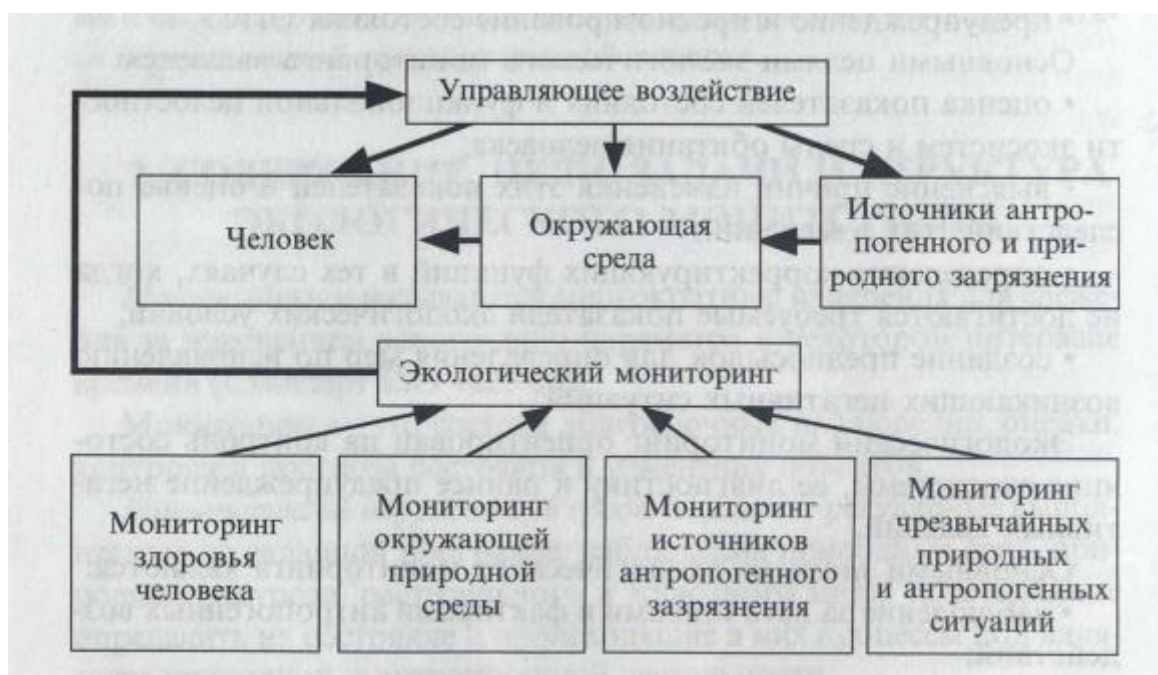


Рис. 2.1 Система управления окружающей природной средой

Система, представленная на рисунке 2.1 использует для своего успешного функционирования следующие процедуры:

- выбор (определение) объекта наблюдения;
- обзор выбранного объекта наблюдения;
- составление информационной модели объекта наблюдения;
- планирование измерений;
- оценка состояния объекта наблюдения и идентификация его информационной модели;
- прогнозирование изменений состояния объекта наблюдения;

- представление информации в удобной для пользователя форме и доведение её до потребителя [10].

2.2 Методы контроля и приборы, осуществляющие измерение концентраций загрязняющих веществ

Соблюдение предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в воздухе населенных пунктов требует систематического контроля их фактического содержания в атмосферном воздухе. Такой контроль позволяет оценить эффективность пылеулавливающего оборудования, обеспечить необходимую степень очистки и усовершенствовать технологию производства для снижения концентрации загрязняющих веществ в выхлопных газах [11].

На определенных постах ведется мониторинг уровня загрязнения атмосферного воздуха. Наблюдательный пункт располагается на выбранном месте, где находится павильон или автомобиль, оснащенный соответствующим оборудованием.

Посты делятся на 3 категории:

- Стационарные
- Маршрутные
- Передвижные

Стационарная станция предназначена для непрерывного учета содержания загрязняющих веществ или регулярного отбора проб воздуха для последующего анализа.

Маршрутная станция предназначена для регулярного отбора проб атмосферного воздуха в случаях, когда нет возможности установить стационарную станцию или, когда необходимо изучить состояние загрязнения атмосферного воздуха на отдельных территориях, например, в новых жилых районах.

Передвижной пост предназначен для отбора проб поддымовым факелом с целью выявления зоны влияния заданного источника промышленных выбросов.

При расположении постов в каждом отдельно взятом населенном пункте следует учитывать численность населения, особенности рельефа, площадь данного населенного пункта, а также развитие промышленности и сетей автомобильных дорог с интенсивным движением.

Одновременно с отбором проб воздуха определяются следующие метеорологические параметры: направление и скорость ветра, температура воздуха, погодные условия и состояние подстилающей поверхности.

Также в каждом отдельно взятом населенном пункте могут измерять концентрации разных загрязняющих веществ, в зависимости от характера и источников выбросов. В результате составляется список приоритетных веществ, которые подлежат контролю в первую очередь. Обычно производят наблюдение за основными загрязняющими веществами: пыль, диоксид серы, оксид углерода, оксид и диоксид азота, а также веществами, являющимися характерными для промышленных выбросов в данном населенном пункте.

При определении приземной концентрации примесей в атмосфере отбор проб и измерение концентрации загрязняющих веществ производят на высоте от 1,5 до 3,5 м от земли. Время отбора проб воздуха для определения среднесуточных концентраций примесей при дискретных наблюдениях составляет от 20 до 30 мин, при непрерывном отборе проб - 24 ч. Продолжительность метеорологических наблюдений - 10 мин. Также определение концентраций загрязняющих веществ производится по различным методам, в зависимости от исследуемого вещества.

При анализе содержания пыли в атмосфере предпочтение отдается методам с выделением дисперсной фазы из воздуха, так как большинство из них позволяют определить массовую концентрацию взвешенных частиц. К недостаткам этих методов можно отнести цикличность измерений, высокую трудоемкость и низкую чувствительность анализа. К этим методам относят: гравитационный, радиоизотопный и пьезоэлектрический.

Также используются методы без предварительного выделения дисперсной фазы из воздуха. Преимуществом этих методов является возможность

непосредственных измерений в самом пылегазовом потоке без использования пробоотборного устройства, непрерывность измерений, возможность полной автоматизации процесса измерений. К недостаткам этих методов относят влияние на результат измерения изменений дисперсного состава и других свойств пыли. К этой группе относится оптический метод [12].

Суть гравитационного метода заключается в выделении пылевых частиц из пылегазового потока и определение их массы. Концентрацию пыли рассчитывают по формуле 1:

$$C = \frac{m}{Q \cdot T}, \quad (1)$$

где: m – масса пробы пыли, мг, Q – объемный расход воздуха через пробоотборник, м³/с, T – время отбора пробы, с.

Приборы для отбора проб (пробоотборники и аспираторы) предназначены только для отбора проб с целью контроля измерения концентраций газов и аэрозолей, загрязняющие воздух. Отбор проб производится на фильтры или поглотители. Для получения данных о запыленности воздуха фильтры с осевшей пылью взвешивают. Большинство пробоотборников оснащены таймером, которые останавливают пробоотбор по истечении заданного времени.

Основными преимуществами этого метода являются получение массовой концентрации пыли и отсутствие влияния ее химического и дисперсионного состава на результаты измерений. К недостаткам можно отнести относительно высокую сложность процесса измерения.

Радиоизотопный метод измерения концентрации пыли основан на свойстве радиоактивного излучения (обычно β -излучения) поглощаться частицами пыли. Масса уловленной пыли определяется степенью ослабления радиоактивного излучения при его прохождении через слой скопившейся пыли.

Также имеет место быть так называемый пьезоэлектрический метод. Существует два варианта этого метода. Первый основан на измерении изменения

частоты колебаний пьезокристалла при оседании на его поверхности пыли. Этот метод позволяет напрямую измерять массовую концентрацию пыли. Второй основан на расчете электрических импульсов, генерируемых при столкновении пылинок с пьезокристаллами. Этот метод можно использовать для расчета концентрации частиц пыли.

Суть оптических методов заключается в использовании зависимости физических свойств (оптическая плотность, степень поглощения световых лучей) запыленного потока газа от концентрации пыли. Они в свою очередь разделяются на нефелометрический и абсорбционный.

- В основе нефелометрического метода анализа лежит измерение степени рассеяния света частицами, взвешенными в растворе.
- Метод, основанный на явлении поглощения света при прохождении через запыленную газовую среду, называется абсорбционным методом. Этот метод позволяет измерять концентрацию взвешенных частиц непосредственно в атмосферном воздухе без предварительного отбора проб.

При анализе наличия газа в атмосфере используют газоанализаторы. Данные приборы способны осуществить непрерывный контроль за наличием вредных газообразных веществ.

Самыми распространенными газоанализаторами являются универсальные газоанализаторы (УГ-2, ГХ-2). Их принцип работы основан на линейном цветовом методе. Воздух всасывается через индикаторные трубки, которые заполнены твердым порошковым поглотителем, далее при взаимодействии с некоторыми газами цвет порошка меняется. Длина окрашенной полосы пропорциональна концентрации испытуемого вещества, измеренной по специальной шкале мг/л. УГ-2 позволяет определять концентрацию 16 различных газов.

Большое распространение для определения концентрации загрязняющих веществ получили оптические методы. Принцип работы оптических газоанализаторов основан на избирательном поглощении газами лучистой энергии в инфракрасной, ультрафиолетовой или видимой области спектра.

- Оптико-акустические газоанализаторы относятся к приборам, которые работают в инфракрасном диапазоне. Они обычно используются для определения оксида углерода и диоксида углерода, а также метана.

- Приборы, в которых лучистая энергия поглощается газами в ультрафиолетовой области спектра, используются для обнаружения паров ртути, карбонила, никеля, озона.

Большое распространение получили жидкостные и ленточные фотоколориметрические газоанализаторы. Метод, на котором они основаны, позволяет определить концентрацию растворенного вещества по интенсивности окраса раствора или ленты. Позволяет обнаружить концентрации сернистой кислоты, оксида серы, оксида и диоксида азота, а также аммиака.

Также достаточно известны электрохимические методы определения концентрации примесей. Они разделяются на кондуктометрические и кулонометрические.

- Кондуктометрический метод основан на измерении электрической проводимости поглотительных растворов, абсорбирующих измеряемый компонент газовой смеси.

- Кулонометрический же метод основан на законе Фарадея, который установил прямую пропорциональность между количеством прошедшего через электрохимическую систему электричества и количеством прореагировавшего на электроде вещества [13].

В таблице 2.1 представлены приборы, измеряющие концентрацию пыли и различных примесей в атмосфере, методы, на которых они основаны, фиксируемые загрязняющие вещества и измеряемые концентрации.

Таблица 2.1 Приборы, осуществляющие измерение концентраций
загрязняющих веществ.

Прибор	Метод измерений	Определяемое вещество	Концентрация, мг/м ³
ДАСТ-1	Радиоизотопный	Пыль	0-100
KANOMAX 3521	Пьезоэлектрический	Пыль	0,1-10
АЭРОКОН-П	Нефелометрический	Пыль	0-100
ИКВЧ(п)	Абсорбционный	Пыль	0-3000
ОА-5501	Оптико-акустический	СО; СН ₄ ; СО ₂	0-4000
ФЛ-5601	Фотоколориметрический	SO ₂ ; NH ₃ ; NO _x ; H ₂ S	0-20
«Атмосфера»	Кулонометрический	O ₃ ; SO ₂ ; H ₂ S	0-15000
КУ-3	Кондуктометрический	СО; СО ₂ ; пары бензина	0-500

2.3 Автоматические станции контроля концентраций загрязняющих веществ в г. Санкт-Петербург

Санкт-Петербургская автоматизированная система мониторинга атмосферного воздуха (далее – АСМ-АВ) представляет собой комплекс взаимосвязанных аппаратно-программных средств, организационных процедур и сервисов, обеспечивающих работу аппаратно-программных средств, необходимых для государственного экологического мониторинга атмосферного воздуха в г. Санкт-Петербург.

Данные, полученные с АСМ-АВ используются для:

- оценки и прогноза изменения состояния атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге под влиянием природных и антропогенных факторов с целью своевременного выявления негативных процессов, влияющих на качество атмосферного воздуха;
- создания базы данных мониторинга состояния атмосферного воздуха в информационно-аналитическом комплексе «Экологический паспорт территории Санкт-Петербурга» и в Едином государственном фонде данных о состоянии окружающей среды;

- проверки результатов расчетных методов оценки и прогнозирования воздействия источников выбросов на загрязнение атмосферного воздуха (расчетных методов мониторинга) при выработке рекомендаций и решений, направленных на снижение и предотвращение вредного воздействия на окружающую среду;

- информационной поддержки органов государственной власти, органов местного самоуправления, юридических и физических лиц о состоянии атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге;

- оценки состояния (загрязнения) атмосферного воздуха при чрезвычайных ситуациях [14].

В 2020 году в состав АСМ-АВ входило 25 автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, расположенных во всех районах города:

1. ул. Профессора Попова, 48
2. г. Колпино, Красная ул., 1а
3. ул. Карбышева, 7
4. Малоохтинский пр., 98
5. пр. Маршала Жукова, 30/3
6. пр. КИМа, 26 лит. А
7. Шпалерная ул., 56
8. ул. Новосельковская, 23
9. Малая Балканская ул., 54
10. Московский пр., 19
11. г. Сестрорецк, ул. М. Горького, 2
12. ул. Пестеля, 1
13. Индустриальный пр., 64
14. Уткин пр., 16
15. г. Кронштадт, ул. Ильмянинова, 4
16. ул. Севастьянова, 11
17. г. Пушкин, Тиньков пер., 4

18. ул. Ольги Форш, 6
19. пр.Ветеранов, дом 167, к. 6/1
20. ул. Тельмана,24
21. г. Ломоносов, ул. Федюнинского, 3
22. Канонерский остров, 21, стр. 1
23. пр. Динамо, 44
24. В.О.Средний пр.,74
25. пос. Металлострой, Железнодорожная ул., 13

Карта расположения АМС-АВ представлена на рисунке 2.2:

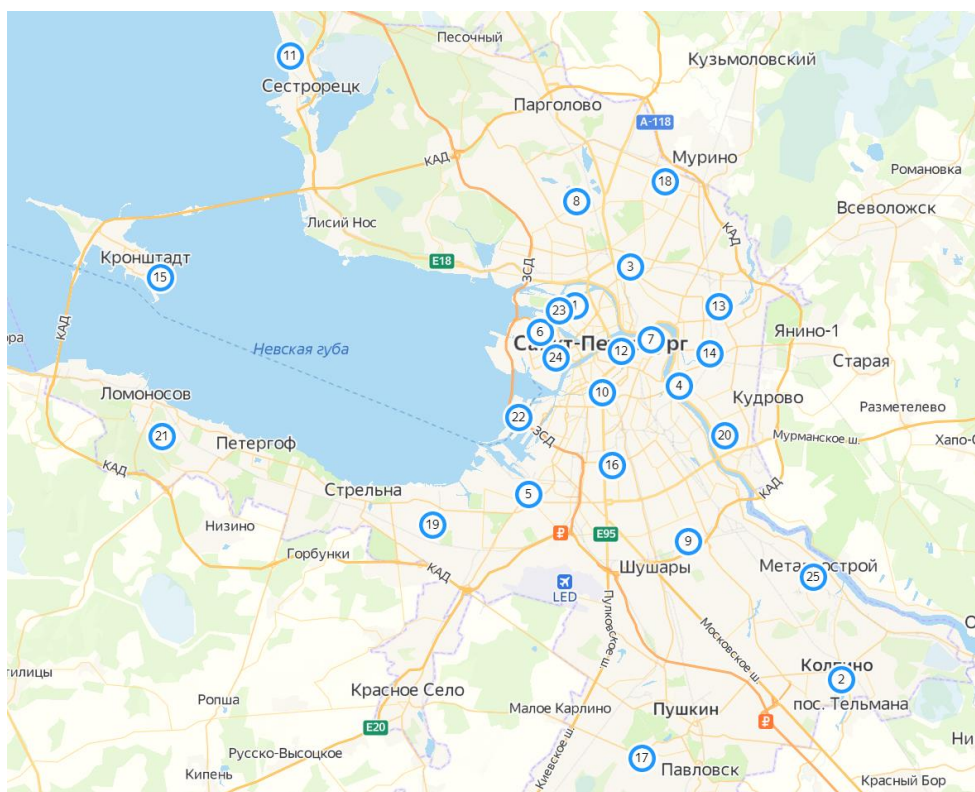


Рис.2.2 Автоматические станции мониторинга загрязнения окружающего воздуха

В зависимости от программы мониторинга автоматические станции непрерывно (каждые 20 минут) обнаруживают частицы размером менее 2,5 микрон ($PM_{2,5}$) или частицы размером менее 10 микрон (PM_{10}), диоксид серы (SO_2), оксид углерода (CO), диоксид азота (NO_2), оксид азота (NO), озон (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 [15].

Определение концентрации оксидов азота, оксида углерода, диоксида серы, озона производится с помощью автоматических измерительных приборов в соответствии с Руководством по эксплуатации станции контроля загрязнений атмосферного воздуха автоматической унифицированной «УС-КВ-1».

Массовые концентрации взвешенных частиц определялись с использованием систем автоматического пробоотбора LVS/MVS, систем автоматического пробоотбора Derenda, модификации АМоS.

Измерения концентраций фенола и ароматических углеводов производится в соответствии с руководством по эксплуатации газового хроматографа Syntech Spectras GC 955 модели 600, 6001.

Измерения бенз(а)пирена проводились путем автоматического (программируемого) отбора проб и последующего анализа проб в лаборатории методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) [16].

3 Исследование пространственного распределения загрязняющих веществ в Санкт-Петербурге

Среднесуточные данные по концентрациям загрязняющих веществ получены с официального сайта Экологического портала Санкт-Петербурга, которые находятся в свободном доступе [15]. Далее проведено осреднение до среднемесячных значений.

3.1 Анализ среднемесячных значений концентраций загрязняющих веществ

По осредненным данным значений концентраций загрязняющих веществ были построены диаграммы распределения CO, NO₂, SO₂ и PM₁₀ за зимний период 2020-2021 года (декабрь, январь, февраль) и летний период 2021 года (июнь, июль, август).

На рисунках 3.1 и 3.2 представлены диаграммы распределения оксида углерода за зимний период 2020-2021 года и летний период 2021 года соответственно:

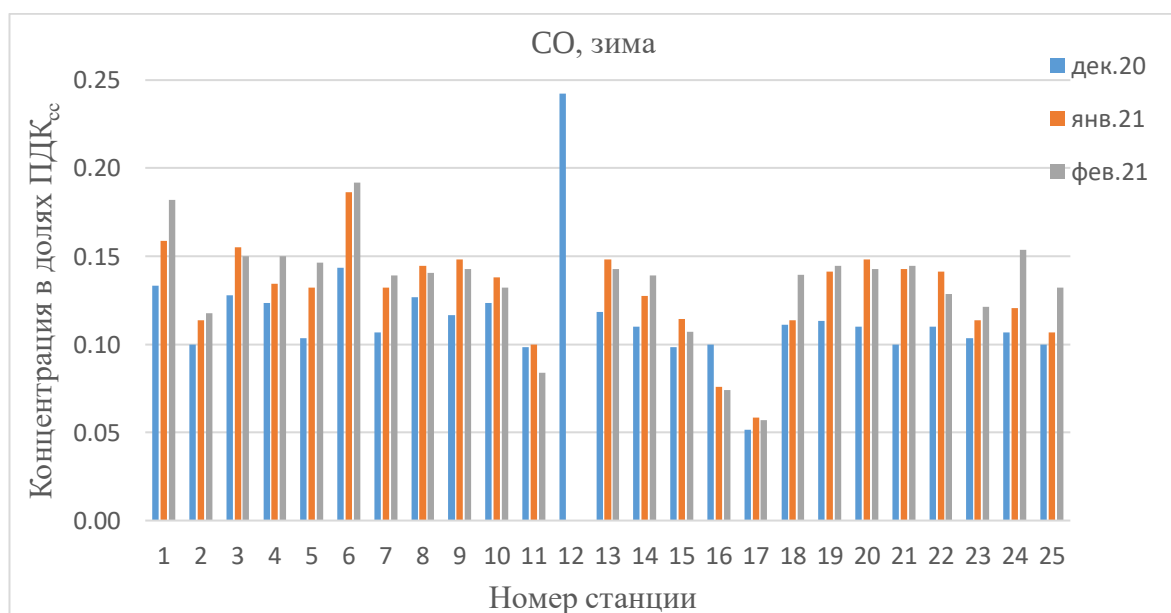


Рисунок 3.1 Диаграмма распределения CO за зимний период

Максимальные значения концентраций CO за зимний сезон:

- Декабрь 2020:

Максимальное значение концентрации СО зафиксировано на станции №12 и составило 0,24 ПДК_{сс}.

- Январь 2021:

Максимальное значение концентрации СО зафиксировано на станции №6 и составило 0,19 ПДК_{сс}.

- Февраль 2021:

Максимальное значение концентрации СО зафиксировано на станции №6 и составило 0,19 ПДК_{сс}.

Минимальные значения концентраций СО за зимний сезон:

- Декабрь 2020:

Минимальное значение концентрации СО зафиксировано на станции №17 и составило 0,05 ПДК_{сс}.

- Январь 2021:

Минимальное значение концентрации СО зафиксировано на станции №17 и составило 0,06 ПДК_{сс}.

- Февраль 2021:

Минимальное значение концентрации СО зафиксировано на станции №17 и составило 0,06 ПДК_{сс}.

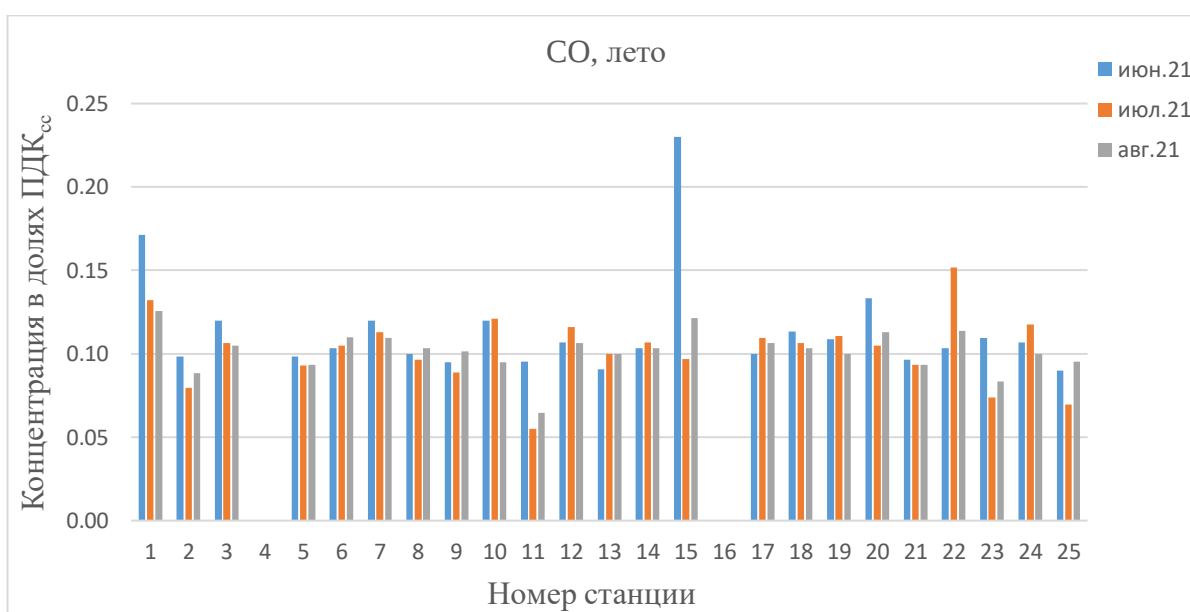


Рисунок 3.2 Диаграмма распределения СО за летний период

Максимальные значения концентраций СО за летний сезон:

- Июнь 2021:

Максимальное значение концентрации СО зафиксировано на станции №15 и составило 0,23 ПДК_{сс}.

- Июль 2021:

Максимальное значение концентрации СО зафиксировано на станции №22 и составило 0,15 ПДК_{сс}.

- Август 2021:

Максимальное значение концентрации СО зафиксировано на станции №1 и составило 0,13 ПДК_{сс}.

Минимальные значения концентраций СО за летний сезон:

- Июнь 2021:

Минимальное значение концентрации СО зафиксировано на станции №13 и составило 0,09 ПДК_{сс}.

- Июль 2021:

и составило 0,07 ПДК_{сс}.

- Август 2021:

Минимальное значение концентрации СО зафиксировано на станции №11 и составило 0,06 ПДК_{сс}.

На рисунках 3.3 и 3.4 представлены диаграммы распределения диоксида азота за зимний период 2020-2021 года и летний период 2021 года соответственно:

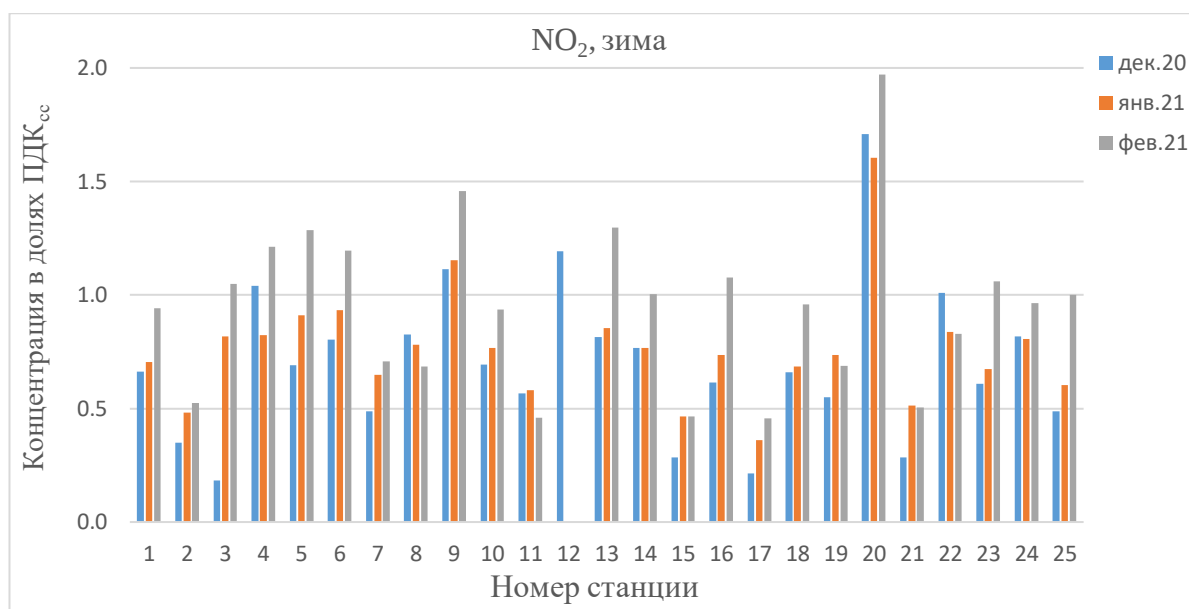


Рисунок 3.3 Диаграмма распределения NO₂ за зимний период

Максимальное значение концентраций NO₂ за зимний сезон:

- Декабрь 2020:

Максимальное значение концентрации NO₂ зафиксировано на станции №20 и составило 1,71 ПДК_{cc}.

- Январь 2021:

Максимальное значение концентрации NO₂ зафиксировано на станции №20 и составило 1,60 ПДК_{cc}.

- Февраль 2021:

Максимальное значение концентрации NO₂ зафиксировано на станции №20 и составило 1,97 ПДК_{cc}.

Минимальные значения концентраций NO₂ за зимний сезон:

- Декабрь 2020:

Минимальное значение концентрации NO₂ зафиксировано на станции №3 и составило 0,18 ПДК_{cc}.

- Январь 2021:

Минимальное значение концентрации NO₂ зафиксировано на станции №17 и составило 0,36 ПДК_{cc}.

- Февраль 2021:

Минимальное значение концентрации NO_2 зафиксировано на станции №17 и составило 0,46 ПДК_{сс}.

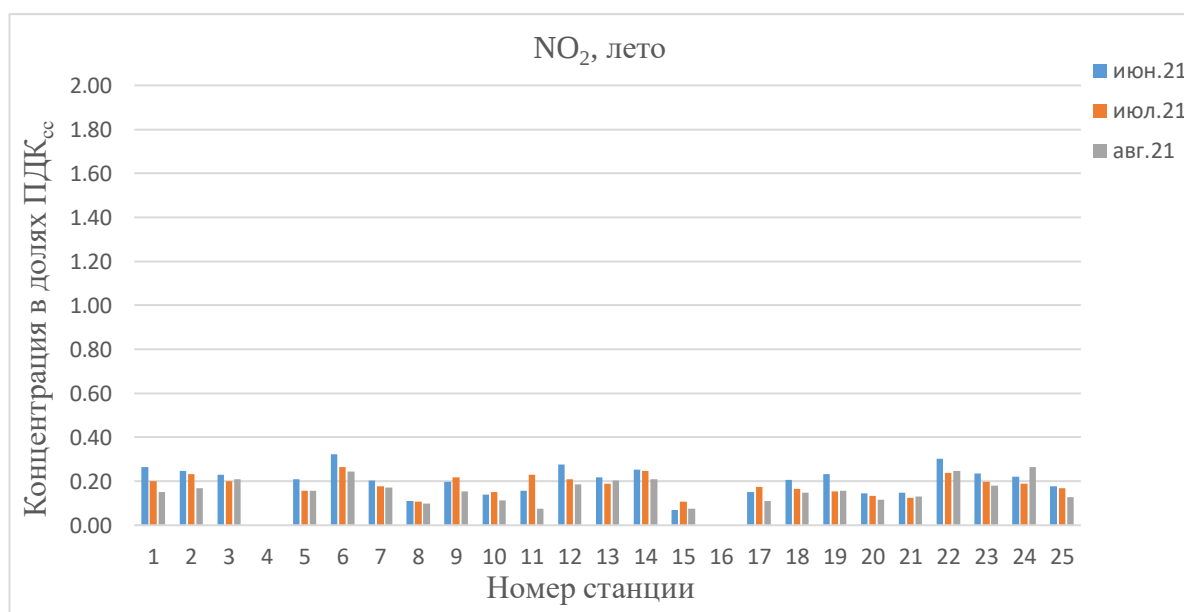


Рисунок 3.4 Диаграмма распределения NO_2 за летний период

Максимальное значение концентраций NO_2 за летний сезон:

- Июнь 2021:

Максимальное значение концентрации NO_2 зафиксировано на станции №6 и составило 0,32 ПДК_{сс}.

- Июль 2021:

Максимальное значение концентрации NO_2 зафиксировано на станции №6 и составило 0,26 ПДК_{сс}.

- Август 2021:

Максимальное значение концентрации NO_2 зафиксировано на станции №24 и составило 0,27 ПДК_{сс}.

Минимальные значения концентраций NO_2 за летний сезон:

- Июнь 2021:

Минимальное значение концентрации NO_2 зафиксировано на станции №15 и составило 0,07 ПДК_{сс}.

- Июль 2021:

Минимальное значение концентрации NO_2 зафиксировано на станции №15 и составило 0,11 ПДК_{сс}.

- Август 2021:

Минимальное значение концентрации NO_2 зафиксировано на станции №15 и составило 0,08 ПДК_{сс}.

На рисунках 3.5 и 3.6 представлены диаграммы распределения диоксида серы за зимний период 2020-2021 года и летний период 2021 года соответственно:

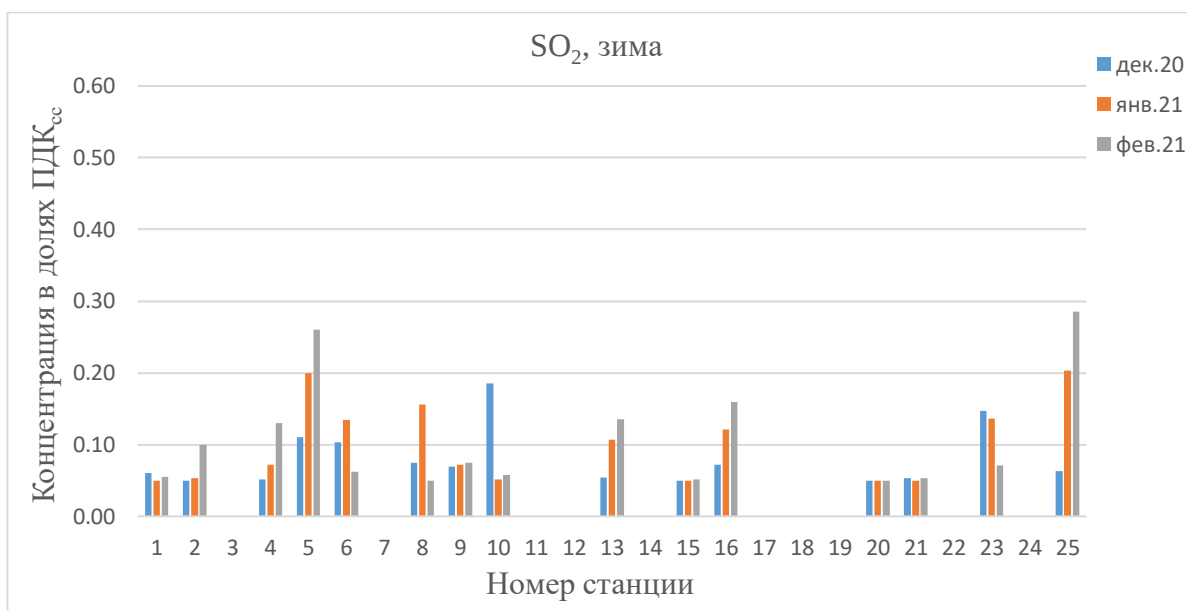


Рисунок 3.5 Диаграмма распределения SO_2 за зимний период

Максимальное значение концентраций SO_2 за зимний сезон:

- Декабрь 2020:

Максимальное значение концентрации SO_2 наблюдалось на станции №10 и составило 0,19 ПДК_{сс}.

- Январь 2021:

Максимальное значение концентрации SO_2 наблюдалось на станции №5 и составило 0,20 ПДК_{сс}.

- Февраль 2021:

Максимальное значение концентрации SO_2 наблюдалось на станции №25 и составило 0,29 ПДК_{сс}.

Минимальные значения концентраций SO_2 за зимний сезон:

- Декабрь 2020:

Минимальное значение концентрации SO_2 зафиксировано на станции №20 и составило 0,05 ПДК_{сс}.

- Январь 2021:

Минимальное значение концентрации SO_2 зафиксировано на станции №20 и составило 0,05 ПДК_{сс}.

- Февраль 2021:

Минимальное значение концентрации SO_2 зафиксировано на станции №20 и составило 0,05 ПДК_{сс}.

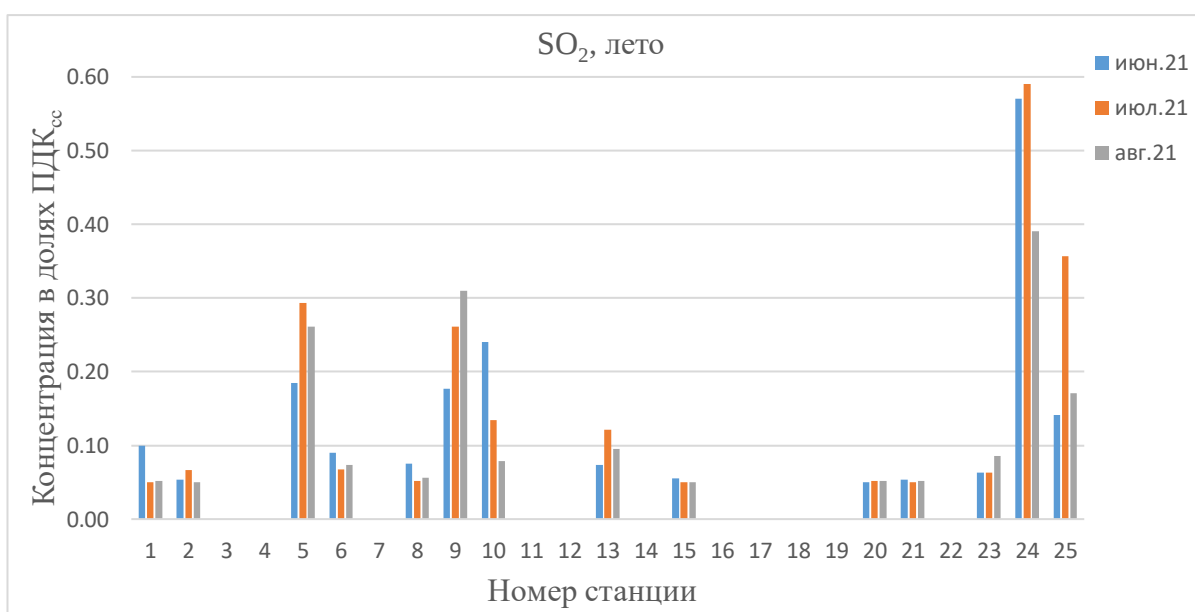


Рисунок 3.6 Диаграмма распределения SO_2 за летний период

Максимальное значение концентраций SO_2 за летний сезон:

- Июнь 2021:

Максимальное значение концентрации SO_2 наблюдалось на станции №24 и составило 0,57 ПДК_{сс}.

- Июль 2021:

Максимальное значение концентрации SO_2 наблюдалось на станции №24 и составило 0,59 ПДК_{сс}.

- Август 2021:

Максимальное значение концентрации SO_2 наблюдалось на станции №24 и составило 0,39 ПДК_{сс}.

Минимальные значения концентраций SO_2 за летний сезон:

- Июнь 2021:

Минимальное значение концентрации SO_2 зафиксировано на станции №20 и составило 0,05 ПДК_{сс}.

- Июль 2021:

Минимальное значение концентрации SO_2 зафиксировано на станции №20 и составило 0,05 ПДК_{сс}.

- Август 2021:

Минимальное значение концентрации SO_2 зафиксировано на станции №20 и составило 0,05 ПДК_{сс}.

На рисунках 3.7 и 3.8 представлены диаграммы распределения частиц пыли, размером 10 микрон за зимний период 2020-2021 года и летний период 2021 года соответственно:

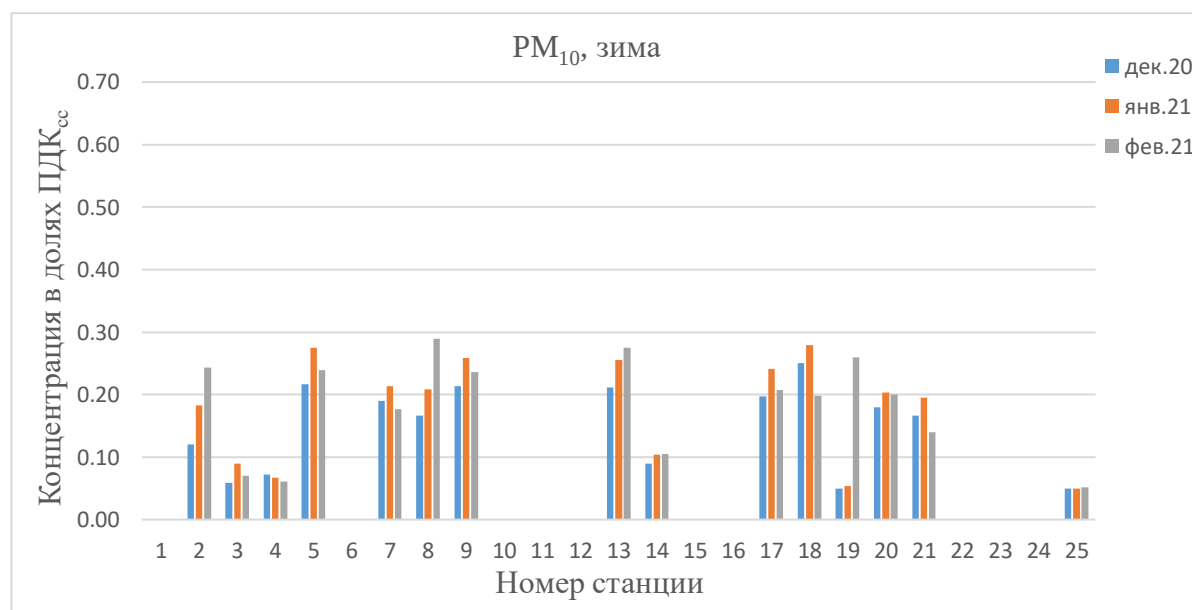


Рисунок 3.7 Диаграмма распределения PM_{10} за зимний период

Максимальное значение концентраций PM_{10} за зимний сезон:

- Декабрь 2020:

Максимальное значение концентрации PM_{10} наблюдалось на станции №18 и составило 0,25 ПДК_{сс}.

- Январь 2021:

Максимальное значение концентрации PM_{10} наблюдалось на станции №5 и составило 0,28 ПДК_{сс}.

- Февраль 2021:

Максимальное значение концентрации PM_{10} наблюдалось на станции №8 и составило 0,29 ПДК_{сс}.

Минимальные значения концентраций PM_{10} за зимний сезон:

- Декабрь 2020:

Минимальное значение концентрации PM_{10} зафиксировано на станции №25 и составило 0,05 ПДК_{сс}.

- Январь 2021:

Минимальное значение концентрации PM_{10} зафиксировано на станции №25 и составило 0,05 ПДК_{сс}.

- Февраль 2021:

Минимальное значение концентрации PM_{10} зафиксировано на станции №25 и составило 0,05 ПДК_{сс}.

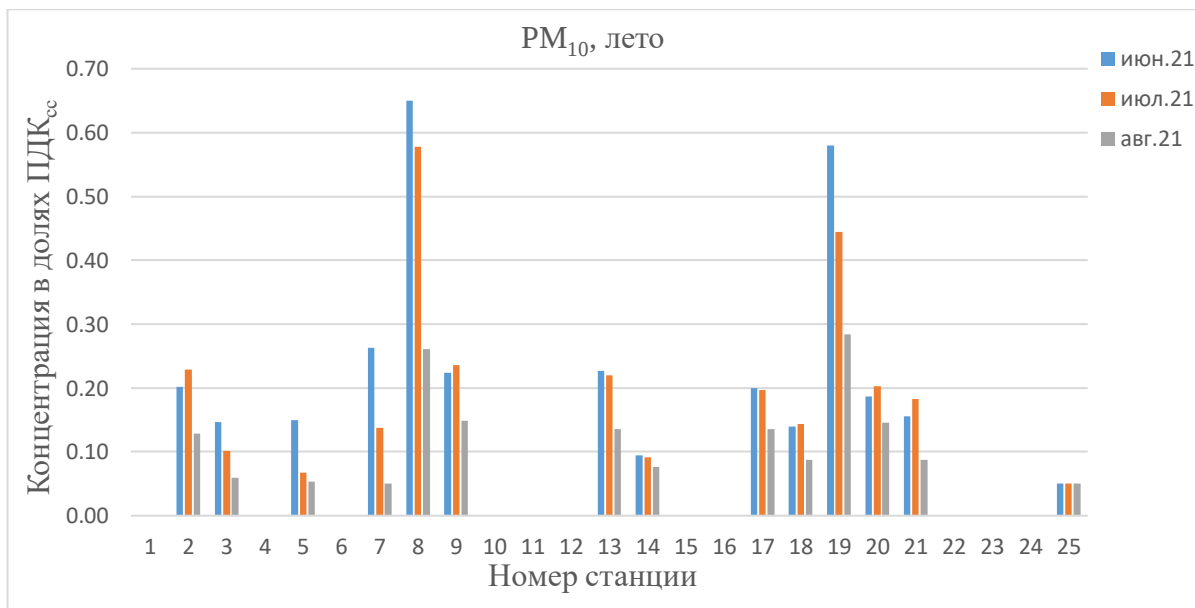


Рисунок 3.8 Диаграмма распределения PM_{10} за летний период

Максимальное значение концентраций PM_{10} за летний сезон:

- Июнь 2021:

Максимальное значение концентрации PM_{10} наблюдалось на станции №8 и составило 0,65 ПДК_{сс}.

- Июль 2021:

Максимальное значение концентрации PM_{10} наблюдалось на станции №8 и составило 0,58 ПДК_{сс}.

- Август 2021:

Максимальное значение концентрации PM_{10} наблюдалось на станции №19 и составило 0,28 ПДК_{сс}.

Минимальные значения концентраций PM_{10} за летний сезон:

- Июнь 2021:

Минимальное значение концентрации PM_{10} зафиксировано на станции №25 и составило 0,05 ПДК_{сс}.

- Июль 2021:

Минимальное значение концентрации PM_{10} зафиксировано на станции №25 и составило 0,05 ПДК_{сс}.

- Август 2021:

Минимальное значение концентрации PM_{10} зафиксировано на станции №25 и составило 0,05 ПДК_{сс}.

Проанализировав данные диаграммы, можно сделать вывод о том, что концентрации оксида углерода и диоксида азота в зимний период были выше, чем в летний. С диоксидом серы и частицами пыли, размером 10 микрон можно утверждать обратное, в летний период их концентрация была выше, чем в зимний. Превышение ПДК_{сс} было зафиксировано лишь у диоксида серы на протяжении всего зимнего периода.

3.2 Пространственное распределение загрязняющих веществ

По исходным данным концентраций загрязняющих веществ со станций автоматического мониторинга за зимний период 2020-2021 года (декабрь, январь, февраль) и за летний период 2021 года (июнь, июль, август) были построены изолинии концентраций и 3D изображения распределения оксида углерода и диоксида азота.

На рисунках 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 представлены изолинии концентраций и 3D изображения распределения СО за зимний и летний периоды:

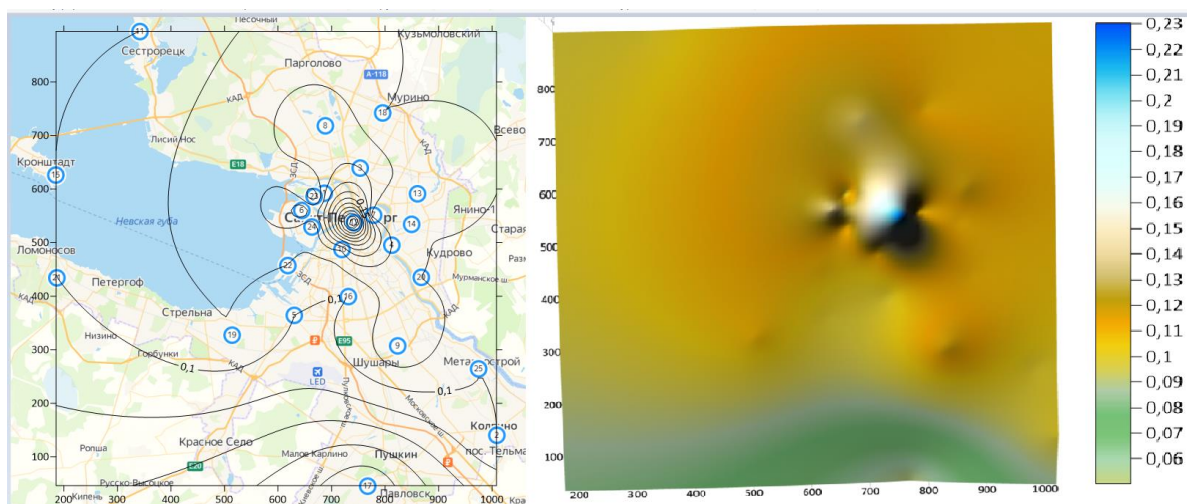


Рисунок 3.9 Пространственное распределение СО за декабрь 2020 года:

а) Изолинии; б) 3D изображение

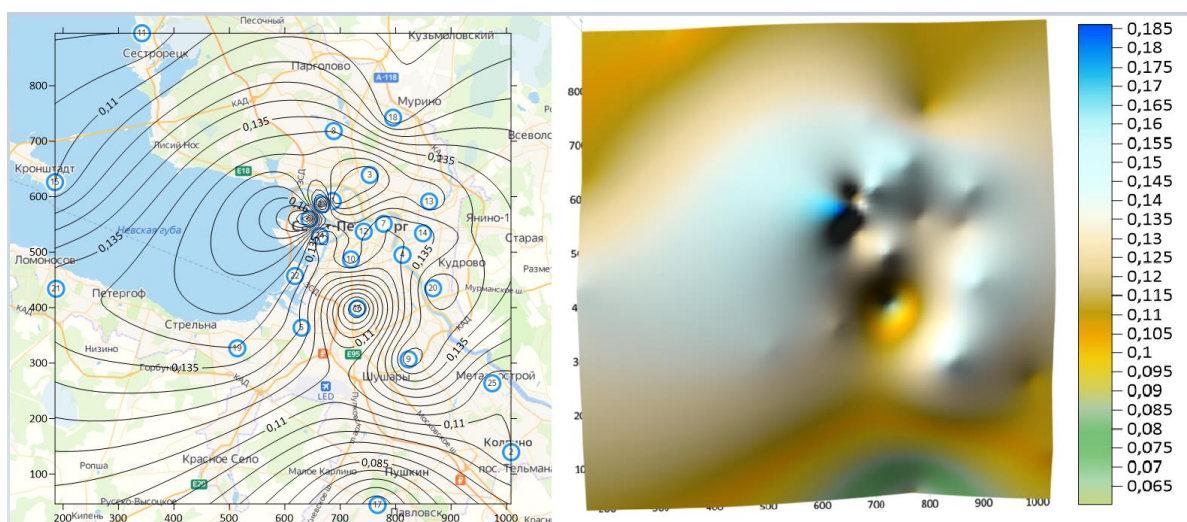


Рисунок 3.10 Пространственное распределение СО за январь 2021 года:

а) Изолинии; б) 3D изображение

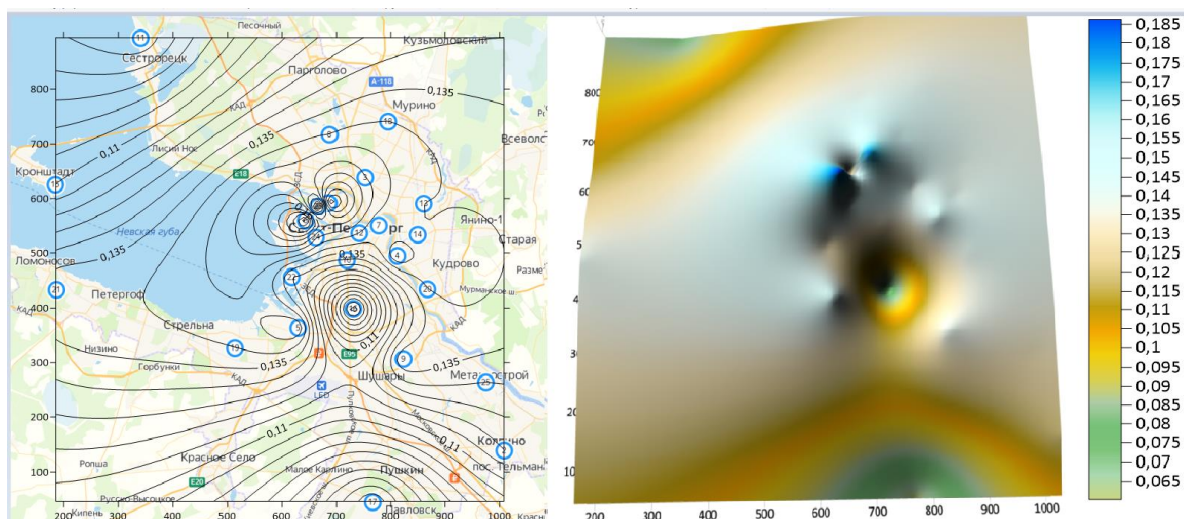


Рисунок 3.11 Пространственное распределение СО за февраль 2021 года:

а) Изолинии; б) 3D изображение

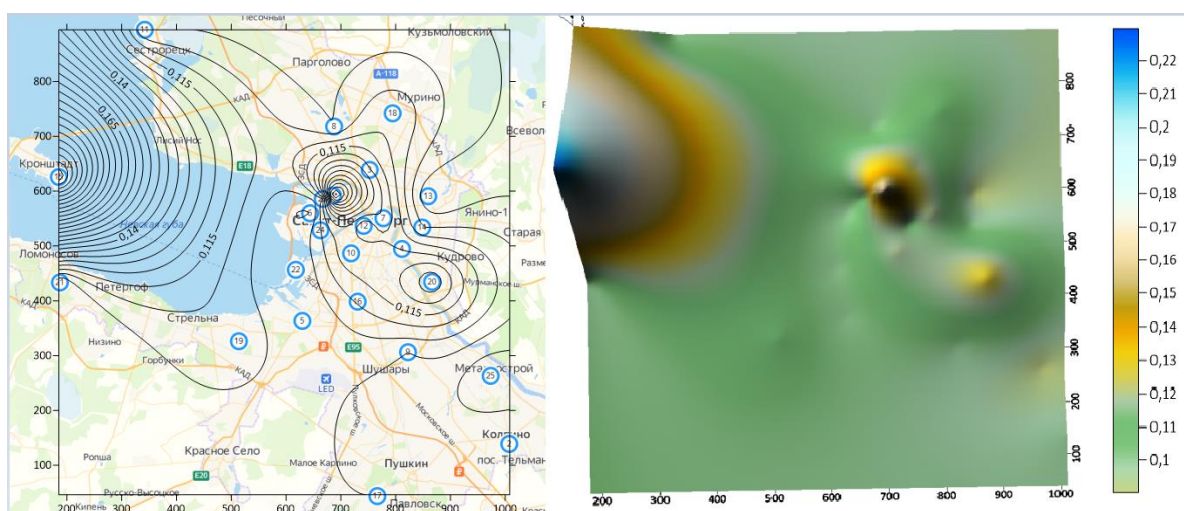


Рисунок 3.12, Пространственное распределение СО за июнь 2021 года:

а) Изолинии; б) 3D изображение

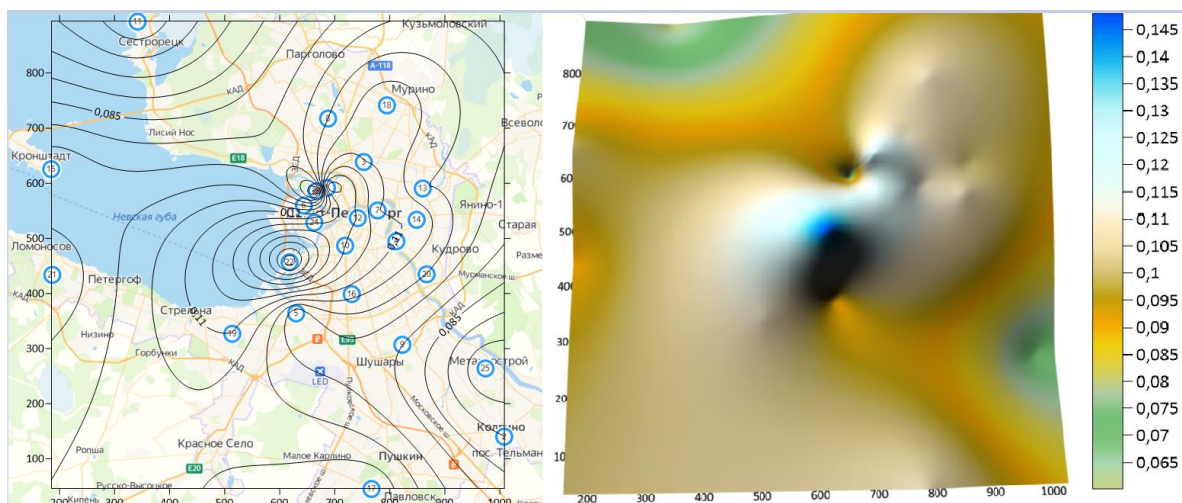


Рисунок 3.13, Пространственное распределение СО за июль 2021 года:

а) Изолинии; б) 3D изображение

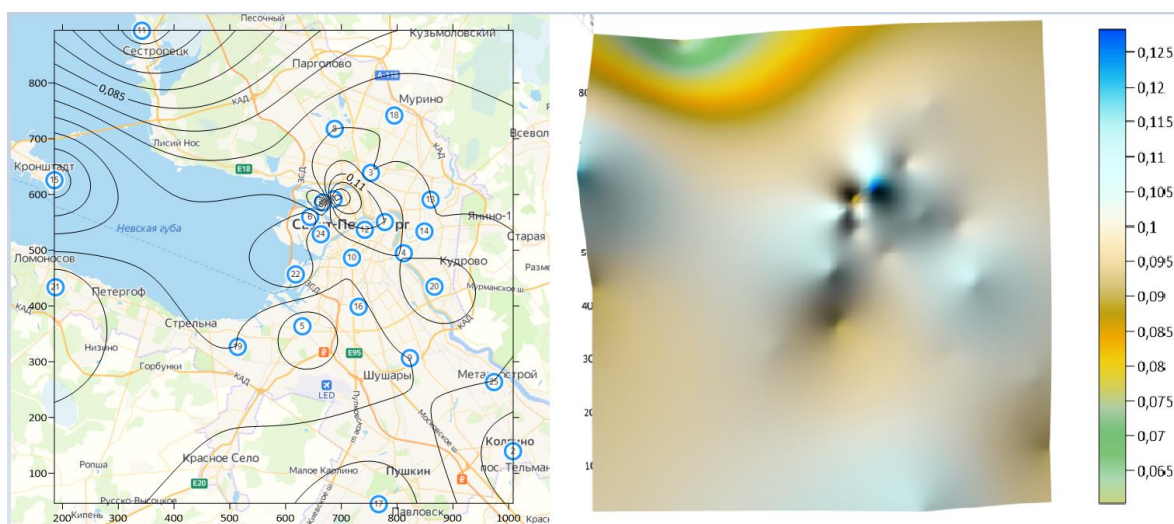


Рисунок 3.14, Пространственное распределение СО за август 2021 года:

а) Изолинии; б) 3D изображение

По данным с графиков можно сделать вывод о том, что ни в одном месяце концентрация СО не превышала ПДК_{сс}.

Значения концентрации оксида углерода зимой менялась в диапазоне от 0,05 ПДК_{сс} до 0,24 ПДК_{сс}.

В летний период значения концентрации изменялись от 0,06 ПДК_{сс} до 0,23 ПДК_{сс}.

Максимум в течение зимнего периода передвигался от улицы Пестеля, в центральном районе Санкт-Петербурга, в северо-западном направлении и в январе и феврале 2021 года сконцентрировался в Василеостровском районе, проспект Кима (станция №6).

В первый месяц летного периода максимум концентрации СО наблюдался на улице Ильмянинова, в Кронштадтском районе (станция №15), далее он перемещался на юго-восток до Кировского района, Канонерский остров (станция №22) и в последний месяц был зафиксирован в Петроградском районе, улица Профессора Попова (станция №1).

Наименьшее значение концентрации за весь зимний период было сконцентрировано на Тинькове переулке, Пушкинский район (станция №17).

В летний период минимальные значения концентрации перемещались с Красногвардейского района, Индустриальный проспект (станция №13), на юго-запад до Колпинского района (станция №2) и к концу лета наблюдался в г. Сестрорецк, Курортного района (станция №11).

В итоге можно сделать вывод о том, что по загрязнению воздуха оксидом углерода самым загрязненным месяцем зимнего периода является декабрь со средним значением 0,24 ПДК_{сс}.

В летний период самым загрязненным месяцем стал июнь со средним значением 0,23 ПДК_{сс}.

На рисунках 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20 представлены изолинии концентраций и 3D изображения распределения NO₂ за зимний и летний периоды:

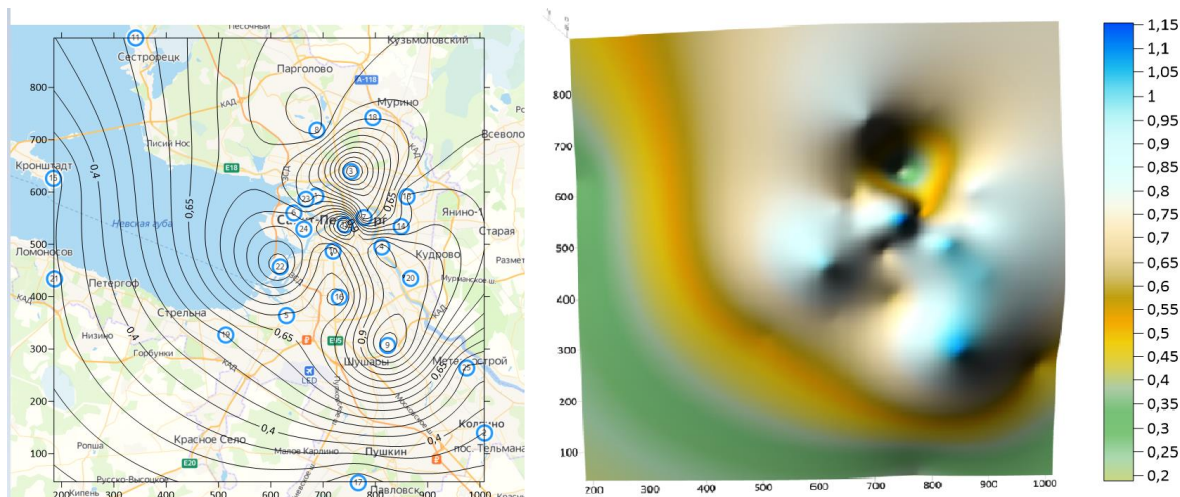


Рисунок 3.15, Пространственное распределение NO₂ за декабрь 2020 года:

а) Изолинии; б) 3D изображение

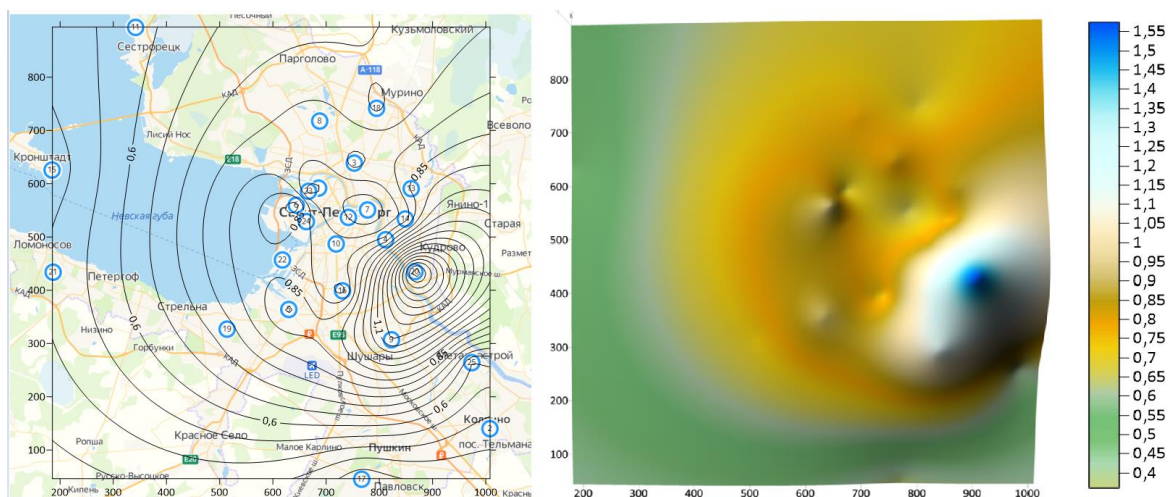


Рисунок 3.16, Пространственное распределение NO₂ за январь 2021 года:

а) Изолинии; б) 3D изображение

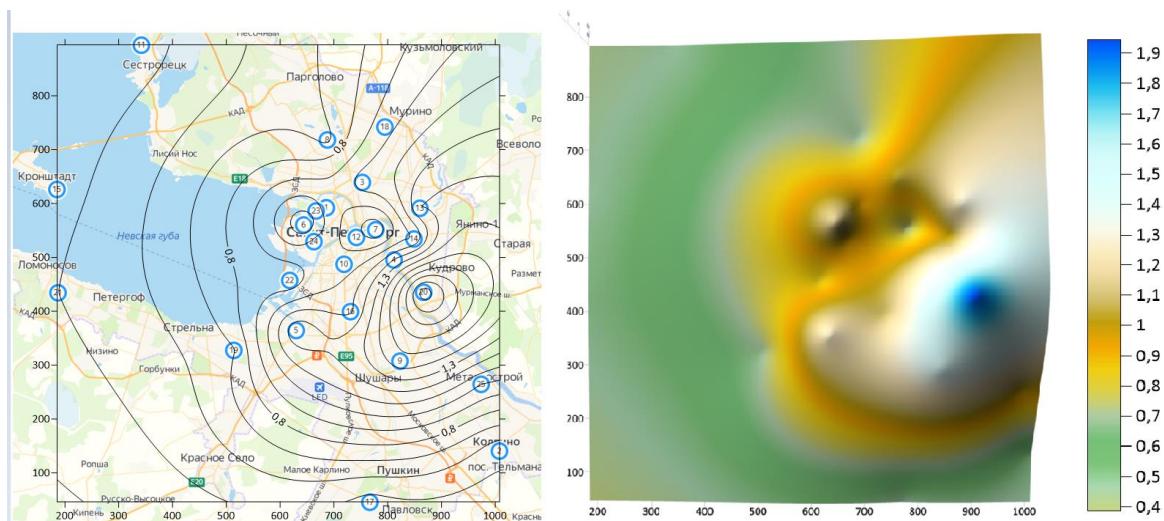


Рисунок 3.17, Пространственное распределение NO₂ за февраль 2021 года:

а) Изолинии; б) 3D изображение

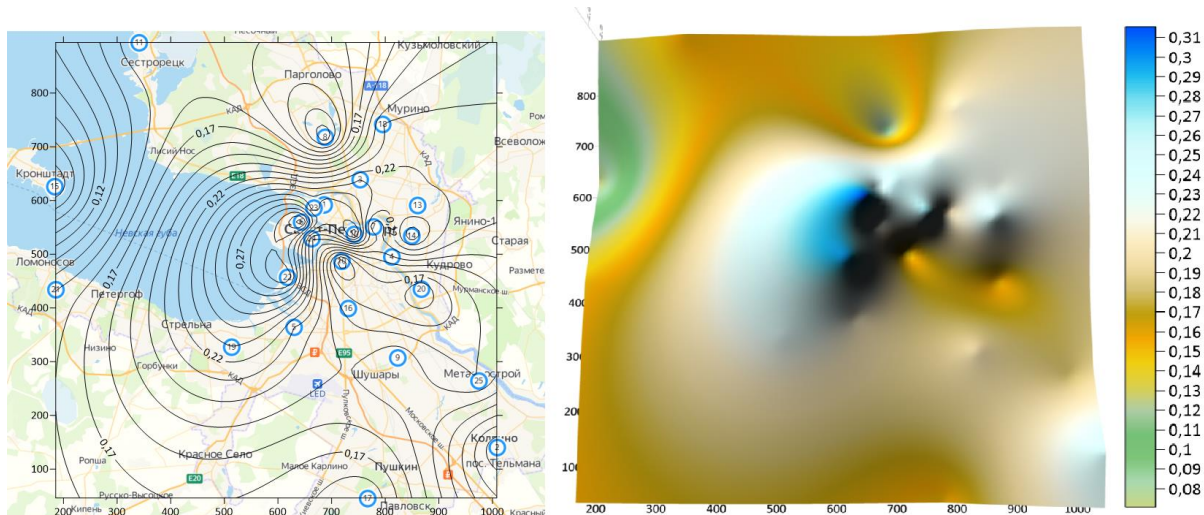


Рисунок 3.18, Пространственное распределение NO₂ за июнь 2021 года:

а) Изолинии; б) 3D изображение

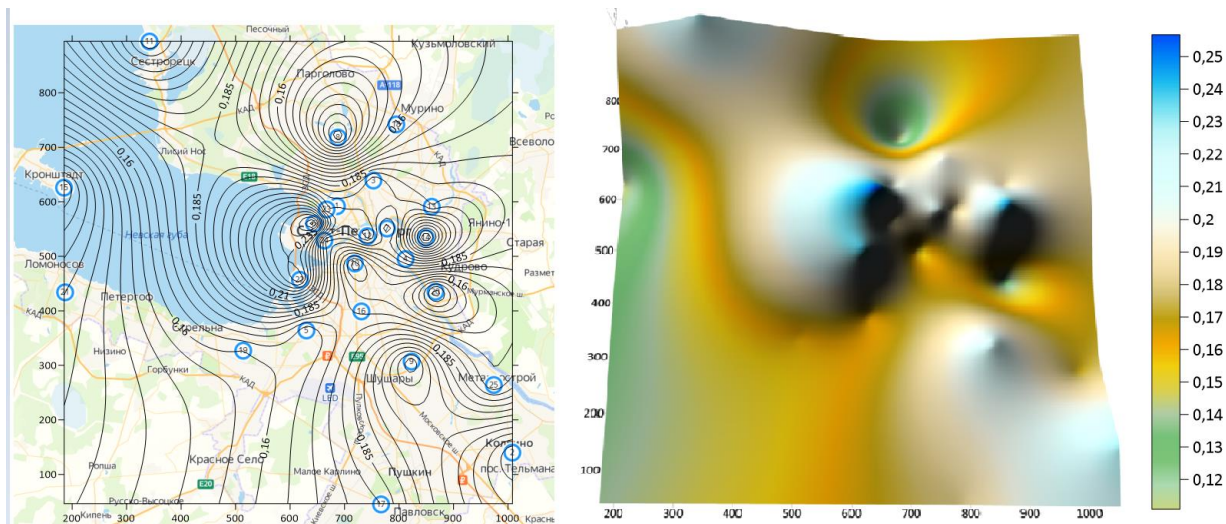


Рисунок 3.19, Пространственное распределение NO_2 за июль 2021 года:

а) Изолинии; б) 3D изображение

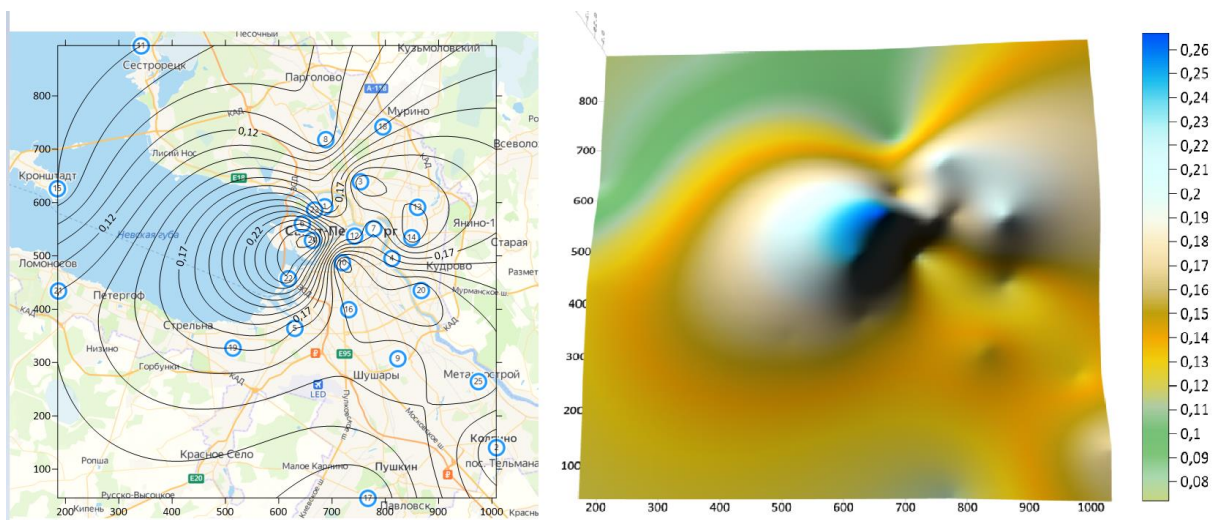


Рисунок 3.20, Пространственное распределение NO_2 за август 2021 года:

а) Изолинии; б) 3D изображение

Анализируя данные графики, можно смело заявить о том, что на протяжении всего зимнего периода значения концентрации диоксида азота превышало $\text{ПДК}_{\text{сс}}$, в отличие от всего летного периода.

Зимой значения концентрации изменялось в диапазоне от 0,18 $\text{ПДК}_{\text{сс}}$ до 1,97 $\text{ПДК}_{\text{сс}}$.

В летние месяцы значения концентрации менялись от 0,07 $\text{ПДК}_{\text{сс}}$ до 0,32 $\text{ПДК}_{\text{сс}}$.

Максимум в течение зимнего периода был сконцентрирован только в одном районе – Невском, улица Тельмана (станция №20).

В первые месяца летного периода максимум концентрации СО наблюдался на проспекте КИМа, в Василеостровском районе (станция №6), далее он перемещался на юго-восток и был зафиксирован на среднем проспекте Василевского острова (станция №24).

Наименьшее значение концентрации диоксида азота в первый месяц зимнего периода наблюдалось на улице Карбышева, Выборгский район (станция №3), далее на протяжении обоих месяцев центр с минимальными значениями концентраций диоксида азота сместился на юг до станции на Тинькове переулке в Пушкинском районе (станция №17).

В летний период минимальные значения были сконцентрированы в одном месте – Кронштадтский район, улица Ильмянинова (станция №15).

В итоге можно сделать вывод о том, что по загрязнению воздуха диоксидом азота самым загрязненным месяцем зимнего периода является февраль со средним значением 1,97 ПДК_{сс}.

В летний период самым загрязненным месяцем стал июнь со средним значением 0,32 ПДК_{сс}.

3.3 Выявление влияния метеорологических параметров на концентрации загрязняющих веществ

Обзор погоды за декабрь 2020 года:

В первой половине декабря погодные условия в Санкт-Петербурге формировались под влиянием северо-западной и западной периферий обширного, мощного, малоподвижного антициклона, охватывающего всю европейскую территорию России.

Преобладала облачная с прояснениями погода, без существенных осадков. Ветры южные, юго-восточные, от слабых до умеренных. Температура воздуха ночью была 0...-5 градусов, днем -3...+2 градуса. В период с 8 по 11 декабря

температурный фон немного понизился. Температура воздуха ночью была -5...-10 градусов, местами опускалась до -12...-14 градусов, дневная температура воздуха была в пределах -2...-7 градусов. Во второй половине месяца в формировании погодных условий стали преобладать циклонические процессы. Это привело к преобладанию пасмурной погоды с частыми осадками. Осадки выпадали в основном в виде мокрого снега и дождя, лишь в отдельные дни в виде снега. Температура воздуха ночью колебалась в пределах 0...-5 градусов, днем -3...+2 градуса. Только 27-28 декабря температура воздуха ночью опускалась до -4...-9 градусов, в восточном районе до -13...-18 градусов, дневная температура воздуха до -1...-5 градусов, в восточном районе - 8...-13 градусов.

В Санкт-Петербурге среднемесячная температура воздуха составила -0,8 градуса, что на 3,8 градуса выше климатической нормы. Месячная сумма осадков составила около 90% от климатической нормы.

Скорость ветра на протяжении всего месяца находилась в диапазоне от 2 до 5 м/с [17, 18].

Обзор погоды за январь 2021 года:

В первой и третьей декадах января погодные условия в Санкт-Петербурге формировались под преимущественным влиянием циклонических процессов.

Осадки наблюдались в основном в виде снега и мокрого снега, в отдельные дни в виде снега с дождями. Преобладающие температуры воздуха в первой декаде месяца ночью колебались от -1 до -6 градусов, дневные температуры воздуха составляли 0...-4 градуса. В начале третьей декады температура воздуха опускалась до -5...-10 градусов ночью, иногда до -15 градусов, днем была -3...-8 градусов. А с 23 по 30 января температура воздуха мало менялась от дня к ночи и колебалась от -1 до +3 градусов.

Большую часть второй декады месяца преобладающими были антициклонические воздействия. В период с 10 по 17 января в Санкт-Петербурге в этот период температура воздуха опускалась до -13...-18 градусов ночью и не превышала -9...-14 градусов днем. В Санкт-Петербурге среднемесячная температура воздуха составила -4,6 градуса, что на 3,2 градуса выше

климатической нормы. Месячная сумма осадков составила 75% от климатической нормы.

Скорость ветра на протяжении всего месяца находилась в диапазоне от 1 до 4 м/с [17, 18].

Обзор погоды за февраль 2021 года:

Большую часть февраля погодные условия в Санкт-Петербурге формировались под влиянием северных и западных периферий циклонических вихрей и полей высокого давления, связанных с Арктическим или Европейским антициклонами.

Такой характер атмосферной циркуляции обусловил преобладание морозной погоды. Переменные облачные дни чередовались с ненастными, в большинстве районов города шел небольшой снег.

В период с 8 по 23 февраля температура воздуха в Санкт-Петербурге часто опускалась до -14...-19 градусов ночью, иногда до -19...-24 градусов, дневная температура была -6... -11 градусов, иногда -12...-17 градусов. Ночью 18 февраля температура воздуха опустилась до -24,5 градусов. Эта ночь была самой холодной в феврале 2021 года.

С 20 по 23 февраля усилилась циклоническая деятельность над Северной Атлантикой. На Санкт-Петербург повлияла восточная периферия обширной атлантической циклонической системы. Прохождение связанных с этой системой атмосферных фронтов через наши районы вызвало выпадение значительного количества снега.

25 февраля резко потеплело. Снег сменился мокрым снегом и дождем. Температура воздуха повысилась ночью до 0...-5 градусов, днем до 0...+5 градусов.

По данным ОГМС из Санкт-Петербурга, расположенного в Петроградском районе, среднемесячная температура воздуха в Санкт-Петербурге составила -9,2 градуса, что на 2,3 градуса ниже климатической нормы. Месячное количество осадков составило 63 мм или 203% осадков от климатической нормы.

Скорость ветра на протяжении всего месяца находилась в диапазоне от 1 до 4 м/с.

Самым загрязненным зимнем месяцем стал февраль. На это повлиял среднемесячное значение температуры воздуха, которое находилось ниже климатической нормы [18].

Обзор погоды за июнь 2021 года:

На протяжении большей части июня погодные условия в Санкт-Петербурге формировались под влиянием антициклонических процессов. Наблюдалась сухая погода. Циклонические воздействия наблюдались только с 12 по 15 июня и с 24 по 30 июня. Осадки в эти периоды были кратковременными, обильными, часто сопровождалась грозами.

Во второй и третьей декадах июня преобладающие ночные температуры воздуха составили +12...+17 градусов. Преобладающие дневные температуры воздуха колебались в пределах +23...+28 градусов. В период с 19 по 23 июня в Санкт-Петербурге прогрев днем достигало +30...+35 градусов, ночью +16...+21 градус. А 23 июня, когда воздух прогрелся до 35,9 градусов, был побит абсолютный максимум июня.

По данным ОГМС Санкт-Петербурга, расположенного в Петроградском районе, среднемесячная температура воздуха в Санкт-Петербурге составила +21,4 градуса, что на 5,8 градуса выше нормы. Таким образом, июнь 2021 года в Санкт-Петербурге стал самым жарким за весь период инструментальных наблюдений. Месячная сумма осадков составила 22,1 мм или 38% осадков от климатической нормы.

Скорость ветра на протяжении всего месяца находилась в диапазоне от 0 до 3 м/с [18].

Обзор погоды за июль 2021 года:

В первой и второй декадах июля погодные условия в Санкт-Петербурге формировались под влиянием антициклонических процессов. Наблюдалась переменная облачность, преимущественно сухая и жаркая погода.

В первые дни месяца ночные температуры воздуха колебались в пределах +10...+15 градусов, дневные +24...+29 градусов. А в период с 6 по 18 июля воздух днем прогревался до +29...+34 градусов, а ночью температура воздуха составляла +15...+20 градусов.

Циклонические процессы активизировались в третьей декаде июля. 19-24 июля и 28-31 шли дожди, в основном проливного характера и прогремели грозы. Температура воздуха ночью +9...+14 градусов, днем +20...+25 градусов, лишь 26-28 июля воздух днем прогревался до +26...+31 градуса.

Среднемесячная температура воздуха составила +23,1 градуса, что на 5,4 градуса выше нормы. Месячная сумма осадков составила 48,8 мм или 62% осадков от климатической нормы.

Скорость ветра на протяжении всего месяца находилась в диапазоне от 2 до 5 м/с [18, 19].

Обзор погоды за август 2021 года:

В августе погодные условия в Санкт-Петербурге формировались под преимущественным влиянием циклонических процессов. Антициклонические эффекты были редкими и кратковременными.

Первая половина месяца характеризовалась частыми дождями, умеренными и сильными, нередко проливными. Преобладали ночные температуры +11...+16 градусов, дневные +17...+22 градуса, в отдельные дни воздух прогревался до +20...+25 градусов.

Во второй половине месяца дожди наблюдались практически ежедневно, но небольшие и умеренные. Ночные температуры воздуха находились в диапазоне +7...+12 градусов, отдельные ночи были немного теплее, а 29 и 31 августа температура воздуха опускалась до +3...+5 градусов. Дневная температура 16-21 августа были в пределах +17...+22 градуса, только 17 августа было дневное прогревание +22...+27 градусов, 23-27 августа температура воздуха опускалась до +12...+17 градусов, и только в последние дни месяца ненадолго возвращалось лето, и температура воздуха вновь поднималась до +17...+22 градусов.

По данным ОГМС из Санкт-Петербурга, расположенного в Петроградском районе, среднемесячная температура воздуха в Санкт-Петербурге составила +16,9 градуса, что на 0,7 градуса выше нормы. Месячная сумма осадков составила 134,5 мм или 166% осадков от климатической нормы.

Скорость ветра на протяжении всего месяца находилась в диапазоне от 2 до 5 м/с [18, 19].

Самым загрязненным летним месяцем стал июнь. Способствовало этому достаточно большое среднемесячное значение температуры воздуха в отличие от июля и августа. Также в июне скорость ветра была ниже, благодаря чему загрязняющие вещества скапливались в нижней части атмосферы. Кроме всего вышесказанного, можно смело утверждать о том, что дефицит осадков привел к тому, что июнь стал самым загрязненным месяцем летнего периода.

Заключение

Как и во всех мегаполисах, загрязнение воздуха является достаточно острой проблемой, не стал исключением и Санкт-Петербург. Уровень загрязнения атмосферы достаточно высокий. В основном этому способствуют различные промышленные предприятия и автомобильные дороги.

В данной работе был проведен анализ пространственного распределения загрязняющих веществ в Санкт-Петербурге и влияние на концентрации загрязняющих веществ метеорологических параметров. Сроком исследования стали 3 месяца зимнего периода 2020-2021 года (декабрь, январь, февраль) и 3 месяца летнего периода 2021 года (июнь, июль, август).

При использовании данных с автоматических станций мониторинга были составлены таблицы среднемесячных концентраций в атмосферном воздухе, построены диаграммы распределения концентраций оксида углерода, диоксида азота, диоксида серы, а также частиц пыли, размером 10 микрон, а также изолинии и 3D-графики пространственного распределения оксида углерода и диоксида азота.

На основании вышеперечисленных таблиц, диаграмм, изолиний пространственного распределения и 3D изображений можно сделать вывод о том, что самым загрязненным месяцем стал февраль 2021 года. Преимущественно, на это повлияло среднемесячное значение температуры, которое было ниже климатической нормы. Превышение ПДК_{сс} было зафиксировано на протяжении всего зимнего периода только одним веществом – диоксидом азота.

В летний период превышение ПДК_{сс} всех исследуемых загрязняющих веществ не наблюдалось.

Также следует отметить, что загрязняющие вещества в основном были сконцентрированы в центральном районе города, менее были загрязнены районы, находящиеся в отдалении от центрального района Санкт-Петербурга.

Это связано с тем, что станции с наибольшими концентрациями загрязняющих веществ находятся в непосредственной близости с заводами, промышленными предприятиями и автодорогами.

Количество предприятий и автолюбителей растет, это влияет на состояние окружающего воздуха. Таким образом, рекомендательные мероприятия по улучшению состояния воздуха:

- перемещение грузового транспорта только по дорогам, предназначенным для этой цели;
- использование менее токсичного топлива для автомобилей (природный газ, специальные добавки);
- трансформировать технологии существующих и вновь создаваемых компаний, тем самым организовав предприятия безотходного производства.

Список используемой литературы

1. Панин В.Ф. Конспект лекций по учебной дисциплине “Теоретические основы защиты окружающей среды” – Томск: ТПУ, 2009. – 115с.
2. Смола В.И. Диоксид серы в атмосфере: состояние, проблемы и решения. Часть 1 - М.: Полиграф сервис, 2017. - 515 с.
3. Гидрометцентр России [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://meteoinfo.ru/> (дата обращения 17.05.2022).
4. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг: учебное пособие / И.В. Якунина, Н.С. Попов. – Тамбов: Издательство Тамбовского государственного технического университета, 2009. – 188 с.
5. BBC NEWS [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.bbc.com/news> (дата обращения 17.05.2022).
6. Основы экологии и охрана окружающей среды/А. Г. Банников, А. А. Вакулин, А. К. Рустамов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Колос, 1999. — 304 с.
7. Крюкова С.В. Контроль загрязнения природной среды: анализ данных загрязнения. Лабораторный практикум. — СПб.: РГГМУ, 2015. — 46 с.
8. Морозов, А. Е. Метеорология и климатология: практикум / А. Е. Морозов, Н. И. Стародубцева; Минобрнауки России, Урал. гос. лесотехн. ун-т. — Екатеринбург, 2018. — 250 с.
9. Феллнербег Г., Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию: Пер. с нем. – М.: Мир, 1997. – 232 с.
10. Крупеев Н.Н. Экологический мониторинг: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. — М.: Маршрут, 2005. — 132 с.
11. Охрана окружающей среды: Учеб. для техн. спец. вузов С. В. Белов, Ф. А. Барбинов, А. Ф. Козьяков и др. Под ред. С. В. Белова. 2-е изд., испр. и доп. — М.: Высш. шк., 1991. - 319 с.

12. Волохина А.Т., Исследование запыленности воздуха в производственных помещениях и методов защиты от пыли. Методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплинам «Безопасность жизнедеятельности» и «Производственная санитария и гигиена труда». Под ред. Прусенко Б.Е. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2007. – 26 с.
13. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств: Учебник для вузов по специальности «Автоматизация и комплексная механизация химико-технологических процессов». — 3-е изд., перераб. и доп.—М.: Машиностроение, 1983. — 424 с.
14. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения 17.05.2022).
15. Экологический портал Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.infoeco.ru/> (дата обращения 17.05.2022).
16. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2020 году/ Под редакцией Д.С. Беяева, И.А. Серебрицкого – Ижевск.: ООО «ПРИНТ», 2021. – 253 с.
17. Погода и климат [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения 17.05.2022).
18. ФГБУ «Северо-западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.meteo.nw.ru/> (дата обращения 17.05.2022).
19. Gismeteo [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.gismeteo.ru/> (дата обращения 17.05.2022).