



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 «Анализ приземной концентрации озона в зимний период в Санкт-Петербурге»

Исполнитель Семенова Елизавета Александровна
(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

«27» мая 2022г.

Санкт-Петербург
2022

Содержание

Введение	2
1 Озон в атмосфере	5
1.1 Стратосферный и приземный озон	5
1.2 Предшественники озона	8
1.3 Источники приземного озона	10
1.4 Образование озона	11
1.5 Влияние превышения ПДК озона	14
1.5.1 Влияние на животных и растения	15
1.5.2 Влияние на здоровье человека	17
2 Контроль уровня озона.	18
2.1 Автоматические станции	18
2.2 Подходы к решению проблемы превышения концентрации озона	25
3 Анализ концентрации приземного озона за зимний период 2020-2021 гг.....	30
3.1 Описание географического положения объекта исследования	30
3.2 Исследование временного ряда концентрации приземного озона	37
3.3 Анализ полученных данных	39
Заключение	51
Список литературы	52
Приложение	55

Введение

В реалиях настоящего времени развитие промышленных предприятий, производящих всё необходимое, для поддержания комфортной жизни человечества, достигло невероятных успехов. Создание новых технологий добычи полезных ископаемых, открытия в области химического производства, рост автомобилестроения и т.д. – это является положительным эффектом прогресса в научно-технических отраслях производства. Отрицательным эффектом, к сожалению, является неизбежное загрязнение окружающей среды разнообразными вредными веществами. От выбросов страдают все многофункциональные единые оболочки Земли: гидросфера, литосфера, биосфера и атмосфера.

Негативные последствия большого количества примесей в атмосфере ощущают на себе все обитатели планеты. Этот факт не мог не обеспокоить ученых по всему миру. Вследствие заинтересованности данной темой создаются методы по снижению выбросов, пагубно влияющих на животных, растения и здоровье людей, а также разрабатываются способы защиты при концентрациях этих веществ, превышающих определенные нормы.

Однако далеко не каждый человек проинформирован о чрезвычайной токсичности некоторых первичных газов, то есть тех, что выбрасываются непосредственно из источника и о том, что они становятся предшественниками вторичных, не менее опасных. Вторичным газом является приземный озон, который включен в рейтинг самых загрязняющих веществ Всемирной организацией здравоохранения. В большинстве стран, включая Российскую Федерацию, каждый год фиксируется превышение норм концентрации приземного озона. Именно поэтому отслеживание и прогнозирование уровня приземного озона в атмосфере, а также его изменчивость являются актуальной задачей.

Целью работы является исследование временной изменчивости приземной концентрации озона в Приморском и Курортном районах города Санкт-Петербурга.

Задачи выпускной квалификационной работы поставлены исходя из цели работы:

1. Провести осреднение рядов концентрации загрязняющих веществ и данных метеорологических параметров.
2. Исследовать связь между загрязняющими веществами и метеорологическими параметрами посредством корреляционного анализа.
3. Проанализировать полученные результаты и сделать соответствующие выводы.

Объектом исследования являются данные концентраций загрязняющих веществ, полученные со станций автоматического мониторинга воздуха №8 и №11, расположенных на северо-западе г. Санкт-Петербурга и в г. Сестрорецк соответственно.

Предметом исследования являются концентрации озона и основных загрязняющих веществ (CO, NO, NO₂), а также метеорологические параметры в зимний период 2020-2021 года.

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

В первой главе рассказывается о способах образования приземного озона и о его негативном влиянии на окружающую среду, в частности на здоровье человека.

Во второй главе рассматриваются методы контроля за уровнем озона в атмосфере, а также меры защиты при увеличении концентраций.

В третьей главе представлены результаты исследования и анализ временных рядов концентрации озона.

В Заключение выпускной квалификационной работы сделаны основные выводы по результатам исследования.

1 Озон в атмосфере

1.1 Стратосферный и приземный озон

Атмосфера - это оболочка, третьей по счету от Солнца планеты – Земли. Удерживаемая Землей посредством силы тяжести и принимающая участие в ее вращении вокруг своей оси за 24 часа и вокруг Солнца на протяжении 365 дней, эта оболочка является результатом смешения разных газов, водяных паров, аэрозолей, малых газовых составляющих и т.д. С увеличением высоты атмосфера плавно переходит в космическое пространство[1].

Выше 100 км атмосфера в основном состоит из двух главных газов: кислорода и азота. На высоте 110 - 120 км большая часть кислорода является атомарным. Такой состав сохраняется примерно до высоты 400-600 км. Выше в атмосфере начинает преобладать гелий. Образующаяся «гелиевая корона» Земли простирается до высоты 1600 км, а выше 2000 - 3000 км преобладает водород[2].

Особый интерес в плане изучения химического состава воздуха представляет тропосфера и стратосфера, так как находятся в непосредственной близости с подстилающей поверхностью и больше подвержены влиянию физических процессов происходящих в данных слоях, а также антропогенному воздействию. В связи с последним, остро стоит вопрос о загрязнении воздуха, вследствие человеческой деятельности. Несмотря на то, что природные источники выделяют загрязняющих веществ больше, самым опасным для человека является именно антропогенное поступление веществ в атмосферу. Это можно объяснить тем, что загрязняющие вещества антропогенного происхождения выделяются и накапливаются именно там, где и обитает человек. Это специфические загрязняющие вещества, которые не существовали ранее в обычных природных условиях. В настоящее время они являются частью атмосферы[3].

Некоторые примеси выбрасываемых газов могут вызывать отравления (NO_2 , SO_2 , NO , CO , O_3 и др.), а другие не быть ядовитыми (CO_2 и H_2O). Газообразные вещества, имеющие в своем строении три атома (H_2O , NO_2 , O_3 , SO_2 и особенно CO_2) являются «парниковыми газами», так как характеризуются выборочной поглотительной способностью в интервале излучения с длиной волны 0,74-1000 мкм и приводят к тому, что увеличивается температура нижних слоев атмосферы.

Примеси, попадая в атмосферу, оказывают сложное физико-химическое и биологическое воздействие на живые организмы (и прежде всего на человека), уровень которого зависит от их концентрации в воздухе.

Рассмотрим некоторые из газовых выбросов.

Углекислый газ (CO_2). Он образуется в результате сжигания некоторых видов топлива, таких как уголь, нефть, природный газ, искусственного и синтетического топлива и древесины. Это основной элемент из трехатомных газов, который ведет к «парниковому эффекту». В процессе неполного сгорания топлива выделяется также оксид углерода CO , являющийся токсичным газом, вредно влияющим на сердечно-сосудистую систему человека.

Сернистый ангидрид SO_2 – один из наиболее токсичных газообразных выбросов, составляющий более 90% выбросов сернистых соединений. Большое количество серы содержат уголь и тяжелые виды нефтепродуктов. Диоксид серы влияет на окисление, разрушает материалы, вредно влияет на здоровье человека[4].

Оксиды азота (NO_x) образуются при сжигании любого вида топлива, содержащих азотные соединения, а также и не содержащих, в результате окисления азота воздуха. Суммарное количество оксидов азота приводят к NO_2 . Оксиды азота вредно влияют на здоровье человека, способствуют образованию парникового эффекта и разрушению озонового слоя.

Метан (CH_4) образуется в результате разложения органических веществ, например в сельском хозяйстве, при угледобыче, в процессе нефте- и

газодобычи, сжигания биомассы. Метан также значительно способствует возникновению парникового эффекта.

Соединения CFC. Chlorinated Flour Carbons, или фреоны, относятся к отдельным малым газообразным примесям атмосферы. Они возникают в основном при производстве отдельных теплоизоляционных материалов, пенопласта, выделяются из хладагентов холодильников и морозильников. Фреоны являются основными разрушителями озонового слоя атмосферы.

Аммиак (NH_3). Образуется только в сельскохозяйственном производстве. Оказывает интенсифицирующее и нейтрализующее действие на окисление. Воздействует на нарушение баланса примыкающих морей, озер, рек из-за эвтрофикации.

Озон (O_3). Образуется на больших высотах (порядка 30 км) при взаимодействии кислорода и излучения Солнца, а также на низких высотах в результате фотохимических реакций (в частности, при взаимодействии оксидов азота и гидрокарбонатов)[4].

Озон может быть «хорошим» или «плохим», в зависимости от того, где он находится. «Хороший» озон это так называемый стратосферный озон. Естественным образом он встречается в верхних слоях атмосферы, где образует слой, защищающий живые организмы от вредных солнечных ультрафиолетовых лучей. Этот полезный озон подвержен частичному разрушению химическими веществами, что приводит к образованию «озоновых дыр».

«Плохим» является приземный озон. Он представляет собой вредный загрязнитель воздуха, первого класса опасности, из-за его воздействия на людей и окружающую среду, а также из-за того, что является основным компонентом фотохимического смога[5].

До сих пор то, как образуется, разрушается, от чего могут появляться всплески концентраций тропосферного озона плохо изучено, даже не смотря на множество проведенных исследований на эту тему[6].

1.2 Предшественники озона

Загрязнители воздуха делятся на два типа: первичные и вторичные. Первичные загрязнители выбрасываются прямо из источника, а вторичные образуются, когда первичные загрязняющие вещества вступают в реакцию в атмосфере.

Озон называют вторичным загрязнителем, так как он образуется в результате сложных фотохимических реакций. Эти реакции осуществляются с участием ультрафиолетового солнечного излучения и загрязнителей атмосферы (молекул-предшественников: оксиды углерода, диоксид серы, оксиды азота, углеводороды), образуемые, в основном, при сгорании органического топлива[7].

Оксид углерода (или угарный газ) это бесцветный газ, без запаха и вкуса. Его плотность меньше, чем плотность воздуха. Химическая формула — CO. Окись образуется при недостатке количества кислорода для получения диоксида углерода (CO₂). При отравлении чувствуется тошнота, рвота, головокружение, усталость и чувство слабости. Неврологические симптомы включают спутанность сознания, нарушение зрения, потеря сознания и судороги[7].

Диоксид углерода (углекислый газ) - бесцветный газ, без запаха. Химическая формула этого газа - CO₂. Твёрдый углекислый газ называют сухим льдом. Этот газ является удушающим и не классифицируется как токсичное или вредное вещество.

Диоксид серы (сернистый газ) SO₂ – газ с характерным запахом. Опасность представляют промышленные предприятия, которые являются постоянным источником выбросов данного газа. Вдыхание сернистого газа приводит к снижению работоспособности легких. К симптомам можно отнести удушье, тошноту и рвота[7].

Оксид азота представляет собой бесцветный газ, химическая формула NO. Разрушает озоновый слой, взаимодействуя со стратосферным озоном.

Опасность этого газа состоит в том, что он образует метгемоглобин, который в свою очередь может вызвать смерть.

Диоксид азота - газ, имеющий резкий и едкий запах. Химическая формула - NO_2 . Это токсичный газ, воздействие которого может вызвать многие заболевания, поражающие дыхательные пути. Симптомы отравления диоксидом азота: головокружение, боль в носу и горле, бронхит, пневмония, а также судороги[7].

1.3 Источники приземного озона

Поскольку приземный озон это вторичный загрязнитель, то его источником можно считать источники первичных загрязнителей. Также увеличение концентрации озона происходит за счет прихода из верхних слоев тропосферы.

Рассмотрим источники первичных загрязнителей.

Тепловые станции. При сжигании топлива в атмосферу выделяется огромное количество дыма, который содержит продукты полного и неполного сгорания. Использование установками мазута, снижает выбросы золы, однако почти не снижает выделение сернистого газа и оксидов азота. Из-за невысоких дымовых труб вредные вещества в больших концентрациях распространяются вблизи жилищных отопительных систем[8].

Выхлопные газы автомобилей. Многомиллионное количество автомобилей, сжигающее громадное количество смеси углеводородов, а также индивидуальные химические соединения, получаемые из нефти[8].

Концентрация озона повышается и за счет влияния верхних слоев атмосферы. Стратосферный озон попадает в тропосферу за счет стратосферно-тропосферного обмена.

Известно, что глубокие стратосферные вторжения в тропосферу зачастую приводят к увеличению концентраций озона. На высоте химической тропопаузы, которая располагается почти на 700 метров ниже термической тропопаузы, отношение смеси озона составляет около 100 млрд^{-1} . Поток озона, который определяется вертикальным градиентом его отношения смеси, направлен сверху вниз, поэтому можно заключить, что увеличение вертикального перемешивания приводит к пополнению озона в нижних слоях тропосферы[9].

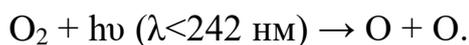
1.4 Образование озона

Озон в атмосфере появляется в результате фотохимических реакций, которые происходят как в стратосфере, так и в тропосфере. Естественно молекула озона в атмосфере образуется только при взаимодействии между атомом и молекулой кислорода:



где М – какая-либо третья молекула[9].

Если молекула кислорода стабильна, в таком случае атом кислорода очень активно вступает в реакции и время жизни частицы в атмосфере крайне коротко. В стратосфере атомарный озон образуется в результате реакции диссоциации молекулы кислорода:

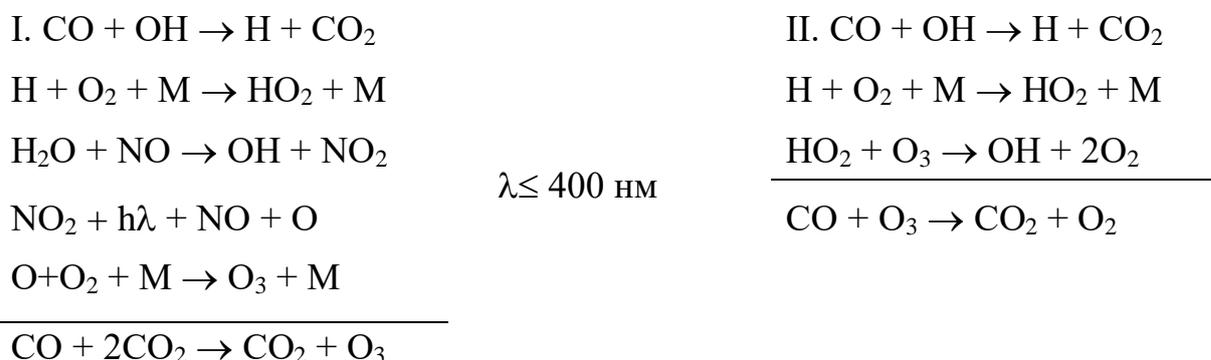


Главным образом образование озона происходит на высотах выше 30 км, так как лучистая энергия с длиной волны $\lambda < 242$ нм ниже почти никак не появляется[9].

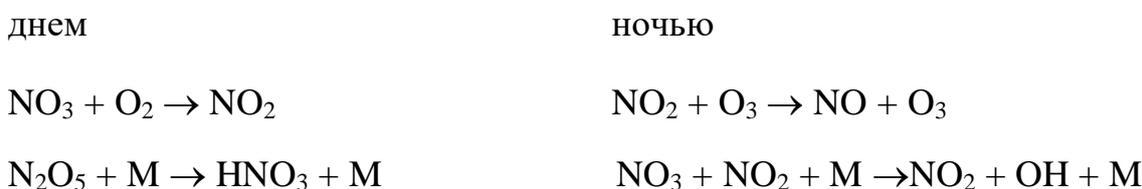
Сегодняшний этап развития фотохимической теории образования озона разделяется на два пути. Первый путь, связан с появлением озоновых дыр и посвящён гибели стратосферного озона за счет разрушающих химических веществ в ходе неоднородных реакций на частицах полярных облаков. Второй – тропосферная фотохимия – стремительно развивающаяся после высказывания суждений о больших концентрациях ОН и НО₂ в тропосфере при участии солнечного света, и после того, как были разработаны механизмы окисления углеводородов в присутствии NO_x, приводящие к образованию озона в загрязненном воздухе. Опираясь на то, что расписано выше и изложено вполне объемно и доступно, можно весьма кратко изложить нынешнюю фотохимию тропосферного озона.

Вступлением в фотохимические процессы в тропосфере можно назвать фотолиз озона. Эта реакция приводит к образованию гидроксила в присутствии водяного пара[10].

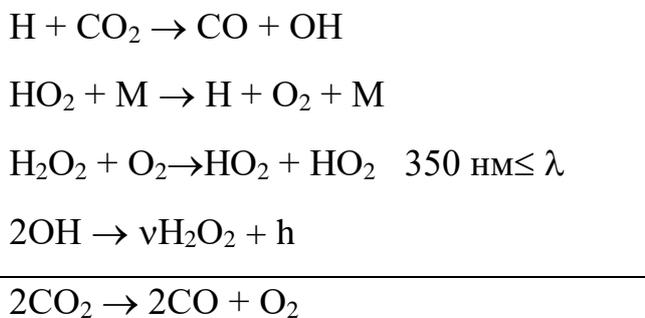
Учитывая концентрацию в атмосфере оксида азота то, как будут образовываться вещества, в том числе и CO, опираясь на теорию, вытекающих друг из друга, реакций Н.Н. Семенова, может пойти по двум путям:



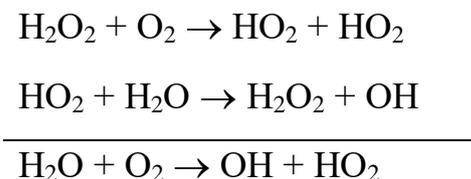
Образование добавочного озона превращает NO в другие окислы азота, пройдя первый цикл:



Часть взаимодействия должна протекать лишь в присутствии NO₂, который в свою очередь ведет к образованию H₂O₂. Происходит это так:



Далее H₂O₂ участвует в каталитической реакции:



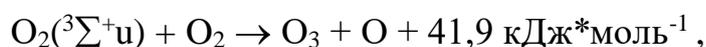
При условии того, что атмосфера содержит лишь неорганические газы, в фотохимических реакциях соблюдался бы баланс NO ≈ O₃. Но

воспроизведению такого баланса мешает присутствие в ней углеводородов естественного и антропогенного происхождения[10].

Так, при взаимодействии метана с кислородом важным фактором является то, что при получении двух молекул O_3 в одно и то же время появляются такие вещества, как OH , HO_2 , NO и NO_2 и выступают в роли катализаторов для последующих циклов.

Помимо такого способа образования озона есть и прочие, однако менее эффективные. К примеру, образование озона за счет электрических явлений. Взаимосвязь озона и газовых явлений ученые обнаружили еще в минувшем столетии. Согласно сформировавшимся взглядам появление озона в тропосфере может осуществляться под воздействием электрических разрядов двух видов: тихих (коронных) и грозовых (молний) [10].

В результате разряда молний создается обширный диапазон электромагнитных излучений, в том числе ультрафиолетовых. При $\lambda \leq 250$ нм могут сформироваться возбужденные молекулы кислорода в состоянии $O_2(^3\Sigma^+u)$, которые далее вступают в реакцию



что ведет к образованию озона:



Главным источником является тихий разряд, так как концентрация озона увеличивается задолго до грозы. В течение примерно 180 минут перед грозой в приземном слое образуется в среднем 0,03 мкг/м³ озона. Из-за того, что существует огромная вероятность разрушения озона в приземном слое, такой процесс является важным лишь местно, а значит нет смысла включать его в общий баланс тропосферного озона[10].

1.5 Влияние превышения ПДК озона

Характерной чертой нормирования качества атмосферного воздуха считается взаимосвязь влияния примесей загрязняющих элементов на здоровье людей от значения их концентраций, а также от времени, на протяжении которого человек вдыхает данный воздух. В России, также как и во всем мире, установлены 2 норматива:

- норматив, который рассчитывается на небольшой период влияния загрязняющих веществ. Такой норматив называется «предельно допустимые максимально – разовые концентрации»
- норматив, который рассчитывается на более длительный период действия (8 часов, сутки, по некоторым веществам год). В Российской Федерации этот норматив вводится для суток и называется «предельно допустимые среднесуточные концентрации».

ПДК – предельная допустимая концентрация загрязняющего вещества в воздухе – количество вещества, не оказывающее в течение всей жизни прямого или косвенного негативного действия на население, не снижающая способности человека к работе, не портящая его самочувствия и санитарно-бытовых обстоятельств существования. Величины ПДК представлены в мг/м³ (ГН 2.1.6.695-98).

ПДК_{МР} – предельно допустимая максимальная разовая концентрация загрязняющего вещества в воздухе, мг/м³. Эта концентрация при вдыхании в течение 20–30 мин не должна вызывать бессознательных реакций в организме человека.

ПДК_{СС} – предельно допустимая среднесуточная концентрация химического вещества в воздухе, мг/м³. Эта концентрация не должна оказывать на человека какого-либо вредного воздействия при продолжительном вдыхании, примерно в течение пары лет[11].

В повышенных концентрациях ОЗ оказывает пагубное влияние на здоровье человека, животных, негативно сказывается на росте и других жизненно важных процессах растений.

1.5.1 Влияние на животных и растения

Озон – сильный окислитель, который вызывает повреждения различных структур живой системы и подавляет процессы жизнедеятельности (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Блок-схема реакции организма на воздействие озона

Такое подавление можно назвать двояким: оно приводит к ухудшению воспроизводства разнообразных механизмов, которые поддерживают процесс жизнедеятельности, но в то же время, исходя из степени и типа повреждений, может абсолютно выключать данные механизмы из процессов обмена. Следовательно, спад способности к жизни по причине воздействия озона это ступенчатая функция, обусловленная общей физиологической реакцией организма[12].

Животные. Известно, что высокие концентрации загрязняющих веществ влияют на организмы, населяющие планету[13].

Проведение множественных опытов доказали негативные последствия как при длительном вдыхании, так и врожденные отклонения. Сильно страдают органы дыхания. Появляется отек легких, вследствие этого дыхание

затрудняется. Происходит кислородное голодание, которое влечет за собой еще более серьезные последствия[13].

Растения. Повышение содержания озона в воздухе может влиять как прямо, так и косвенно на наземные растения. Граничные концентрации озона для растительности следующие: 40 мкг/м³ при 28-часовой экспозиции, 59 мкг/м³ при 4-часовой экспозиции и 400 мкг/м³ при 1-часовой экспозиции. Эти порции озона приводят к гибели листовой. Начальное воздействие начинается из-за химического реагирования озона с растительным материалом. Итогом данного воздействия может быть изменение окраски и обесцвечивание участка, вступившего в реакцию с O₃, а также его высыхание. Пагубное воздействие озона на флору обнаруживается моментально после контакта газов с растительностью. Морфологическое изменение листьев и хвои становится сигналом того, происходит летальное повреждение клеток, а это в свою очередь приводит к потере активности материала растения, попавшего под негативное влияние озона. В следствии вышесказанного не исключается и гибель растения[13].

Под действием озона практически моментально снижается содержания АТФ. Это может быть связано с нарушением ионного баланса[14].

Озон оказывает также пагубное задерживающее воздействие на процесс фиксации CO₂ [15].

Самым главным последствием влияния озона, как отдельно, так и в вместе с оксидами азота и серы, может быть небывалое сокращение урожайности культур сельского хозяйства. В Европе вред от увеличенного озонового фона для пшеницы в 1993 г. составил 2065 млн, а для ржи 223 млн; суммарный ущерб 2288 млн долларов США. И это лишь малая часть ущерба. Позднее появились более точные оценки, которые дают значения от 1,89 до 3,3 трлн долларов каждый год. Ущерб, принесенный экономике (1993 г.) при поражении пшеницы в России составил 149 млн долларов США[16].

1.5.2 Влияние на здоровье человека

При отравлении озоном, в первую очередь, под негативное влияние попадают органы дыхания. Это проявляется першением в горле вплоть до отека легких, смотря какая концентрация воздействует и каков период этого воздействия. Также фиксируется раздражение глаз, сильная головная боль, чувство сжатия в груди, головокружение, снижение артериального давления, расширение капилляров. Распознавание запаха, исходя из разных источников, колеблется от 0,0004 до 0,015— 0,98 мкг/л. При влиянии озона на протяжении 1—2 ч концентрацией 0,0004—0,002 мг/л возникает сухость в ротовой полости, рассеянность внимания, боли в грудном отделе позвоночника. Ночью по истечении опыта возникала бессонница, чуть позже кашель; плохое самочувствие — в течение 2 недель. Когда такие же концентрации воздействуют на человека три часа, то ухудшается зрение. Раздражение слизистых возникает при 0,0002—0,001 мг/л. При вдыхании 0,002—0,02 мг/л наблюдается учащение пульса, оцепенение, снижение сердечной деятельности, продолжительные боли в теле. Если вдыхать озон концентрацией 0,008—0,009 мг/л на протяжении нескольких часов возникает отечность легких. Негативное влияние O_3 увеличивается при физических нагрузках на организм человека[13].

2 Контроль уровня озона.

2.1 Автоматические станции

Для отслеживания значений концентрации различных загрязняющих воздух и пагубно влияющих на окружающую среду, в том числе и на здоровье человека, веществ используются различные по свойствам и методам приборы.

Существуют контактные методы контроля за состоянием газового состояния атмосферы и они выражены базовыми методами анализа и новыми методами приборного анализа. Деление контактных методов можно рассмотреть на рис 2.1.



Рисунок 2.1 – Структура контактных методов

Контактные методы контроля за состоянием природной среды используются вместе с дистанционными, которые основаны на базе двух свойств: осуществлять взаимодействия с контролируемым объектом и переносить полученную информацию к датчику. Для упрощения задачи информирования о состоянии воздуха населения и потребителей отдельных отраслей экономики, зависящих от уровня концентраций примесей газов, используют автоматизированные системы мониторинга (АСМ)[17].

Большинство АСМ состоят из определенного набора измерителей, например, АСМ в г. Санкт-Петербурге состоят из двадцати двух стационарных

станции, двух автоматических метеостанции, двух передвижных лабораторий, передвижных метрологических и технических лабораторий, групп технического и метрологического обслуживания измерительных средств, а также центра сбора данных и управления работой станций. Измерения производятся каждые 20 минут. Полученная информация по каналам связи поступает на сервер для хранения и последующей обработки. Передвижные лаборатории дают возможность производить наблюдения загрязнения воздуха в любом необходимом месте, на транспортных путях, вблизи от источников загрязнения или жилых домов. Данные, которые были получены вследствие постоянного отслеживания, передаются в Комитет по природопользованию для анализа и истолковывания средствами программного комплекса Airviro и государственной информационной системы Экологический паспорт Санкт-Петербурга. Информация о качестве атмосферного воздуха доступна на странице Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности официального портала Администрации Санкт-Петербурга и городском экологическом портале. АСМ работают без перерывов и позволяют регулярно получать оперативные данные о концентрациях главных примесей, загрязняющих атмосферный воздух[18].

В настоящее время приборы, входящие в состав АСМ и фиксирующие содержание тропосферного озона в воздухе, основаны лишь на каком-то определенном физическом свойстве, либо на особой химической реакции. Преобладающими являются хемилюминесценция (то есть, свечение при протекании химической реакции), ультрафиолетовое поглощение света, электрохимия и дифференциальная оптическая абсорбционная спектрометрия (при получении спектра один спектр вычитается из другого).

Одними из самых часто используемых газоанализаторов в нынешних системах отслеживания являются те, что базируются на хемилюминесценции и поглощении УФ - излучения озоном. Из-за того, что в воздухе с озоном фиксируются и другие загрязняющие газы и взвешенные частицы разного размера, которые могут влиять на показания приборов, от выбранного

метода измерения зависят его точность, то есть достоверность полученных заключений. Хемилюминесцентный метод это один из самых популярных методов измерения ОЗ в атмосфере. Его достоинствами являются высокая точность, короткое время производства измерений, оперативность. Вследствие его удобной приборной производительности данный метод используется в условиях лаборатории, на борту самолёта, аэростата, ракеты, в приземном мониторинге озона[19].

Для наглядности достоинств использования хемилюминесцентного метода, рассмотрим газоанализатор озона 3.02П-А, основанный на данном методе (Рис. 2.2). Этот прибор имеет параметры чувствительности, селективности, выборочности и надёжности, которые нужны для определения содержания озона в приземной атмосфере.



Рисунок 2.2 – Вид газоанализатора озона 3.02П-А

Технические характеристики данного газоанализатора озона представлены в таблице 2.

Таблица 2. Технические характеристики прибора 3.03П-А.

Диапазон измеряемых концентраций озона	0–500 мкг/м ³
Номинальная цена единицы наименьшего разряда индикатора	1 мкг/м ³
Предел основной погрешности измерений: приведенной основной	± 20% ± 20%
Выходной сигнал аналоговый цифровой	4–20 мА или 0–5,0 мА RS-232
Габариты	482×405×132 мм
Вес, не более	8 кг
Напряжение питания	220 В, 50 Гц

Газоанализатор 3.02П-А, портативный механизм для измерения микроконцентраций озона в тропосфере (приземный слой) и в воздухе рабочих помещений, может использоваться в составе передвижных лабораторий контроля загрязнений атмосферы, на станциях фоновоего мониторинга, в экспедиционных условиях. В настоящее время это основной сетевой прибор, который применяется Росгидрометом в составе автоматических станций контроля загрязнения атмосферного воздуха[19].

Схема составных частей анализатора приведена на рис. 2.3.

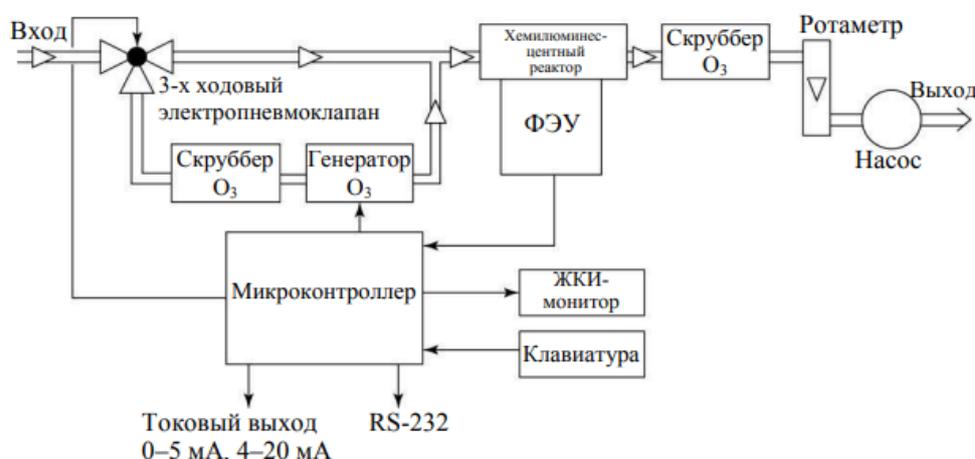


Рисунок 2.3 – Схема строения прибора 3.02П-А

Особенностью, которая отличает этот газоанализатор от других можно назвать четкую температурную стабилизацию фотореактора калибратора озона, которая гарантирует нужные измерительные параметры. В основу его работы положен эффект различной хемилюминесценции, которая возникает в процессе реакции озона с веществами, входящими в состав датчика. Эта реакция сопровождается выделением тепла. Процесс сравнения с эталоном происходит между сигналами, которые получаются от базовой смеси газов, создаваемой в калибраторе. Средняя мощность свечения, взаимно зависящая от концентрации озона, при фиксации изменяется, превращаясь в цифровой сигнал, который выносится на монитор анализатора. Проба газа, подверженная анализу, попадает в реактор под действием встроенного микронасоса[19].

На основе газоанализатора 3.02П-А разрабатываются автоматизированные комплексы для мониторинга озона, его предшественников и метеопараметров. Примером служит комплекс, созданный в 2005 г. Котельниковым С.Н, научным сотрудником Отдела экологических и медицинских проблем Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН и его коллегой Степановым Е.В профессором, заведующим отделом экологических и медицинских проблем Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН. Схема комплекса приведена на рис. 2.4.

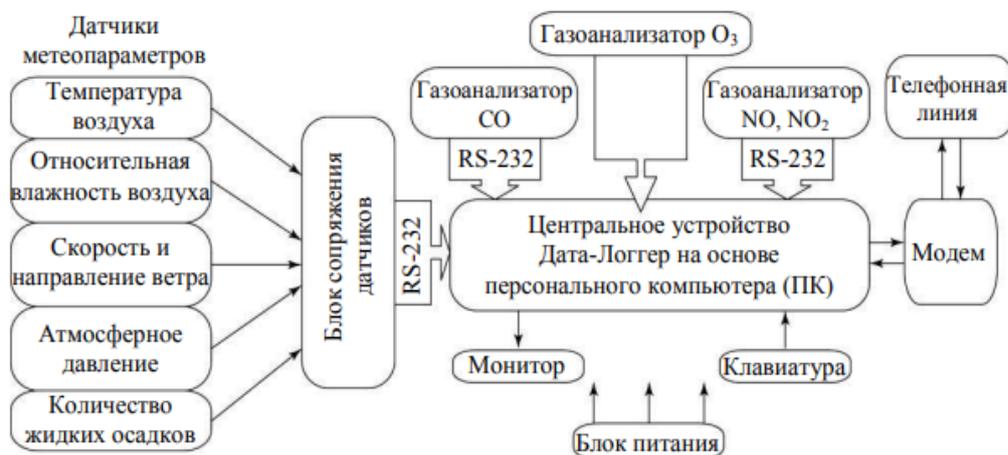


Рисунок 2.4 – Блок-схема автоматизированного комплекса

Он включает в себя подсистемы:

1. измерения, сбора и передачи метеорологической информации;
2. измерения и передачи данных концентраций озона, оксида углерода и оксидов азота;
3. сбора, обработки, визуализации, хранения и передачи информации о концентрациях озона, оксида углерода, оксидов азота и физических параметров атмосферы;

Подсистема (1) была создана и разработана на базе автоматической метеостанции типа Weather Monitor II. Подсистема (2) устроена с помощью газоанализаторов озона З.02П-А, оксида углерода К-100, оксидов азота Р-310 (1 и 2 подсистемы выпущены ЗАО «ОПТЭК»). В этом комплексе для соединения частей были использованы интерфейсы RS-232. С их помощью информация передается бит за битом. Применяется однопроводная линия. Обмен в обе стороны осуществлялся с использованием трехпроводной линии. Это увеличило помехоустойчивость передачи данных, вследствие устранения воздействия различных информационных линий друг на друга. Подсистема (3) была разработана на основе персонального компьютера (ПК). В состав этой подсистемы, дополнительно к стандартной комплектации ПК, входили платы расширителей СОМ-портов, внутренний или внешний модем, сетевая карта, программное обеспечение[20].

Программа по запросу потребителя информации выполняет обработку полученных измерений, фиксирует итоги в базу данных, чертит и представляет визуально текущий график значений, кроме того выполняет множество других важных и нужных действий.

Главные расчетные параметры измерительных каналов описанного комплекса представлены в табл. 3 и 4.

Довольно высокие расчетные характеристики и характеристики использования описанного выше автоматического комплекса, способность к использованию в мобильном варианте позволяют проводить длительные одновременные определения газов и метеорологических характеристик

атмосферы каждую минуту, а также изучать зависимость образования и разрушения озона от атмосферных параметров, его предшественников и т.д.[20].

Таблица 3. Измеряемые параметры созданного комплекса

Параметры	O ₃ , мкг/м ³	NO, NO ₂ , мкг/м ³	CO, мг/м ³
Диапазон измеряемых концентраций	0–500	0–1000	0–50
Номинальная цена единицы наименьшего разряда индикатора	1	1	0,01
Предел основной погрешности измерений:			
приведенной	±20% (0–30)	25% (0–80)	± 20% (0–3)
основной	±20% (30–500)	25% (80–1000)	± 20% (3–50)

Таблица 4. Характеристики датчиков метеорологических параметров

1. Температура	
Измеряемый диапазон:	
внутренний	от –20 до +60°С
внешний	от –45 до +60°С
Абсолютная погрешность	± 0,5°С
Разрешение	0,1°С
2. Относительная влажность	
Измеряемый диапазон:	
внутренний	10–90%
внешний	0–100%
Разрешение	1%
Абсолютная погрешность	±3%
3. Давление воздуха	
Измеряемый диапазон	660–880 мм рт. ст.
Абсолютная погрешность	±1,3 мм
Разрешение	0,1 мм
4. Скорость ветра	
Измеряемый диапазон	1–67 м/с
Относительная погрешность	5%
Разрешение	0,1 м/с
5. Направление ветра	
Диапазон измерения	0–359°
Разрешение	1°
Абсолютная погрешность	±7°
6. Количество жидких осадков	
Единицы измерения	мм
Разрешение	0,2

2.2 Подходы к решению проблемы превышения концентрации озона

По современным данным население России только предстоит осознание опасности проблемы роста концентраций приземного озона, материальных потерь и увеличение смертности. Для понятие всей важности данного вопроса нужно не только старательно производить контроль уровня загрязнения озоном в нижней тропосфере постоянным мониторингом в течение долгого времени и во большом количестве географических пунктах страны, фиксировать эпизоды превышения ПДК. Огромную важность представляет и убедительная демонстрация связь между концентрациями озона в приземной атмосфере и здоровьем населения, расширением множества заболеваний, увеличением случаев смерти, состоянием экологии в целом, урожайностью сельскохозяйственных культур, заканчивая оценкой экономических потерь государства.

Еще в 2010—2012 годах, в Российской Федерации получилось в первый раз показать наличие весьма мощной взаимной связи между повышением заболеваемости и возрастанием случаев смертей в некоторых регионах страны с увеличением степени концентрации озона в околоземном пространстве атмосферы. Подробное исследование данной связи, установление функционирующих биохимических элементов и постоянно повторяющихся проявлений в виде определенных отклонений требует выполнение трудных исследований в различных дисциплинах, к которым должны быть привлечены эксперты из разных сфер.

Для начала нужно всевозможную полную и проверенную информацию о содержании приземного озона на территории России, в районах с большим количеством населения, в которых погодные и климатические условия способствуют увеличенному до критических уровней содержанию озона — Центральный район, Поволжье, Ставрополье и Краснодарский край, регионы Сибири, Северный Кавказ, Крым. Вследствие существования «парадокса тропосферного озона», то есть переноса озона от основного источника

посредством метеорологических факторов, сеть фиксирующих его станций должна быть густой, а также должна затрагивать не только территории, где концентрации предшественников озона увеличены, но и пригородные и малонаселенные районы[21].

Помимо нынешних сетей станций мониторинга тропосферного озона нужны также:

- изучения в области медицины и биологии;
- изучения в области клинической медицины;
- анализ и оценка получаемой ситуации;
- выявление связи с санитарными и эпидемиологическими данными;
- исследование и закрепление закономерностей;
- удобное и оперативное предоставление данных населению и органам управления и администрации;
- создание прогнозов и моделей процессов;
- разработка методов и подходов к снижению рисков;
- осуществление мер по снижению рисков;
- просвещение и обучение.

Случаи увеличения предельно-допустимых значений озона, а также другая необходимая и важная информация доступна лишь немногим специалистам и остается неизвестной для санитарных служб, служб по ЧС и для органов управления города и администрации[21].

Важные области мониторинга приземного озона, требующие дополнительных разработок представлены ниже[22].

Контроль озона в приземной атмосфере. Сохранение и накопление итогов отслеживания, изучение «поведения» озона. Создание способов построения моделей и прогноза. Исследование влияния озона на изменения климата.

Создание прогнозов влияния озона на население. Построение моделей и составление прогнозов воздействия концентраций приземного озона на здоровье человека.

Источники предшественников озона. Изучение способов получения и переноса озона по атмосфере. Поиск источников концентрации предшественников озона и оценка поведения предшественников в будущем. Выявление взаимосвязи выбросов предшественников озона с прочими проблемами окружающей среды.

Оценки рисков. Изучение воздействия озона на уровень смертности и влияния на заболеваемость. Обнаружение способа переноса негативного влияния в популяциях, а также обнаружение групп подверженных токсическому воздействию и способов предотвращения ущерба для здоровья.

Внедрение и применение индикаторов влияния озона на здоровье населения. К подобным индикаторам относятся: спад функций легких, число пропущенных рабочих дней, дни, в которые принимались лекарственные средства, количество вызовов скорой помощи, рост приступов астмы, число раз, когда требовалась госпитализация, число дополнительных случаев смерти и прочие факторы.

Меры, снижающие риски. Сокращение выбросов предшественников озона трудно представить технически в самое ближайшее время, помимо этого, это не искореняет проблему в мегаполисах. Уменьшение рисков влияния ОЗ может осуществляться за счет проветривания помещений и фильтрация воздуха, полный мониторинг и предоставление необходимой информации для населения о ситуации, обучение мерам снижения воздействия с помощью доступных средств. Также, могут быть полезны исправление стереотипов поведения, работа с группами риска (дети, пожилые люди, больные), повышение способности организма противостоять отрицательному влиянию дольше за счет разработки диеты и образа жизни. Также повышение сопротивляемости сельскохозяйственных культур является важным[22].

Существуют действия, которые каждый может предпринять, чтобы уменьшить загрязнение воздуха и сделать его чище, а также меры предосторожности, которые можно предпринять для защиты здоровья. Перечисленные руководства помогают определить способы защиты здоровья, когда уровни загрязнения озоном достигают токсичных для здоровья пределов, а также способы, которыми можно помочь уменьшить загрязнение воздуха.

Советы по транспортировке.

- Важно выбирать более чистый маршрут для поездок на работу, пользоваться общественным транспортом, ездить на велосипеде или ходить пешком, когда это возможно.
- Комбинировать поручения по сокращению, чтобы уменьшить "холодный запуск" автомобиля и избежать длительного холостого хода.
- Убедиться, что шины правильно накачаны.
- Поддерживать правильную настройку автомобильных, лодочных и других двигателей и избегать дымящих двигателей.
- Следовать инструкциям по заправке бензином для эффективного улавливания паров. Быть осторожным, чтобы не пролить топливо, и всегда надежно затягивать газовый колпачок.

Советы по хозяйству.

- По возможности использовать экологически безопасные краски и чистящие средства.
- Некоторые продукты, которые используются дома или в офисе, изготовлены из химических веществ, образующих смог, которые могут испаряться в воздух при их использовании.
- Необходимо следовать рекомендациям производителей по использованию и надлежащим образом уплотнять чистящие средства, краски и другие химические вещества, чтобы предотвратить испарение в воздух.
- Экономить электроэнергию.

- Следует рассмотреть вариант того, чтобы установить термостат немного выше летом и ниже зимой.
- Рекомендовано использование газовых дров вместо дерева. Если используется дровяная печь или каминная топка, следует убедиться, что она соответствует требованиям ЕРА к конструкции. Сжигать только сухую, выдержанную древесину[23].

3 Анализ концентрации приземного озона за зимний период 2020-2021 гг

3.1 Описание географического положения объекта исследования

Город Санкт-Петербург находится на северо-западе России, в рамках Приневской низменности. Занимает побережье Невской губы Финского залива, а также острова Невской дельты, протянувшись с северо-запада на юго-восток на 90 км. Климат города переходный от умеренно континентального к умеренно морскому. Это объясняется расположением (поступление в атмосферу малого количества солнечной энергии) и циркуляцией атмосферы (деятельность циклонов Балтийского моря). Вследствие этого наблюдается тёплое влажное лето и холодная сырая зима.

Северная столица России складывается из 18 административных районов (рис.3.1) в которых располагаются 111 внутригородских муниципальных образований: 81 муниципальный округ, 9 городов (Зеленогорск, Колпино, Кронштадт, Красное село, Ломоносов, Павловск, Петергоф, Пушкин и Сестрорецк) и 21 посёлок[24].

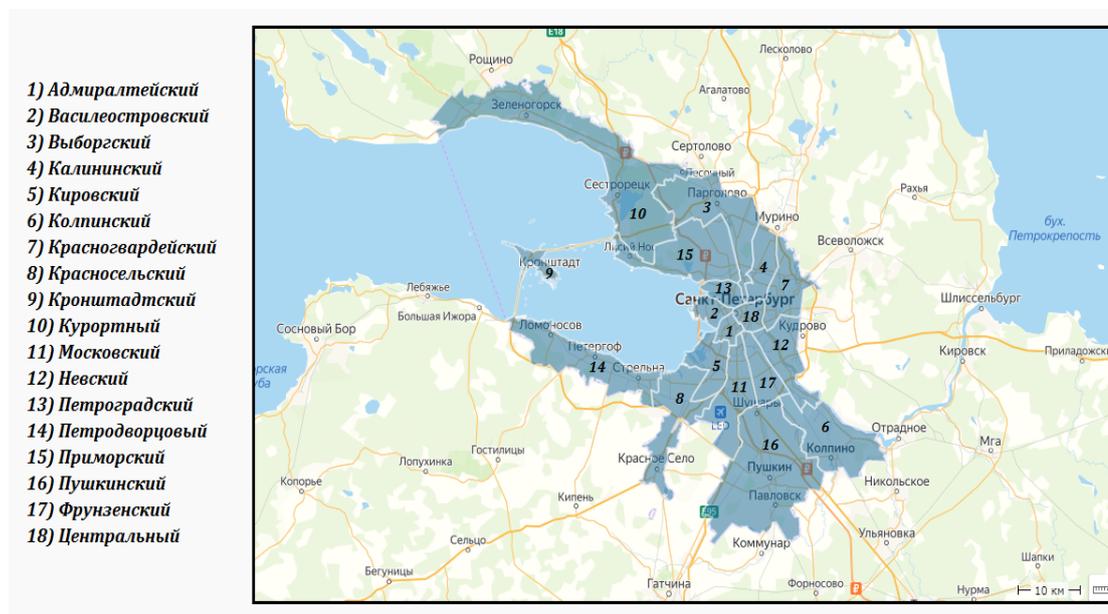


Рисунок 3.1 – Административные районы г.Санкт-Петербург

Санкт-Петербург является одним из крупнейших промышленных центров России. Промышленность является источником разнообразных отходов

производства, большая часть которых представляет серьёзную опасность для окружающей среды. В результате этого была создана специальная автоматизированная система мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга (АСМ-АВ). Эта система состоит из 25 автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, которые фиксируют концентрации различных примесей с интервалом в 20 минут в каждом административном районе города (рис.3.2.)[25].

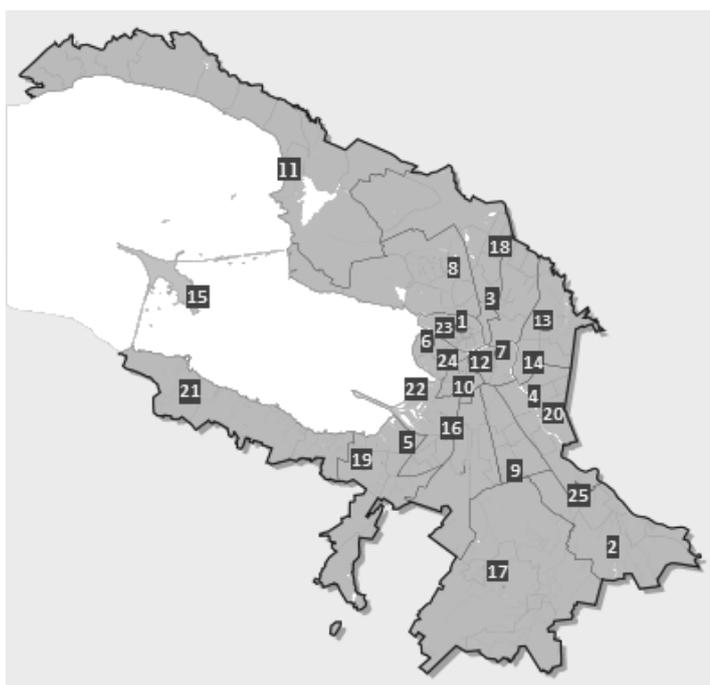


Рис.3.2 Расположение автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха

Адреса расположения и номера автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха приведены в табл.5.

Таблица 5. Номера и адреса станций

№	Адрес	№	Адрес
1	ул. Проф. Попова, д.48	14	Уткин пр., д.16
2	ул. Красная, д.1А (г.Колпино)	15	ул.Ильмянинова, д.4 (г.Кронштадт)
3	ул.Карбышева, д.7	16	ул.Севастьянова,д.11

4	Малоохтинский пр., д.98	17	Тиньков пер.,д.4 (г.Пушкин)
5	пр.Маршала Жукова, д.30, корп.3	18	ул.Ольги Форш, д.6
6	В.О., пр.Кима, д.26, лит. А	19	пр.Ветеранов, д.167, корп. 6
7	ул.Шпалерная, д.56	20	ул.Тельмана, д.24
8	ул.Новосельковская, д.23	21	ул.Федюнинского, д.3 (г.Ломоносов)
9	ул.Малая Балканская, д.54	22	Канонерский остров, д.21,строение 1
10	Московский пр., д.19	23	пр.Динамо, д.44
11	ул.М.Горького, д.2 (г.Сестрорецк)	24	В.О.,Средний пр., д.74
12	ул. Пестеля, д.1	25	ул.Железодорожная,д.13/1 (пос.Металлострой)
13	шоссе Революции, д. 84		

В качестве объекта исследования были выбраны две автоматические станции г.Санкт-Петербурга: №8 и №11, находящиеся в Приморском и Курортном соответственно.

Приморский район Санкт-Петербурга это один из самых больших районов в городе (рис 3.3). Площадь района измеряется в 11 550 га. Количество проживающего в Приморском районе населения составляет примерно 500 тысяч человек. Данный район соседствует с Выборгским и Петроградским районами Санкт-Петербурга и землями Ленинградской области[26].

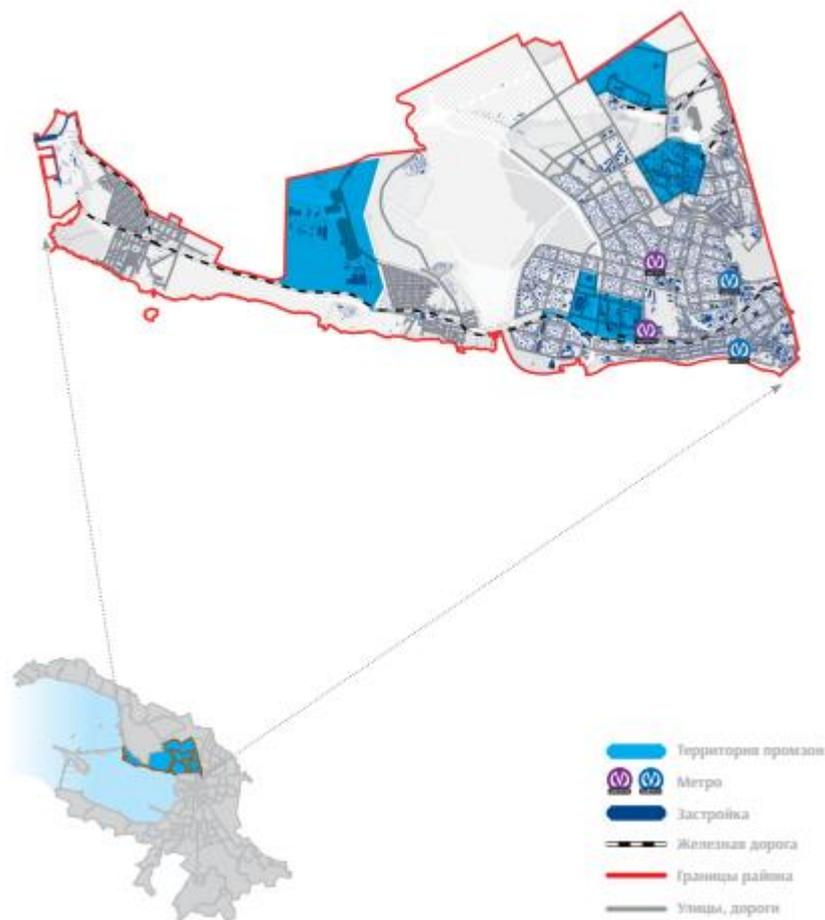


Рисунок 3.3 – Приморский район

Область Приморского района образовалась в 1988 году[26].

Приморский район считается одним из самых грязных районов города, поскольку здесь расположены крупные промзоны, занимающие 45% площади. Большое количество стационарных и передвижных источников выбросов обуславливает фиксацию высокого уровня концентрации вредных соединений азота, углерода, озона, фенола и частиц пыли.

Основу промышленности Приморского района обуславливают 50 крупных и средних предприятий, которые производят разную продукцию: сложные электронные системы для различных ведомств, станки, строительные и художественные краски, бытовую химию и косметическую продукцию, фармацевтическую продукцию, кондитерские, хлебобулочные и табачные изделия. Основной объем продукции табачной и кондитерской продукции

выпускается предприятиями ОАО «БАТ-СПб» (табачные изделия) и ООО «Перфетти ванн милле» (кондитерские изделия). В Приморском районе Санкт-Петербурга создана одна из площадок Особой Экономической Зоны технико-внедренческого типа (далее — ОЭЗ) «Новоорловская». Основными направлениями ОЭЗ являются изготовление лекарственных средств и медицинские технологии, точное приборостроение, информационные технологии и телекоммуникации и энергоэффективность. На сегодняшний день в промышленный комплекс Приморского района входят 8 системообразующих предприятий.

В данном районе находится производственная зона «Конная Лахта», расположенная на берегу Финского залива вблизи поселка Ольгино (рис. 3.4). Большая часть территории, предназначенной под промышленную застройку, не освоена[26].



Рисунок 3.4 – Производственная зона «Конная Лахта»

«Коломяги» – еще одна производственная зона Приморского района (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Производственная зона «Коломяги»

Курортный район – это самый длинный по протяженности район Санкт-Петербурга. Его площадь равна 26,8 тыс. га (рис. 3.6). Численность населения этого района близка к отметке в 80 тысяч человек. Этот район соседствует с Приморским и Выборгским районами Санкт-Петербурга, а также с территориями Ленинградской области [26].

Здесь расположены многочисленные леса, парки, лесопарки, но несмотря на это Курортный район входит в список самых загрязненных районов города Санкт-Петербурга, занимая 4 место. На это влияют расположенные производственные предприятия и большое количество проходящих по площади района автомобильных трасс.

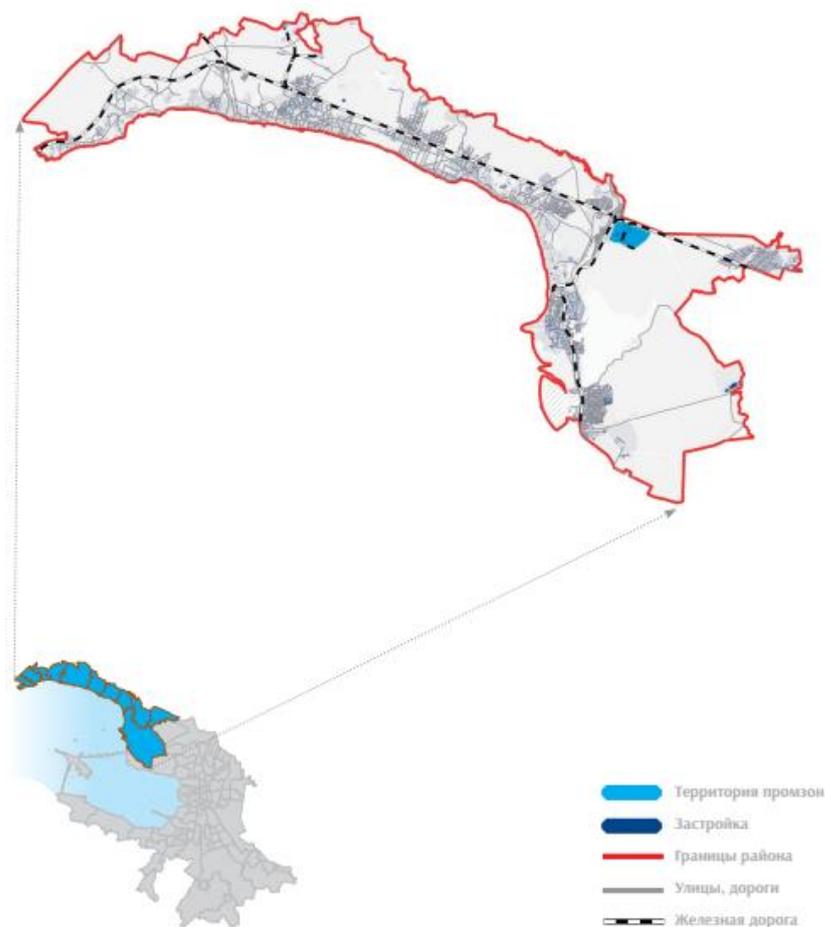


Рисунок 3.6 – Курортный район

В данном районе функционируют большое количество промышленных заводов и фабрик, в их числе автомобильный комплекс завода Хендэ: ООО «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус», ООО «Мобис модуль СНГ», ООО «Хендэ Хайско РУС»; ОАО «Сестрорецкий хлебозавод».

В производственной зоне «Белоостров» располагается Федеральный испытательный центр электротехнического оборудования. Там проводятся испытания оборудования энергетики. На территории данного района проходят основные трассы, например: Зеленогорское и Приморское шоссе, часть автодороги Скандинавия, Западного Скоростного диаметра и Кольцевой автодороги. Все эти факторы влияют на уровень концентрации основных загрязняющих веществ над данным районом[26].

Территория «Белоострова» принадлежит Курортному району и граничит с Новым шоссе(рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Производственная зона «Белоостров»

В этой производственной зоне располагаются производственные объекты застройки, находящиеся на окраинах города и объекты инженерной инфраструктуры 2 и 3 классов опасности [26].

3.2 Исследование временного ряда концентрации приземного озона

Для изучения временного ряда концентрации приземного озона и основных загрязняющих веществ была сформирована база данных на основании информации, полученной с автоматических станций. Данные о концентрациях загрязняющих веществ в долях среднесуточных ПДКсс находятся в свободном доступе на сайте экологического портала г.Санкт-Петербург[25]. Определение концентрации озона входит в программу только 13 автоматических станций из 25: шесть станций находятся на окраине города (№2, №11, №15, №17, №18 и №25) и семь станций непосредственно в Санкт-Петербурге (№7, №8, №9, №14, №19, №23 и №24).

На основании полученных значений была построена карта изолиний для 13 станций, а также 3D-график распределения концентрации озона за зимний период (декабрь, январь и февраль) 2020-2021 года с использованием

программы Surfer 9 (программа, позволяющая проводить анализ двухмерных и трехмерных данных) (рис 3.8).

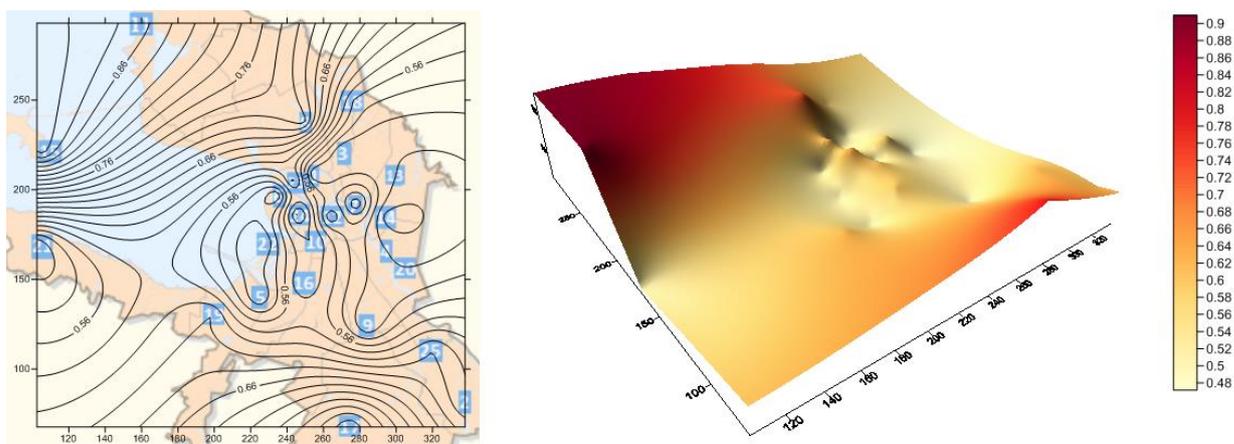


Рисунок 3.8 – Карта изолиний и 3D-график концентрации озона

На полученных изображениях отчетливо видно, что районы, в которых расположены станции №8 и №11 отличаются высокими концентрациями. В них концентрация озона в долях ПДКсс, осредненная за всю зиму, достигает 1ПДКсс и поэтому данные станции вызывают интерес для дальнейшего изучения и анализа.

3.3 Анализ полученных данных

На рис.3.9 показаны графики распределения концентрации ЗВ за каждый месяц исследуемого периода по каждой из двух станций. Таблицы осредненных данных представлены в Приложении.

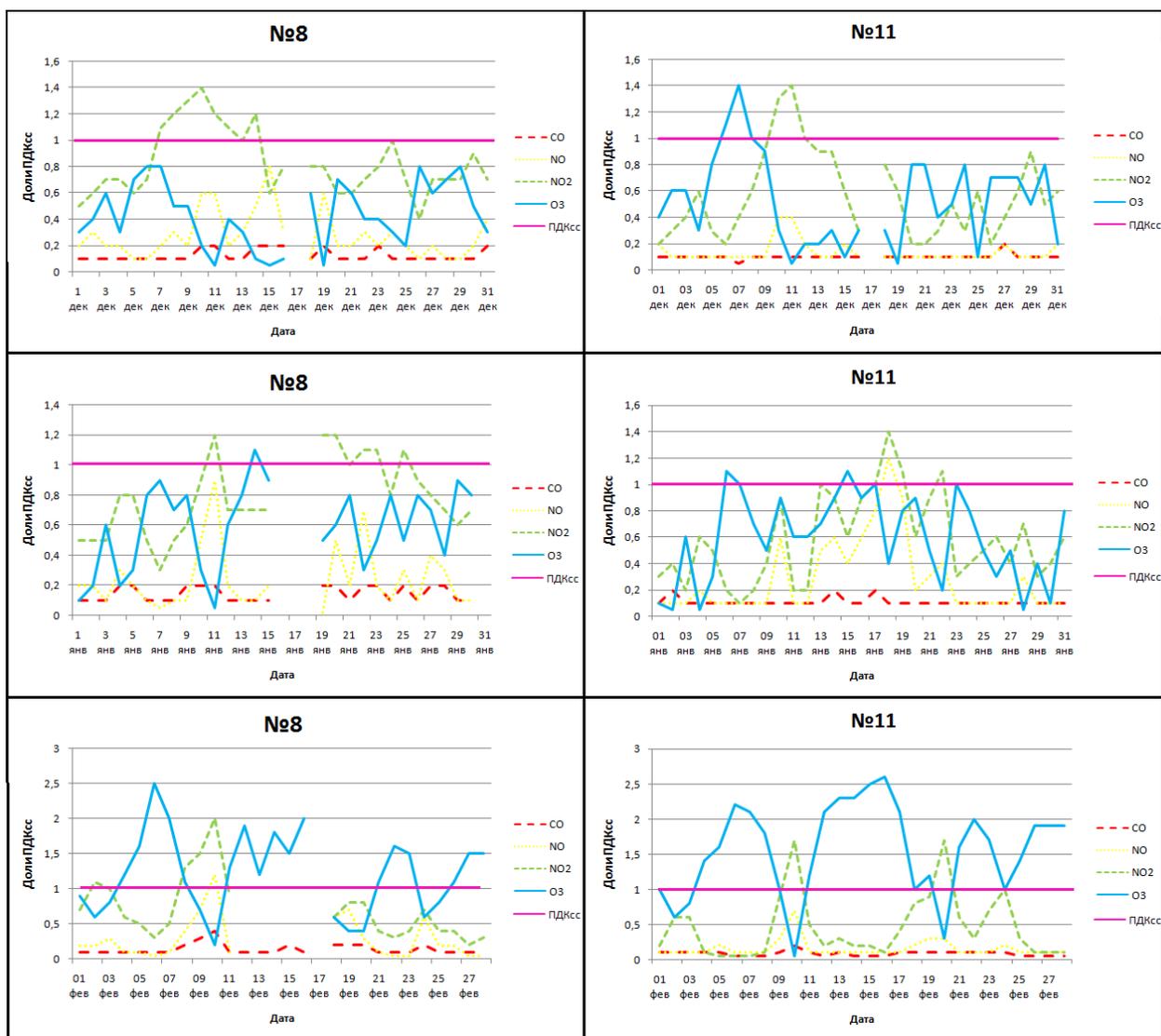


Рисунок 3.9 – Концентрации ЗВ станций №8 и №11 за зимний период 2020-2021 гг

В таблицах 6 и 7 приведены максимальные и минимальные значения концентраций ЗВ по двум станциям за декабрь, январь и февраль 2020-2021 гг.

Таблица 6. Максимальные и минимальные концентрации ЗВ на станции

№8

ЗВ	Концентрация загрязняющего вещества(станция №8)											
	Декабрь (2020 г)				Январь (2021 г)				Февраль (2021 г)			
	min	дата	max	дата	min	дата	max	дата	min	дата	max	дата
СО	0,1*	01.12	0,2*	10.12	0,1*	01.01	0,2*	04.01	0,1*	01.02	0,4	10.02
NO	0,1*	05.12	0,8	15.12	0,05	07.01	0,9	11.01	0,05*	06.02	1,2	10.02
NO ₂	0,4	26.12	1,4	10.12	0,3	07.01	1,2*	11.01	0,05	14.02	2,0	10.02
O ₃	0,05*	11.12	0,8*	06.12	0,05	11.01	1,1	14.01	0,2	10.02	2,5	06.02

*-дата фиксации первого минимума/максимума при условии его повтора

Таблица 7. Максимальные и минимальные концентрации ЗВ на

станции №11

ЗВ	Концентрация загрязняющего вещества(станция №11)											
	Декабрь (2020 г)				Январь (2021 г)				Февраль (2021 г)			
	min	дата	max	дата	min	дата	max	дата	min	дата	max	дата
СО	0,05	07.12	0,2	27.12	0,1*	01.01	0,2*	02.01	0,05*	06.02	0,2	10.02
NO	0,1*	02.12	0,4*	10.12	0,1*	01.01	1,2	18.01	0,1*	01.02	0,7	10.02
NO ₂	0,2*	01.12	1,4	11.12	0,1	07.01	1,4	18.01	0,05*	05.02	1,7*	10.02
O ₃	0,05*	11.12	1,4	07.12	0,05*	02.01	1,1*	06.01	0,05	10.02	2,6	16.02

*-дата фиксации первого минимума/максимума при условии его повтора

Проанализировав рис.3.9 и таблицы 6 и 7, можно сделать выводы:

- В декабре концентрации таких загрязняющих веществ, как СО, NO и O₃ зафиксированные станцией №8 не превышают значение ПДКсс, однако значение NO₂ превышало значение ПДКсс с 7 по 15 декабря.

Данные со станции №11 показывают, что значения СО и NO не достигали значения в 1ПДКсс, а концентрации O₃ и NO₂ достигали максимумов в 1,4ПДКсс 7 и 11 декабря соответственно.

- В январе на обеих станциях значения концентраций всех ЗВ увеличиваются к середине месяца, а затем идут на спад. На станции №8 значения O₃ и NO₂ достигали своего максимума в период с 11 по 14 января и составляли от 1,1ПДКсс до 1,2ПДКсс. На станции №11 концентрации NO и NO₂ достигли пика 18 января и составляли 1,1ПДКсс и 1,4ПДКсс соответственно. Максимальное значение O₃ зафиксировано 6 января. Обе станции зафиксировали, что концентрации оксида углерода были незначительны на протяжении всего месяца.

- В феврале концентрации всех загрязняющих веществ на двух станциях показывали довольно высокие значения. Значение концентрации СО было обнаружено станцией №8 10 февраля и составляло 0,4ПДКсс (что соответствует максимуму за весь зимний период). Значение концентрации NO, в основном, было ниже значения ПДКсс и лишь однажды (10 февраля) превысило эту отметку на станции №8. Сразу двумя станциями замечено увеличение концентрации O₃ и NO₂ и случаи превышения ПДКсс в два раза.

Рассматривая все три месяца, можно заметить, что максимумы содержания озона соответствуют минимумам основных загрязняющих веществ (СО, NO, NO₂), это происходит потому что при малых уровнях загрязнения воздуха идет накопление озона, приводящее к увеличению его общего содержания в воздухе.

На рис.3.10 представлены среднемесячные концентрации ЗВ в долях среднесуточной ПДКсс на станциях №8 и №11. Видно, что значения концентраций всех трех оксидов (CO, NO, NO₂) на обеих станциях не превышают ПДКсс. Концентрация озона превышает уровень ПДКсс в феврале и составляет: на станции №8 - 1,2ПДКсс, на станции №11 - 1,5ПДКсс.

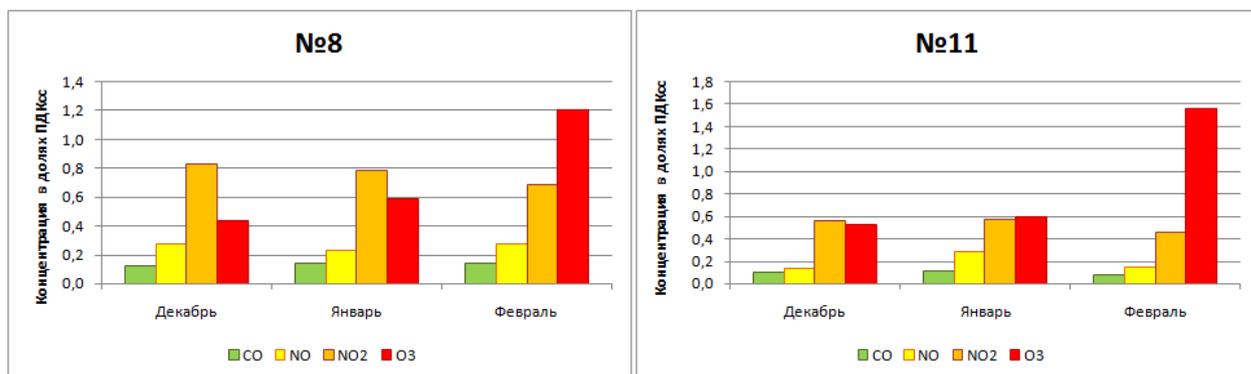


Рисунок 3.10 – Среднемесячные концентрации ЗВ станций №8 и №11 за зимний период 2020-2021 г

Ход концентрации озона в нижних слоях тропосферы в городах обусловлена не только концентрацией его предшественников (оксид углерода, оксиды азота), но и температурой, влажностью воздуха и количеством поступающей солнечной энергии.

Температура воздуха оказывает воздействие на скорости химических реакций, происходящих в атмосфере, на интенсивность турбулентности, а также на эмиссии оксидов. Количество влаги в воздухе тоже влияет на уровень концентрации озона, так как при повышенной влажности воздуха, повышается и содержание частиц аэрозоля, на которых разрушается O₃.

В декабре с 1 по 15 число погода в Санкт-Петербурге формировалась под влиянием крупного, мощного, малоподвижного антициклона. Большое количество дней первой половины декабря характеризовались облачной с прояснениями погодой, без существенных осадков[27].

Во второй половине месяца погодные условия подверглись влиянию процессов циклонического характера. Этим объясняется облачная погоды с частыми осадками и повышением температуры.

В среднем за декабрь температура воздуха составила $-0,8$ градуса, почти в 4 раза выше нормы[27]. Сумма осадков за месяц составила около 90% от климатической нормы, а значит влажность была повышена, что объясняет небольшие значения концентрации приземного озона за этот месяц.

В январе погода была обусловлена в основном влиянием циклонов. Осадки наблюдались преимущественно в виде снега и мокрого снега, в отдельные дни с дождем. В Санкт-Петербурге температура воздуха за январь в среднем составила $-4,6$ градуса[27]. Наиболее сильные осадки наблюдались в середине и в конце месяца, что привело к снижению концентрации озона и оксидов в этот период.

Погода первой половины февраля оказалась под влиянием Арктической и Европейской антициклонов, а вторая половина под влиянием северных и западных частей циклонических вихрей[27]. Отчасти это влияет на концентрации озона в этот срок.

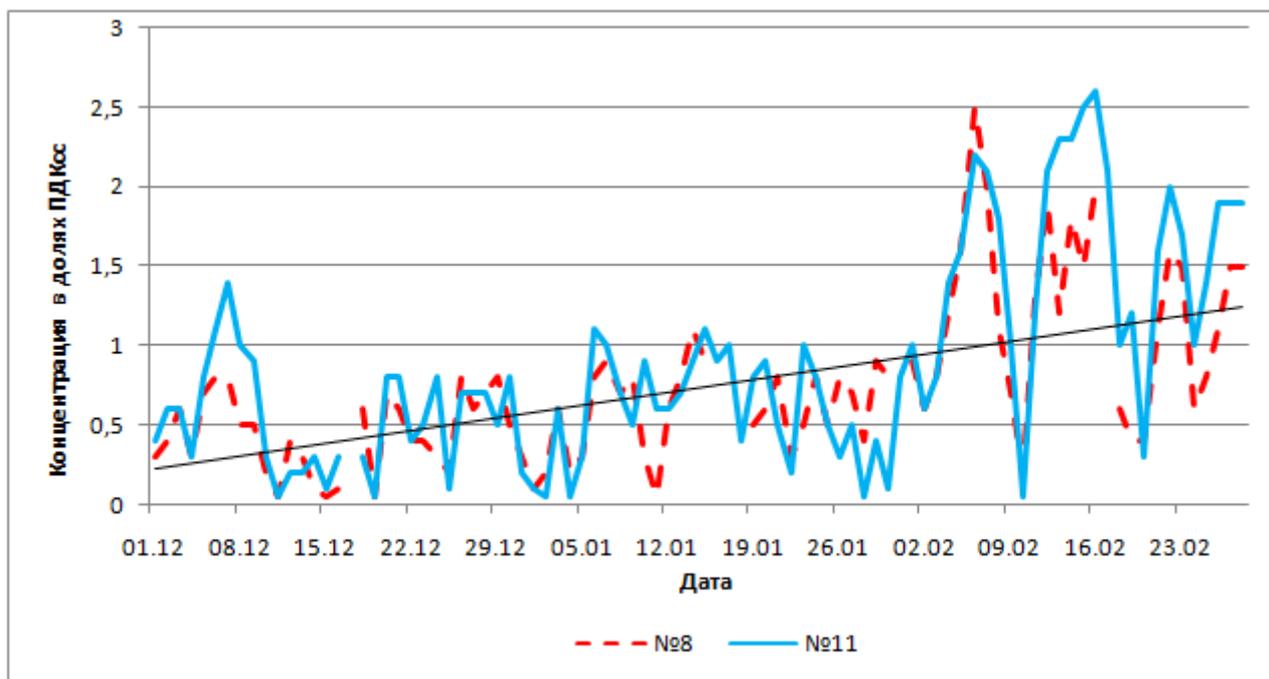


Рисунок 3.11 – Концентрации озона в период с декабря по февраль 2020-2021 года на станциях №8 и №11

На рис. 3.11 изображено распределение концентрации озона за три месяца на станциях №8 и №11, при общем рассмотрении которого видно, что

ход практически одинаковый с небольшими отклонениями. Линия тренда показывает, что концентрация озона возрастала с декабря по февраль.

Корреляционный анализ.

Корреляционный анализ – это метод, с помощью которого можно определить, зависимы ли между собой переменные и насколько сильна их связь.

Коэффициент корреляции – это количественная мера взаимосвязи двух переменных. Изменяется он от -1 до 1, где -1 – предельно сильная отрицательная связь, 1 – предельно сильная положительная связь

При положительной корреляции рост значений одного признака влечет за собой рост значений другого, также как спад значений одного признака приводит к спаду другого.

При отрицательной линейной корреляции рост значений одного признака соответствует спаду значений другого.

Для того, чтобы выявить связь между приземным озоном и основными загрязняющими веществами, а именно CO, NO и NO₂ и метеорологическими параметрами (температурой воздуха, давлением, скоростью и направлением ветра) была построена и проанализирована корреляционная матрица.

В таблице 8 и 9 показаны значения коэффициентов корреляции между озоном и оксидами (CO, NO и NO₂) и метеорологическими параметрами (Т - температура воздуха, P0 - атмосферное давление, WD - направление ветра, WS - скорость ветра, F - относительная влажность воздуха), где уровень значимости равен 0,05.

Таблица 8. Коэффициенты корреляции за зимний период станции №8

Период	Сравниваемые переменные	Значение коэф. корреляции
Декабрь	O3-CO	-0,70
	O3-NO	-0,79
	O3-NO2	-0,31
	O3-T	0,09
	O3-P0	0,11
	O3-F	-0,19
	O3-WD	-0,03
	O3-WS	-0,48
Январь	O3-CO	-0,53
	O3-NO	-0,60
	O3-NO2	-0,30
	O3-T	-0,20
	O3-P0	-0,17
	O3-F	-0,16
	O3-WD	-0,09
	O3-WS	-0,14
Февраль	O3-CO	-0,59
	O3-NO	-0,73
	O3-NO2	-0,65
	O3-T	-0,08
	O3-P0	0,14
	O3-F	-0,02
	O3-WD	-0,36
	O3-WS	-0,38
Декабрь(2020)-февраль(2021)	O3-CO	-0,40
	O3-NO	-0,54
	O3-NO2	-0,51
	O3-T	0,42
	O3-P0	0,04
	O3-F	-0,04
	O3-WD	-0,36
	O3-WS	0,05

Проанализировав таблицу 8 можно сделать следующие выводы:

- В декабре на станции №8 между озоном и оксидами углерода (CO) и азота (NO) наблюдается высокая обратная связь $r = -0,70$ и $r = -0,79$ соответственно. Также зафиксирована отрицательная слабая связь между озоном и скоростью ветра $r = -0,48$
- В января наблюдалась средняя отрицательная корреляция между озоном и оксидами углерода (CO) и азота (NO) наблюдается средняя обратная связь $r = -0,53$ и $r = -0,60$ соответственно. Связь между озоном и метеорологическими параметрами отсутствует

- В феврале между озоном и оксидом углерода и диоксидом азота наблюдается средняя отрицательная корреляция ($r = -0,59$ и $r = -0,65$) и высокая отрицательная корреляция между озоном и оксидом азота ($r = -0,73$). Также существует и слабая отрицательная связь между такими парами как озон - направление ветра ($r = -0,36$), озон - скорость ветра ($r = -0,38$)
- Исходя из значений коэффициентов корреляции за весь зимний период можно сказать, что между озоном и ЗВ есть отрицательная связь: между озоном и оксидами азота есть средняя связь с коэффициентом корреляции равным от $-0,54$ до $-0,51$, а между озоном и оксидом углерода – слабая ($r = -0,40$). Озон также связан и с метеорологическими параметрами: с температурой воздуха слабо и положительно ($r = 0,42$), с направлением ветра слабо и отрицательно ($r = -0,36$).

Таблица 9. Коэффициенты корреляции за зимний период станции №11

Период	Сравниваемые переменные	Значение коэф.корреляции
Декабрь	O3-CO	-0,13
	O3-NO	-0,40
	O3-NO2	-0,49
	O3-T	0,12
	O3-P0	0,29
	O3-F	-0,45
	O3-WD	0,26
O3-WS	-0,45	
Январь	O3-CO	0,06
	O3-NO	0,22
	O3-NO2	0,01
	O3-T	0,47
	O3-P0	0,25
	O3-F	-0,39
	O3-WD	0,11
O3-WS	-0,48	
Февраль	O3-CO	-0,72
	O3-NO	-0,64
	O3-NO2	-0,79
	O3-T	-0,02
	O3-P0	0,21
	O3-F	0,07
	O3-WD	0,28
O3-WS	0,29	
Декабрь(2020)-февраль(2021)	O3-CO	-0,49
	O3-NO	-0,18
	O3-NO2	-0,47
	O3-T	0,44
	O3-P0	0,21
	O3-F	-0,14
	O3-WD	-0,38
O3-WS	0,08	

Проанализировав таблицу 9 можно сделать следующие выводы:

- В декабре на станции №11 между озоном и оксидами азота (NO и NO₂) наблюдается слабая обратная связь $r = -0,40$ и $r = -0,49$ соответственно. Концентрация озона и влажность воздуха также слабо и отрицательно связаны ($r = -0,45$). Также зафиксирована отрицательная слабая связь между озоном и скоростью ветра $r = -0,45$
- В января связь между озоном и ЗВ отсутствует. Озон слабо отрицательно связан с влажностью воздуха и скоростью ветра ($r = -0,39$ и $r = -0,48$). Видна слабая положительная связь между озоном и температурой воздуха.

- В феврале озон обладает обратной высокой связью с оксидом углерода (CO) и оксидами азота (NO и NO₂), коэффициент корреляции при этом составляет от -0,79 до -0,64. Связь между озоном и метеорологическими параметрами отсутствует
- Исходя из значений коэффициентов корреляции за весь зимний период можно сказать, что между озоном и ЗВ(кроме пары озон - оксид азота) есть отрицательная связь: между озоном и оксидом углерода и диоксидом азота есть слабая связь с коэффициентом корреляции равным от -0,49 до -0,47. Озон также связан и с метеорологическими параметрами: с температурой воздуха слабо и положительно ($r = 0,44$), с направлением ветра слабо и отрицательно ($r = -0,38$).

Для лучшего представления связи между концентрацией приземного озона и основными загрязняющими веществами и метеорологическими параметрами ниже представлена диаграмма рассеивания пары NO – O₃, имеющей сильную отрицательную связь (рис.3.12(a)), также O₃ – WS, с отрицательной связью (рис. 3.12(b)) на примере станции №8 за февраль 2021 года.

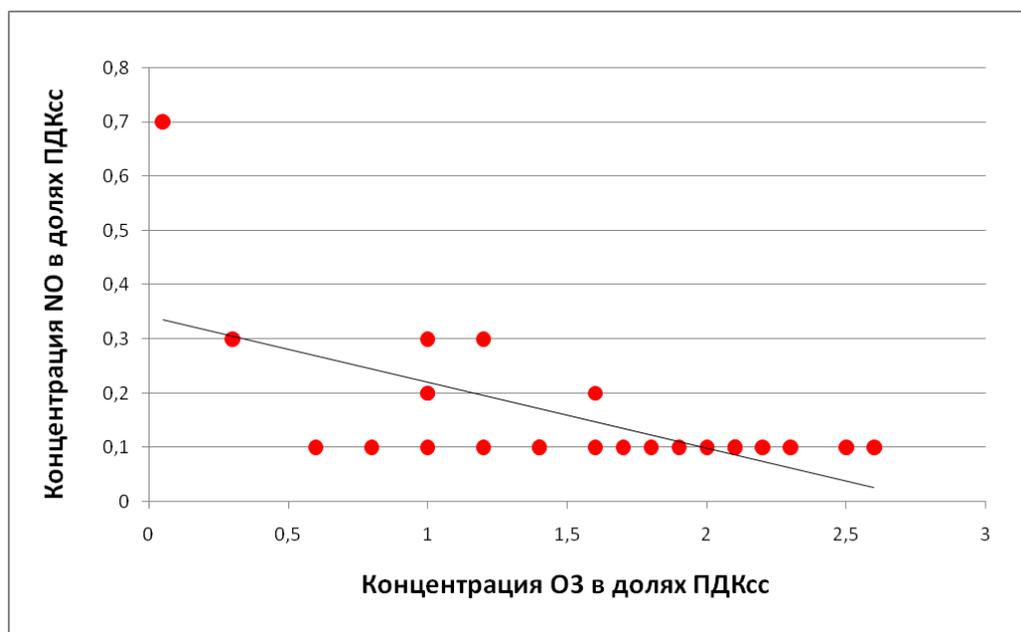


Рисунок 3.12 (а) – Диаграмма рассеивания между O₃ и NO на станции №8 за февраль 2021 года

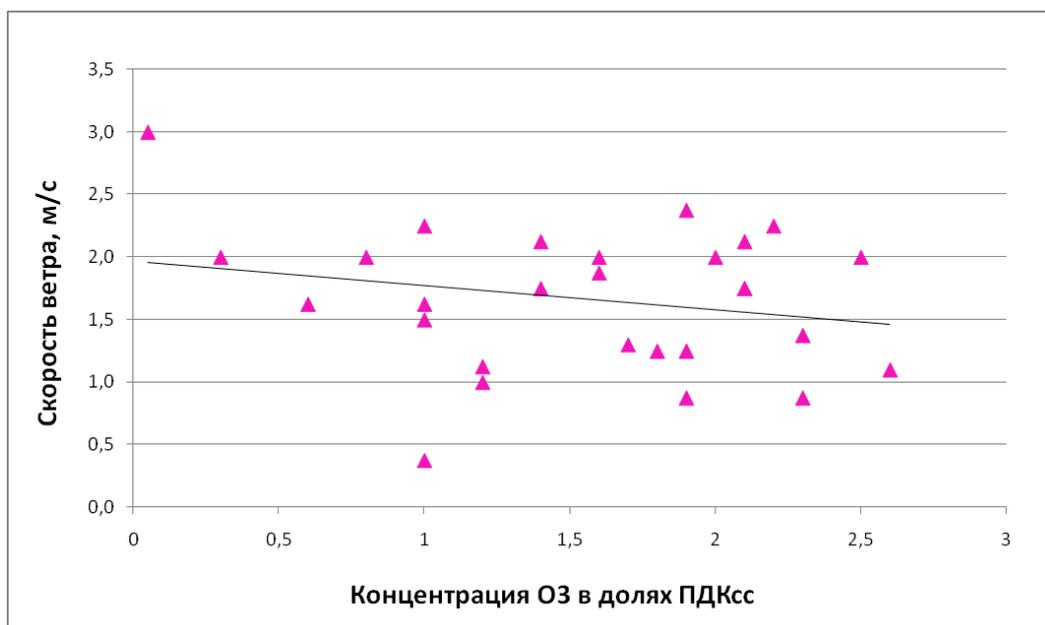


Рисунок 3.12 (b) – Диаграмма рассеивания между O₃ и скоростью ветра на станции №8 за февраль 2021 года

Благодаря анализу диаграммы рассеивания можно с уверенностью сказать, что самая большая обратная связь прослеживается в феврале между озоном и оксидом азота – рис. 3.12(a).

Исходя из диаграммы 3.13 (b), можно сделать вывод о том, что озон имеет слабую отрицательную связь с таким метеорологическим параметром, как скорость ветра.

Заключение

В данной работе проведена оценка загрязненности воздуха Приморского и Курортного районов Санкт-Петербурга озоном и его газами-предшественниками: оксидами азота (NO , NO_2) и оксидом углерода (CO) за зимний период 2020-2021 года. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

Анализ данных по станциям №8 и №11 показывает, что уровень загрязнения воздуха на них примерно одинаковый. Наиболее загрязненным месяцем оказался февраль, а наименее - декабрь.

Уровень загрязнения воздуха озоном возрастает от декабря (2020 г) к февралю (2021 г). Концентрация озона превышает уровень ПДКсс в феврале на обеих станциях: №8 – 1,2ПДКсс, №11 – 1,5ПДКсс.

Отмечается сильная обратная связь между концентрациями оксидов и озоном в последнем месяце периода исследования. С метеорологическими параметрами озон имеет слабую связь за весь рассматриваемый период.

Приземный озон требует большого внимания, поскольку тенденция его развития еще недостаточно изучена. Необходимо отслеживать концентрации данного вещества, а также то, как изменяются значения не только в непосредственной близости от источника, но и по мере удаления от него, поскольку существует множество факторов, влияющих на образование и распространение приземного озона. Следует найти путь к сокращению токсичных выбросов и сохранению экологии, пока есть возможность избежать катастроф.

Список литературы

1. Акселевич В. И., Торгунакова Е. В. Экология и безопасность: учебник. - СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета управления и экономики, 2011. - 336 с.
2. Григорьев Л. Н., Буренина Т. И. Химия окружающей среды (Атмосфера, литосфера): Учебное пособие. Часть 1. СПб.ГТУ РП, - 2000. – 71 с.
3. Квашнин И.М. Промышленные выбросы в атмосферу. Инженерные расчеты и инвентаризация. - М.: АВОК-ПРЕСС. - 2005. – 392 с.
4. Книга 5. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире [Электронный ресурс]. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-3/section-2/2-1> (Дата обращения: 22.11.2021).
5. Ground-level Ozone Basics [Электронный ресурс]. URL: <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ground-level-ozone-basics#formation> (Дата обращения: 12.12.2021).
6. Звягинцев А.М. Пространственно-временная изменчивость озона в тропосфере: специальность 25.00.29 «Физика атмосферы и гидросферы»: диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук / МГУ им. М.В.Ломоносова Москва: 2013. 49 с.
7. Уразгулова, М.М. Тенденция изменения состояния атмосферного воздуха в промышленном центре / М.М. Уразгулова, Н.В. Ксандров, С.А. Матвеева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 7-2. – С. 347-351.
8. Ильяш В.В. Лекции: Химия окружающей среды // . : ВГУ кафедра экологической геологии.
9. Хргиан А.Х. Физика атмосферного озона. – Л.: Гидрометеиздат, 1973, 292 с

10. Белан Б.Д. Проблема тропосферного озона и некоторые результаты его измерений // Оптика атмосферы и океана, 1996. Т. 9. № 9. С. 1184-1213.
11. Крюкова С.В. Контроль загрязнения природной среды: анализ данных загрязнения. Лабораторный практикум. СПб.: РГГМУ, 2015. 46 с
12. Дубцова А.А. Влияние озонового воздействия на физиолого-биохимические процессы в проростках семян льна масличного: специальность 03.01.05 «Физиология и биохимия растений»: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук // Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К. А. Тимирязева – Москва, 2017. 24 с.
13. Вредные вещества в промышленности : справочник для химиков, инженеров и врачей / Под общ. ред. Н. В. Лазарева, Э. Н. Левиной. - Изд. 7-е, перераб. и доп. - Ленинград : Химия, 1976 - 1977.
14. Гринфилд С., Аткинс П.Р., Герстл Р.В., Бек Ли, Блэквуд Т.Р., Кроккер Б.Б., Шорт Л., Торо Р.Ф., Эддингер Дж.Э., Бубеник Д.В., Непп К.Т., Вестберг Х.Х., Спаркс А.Е., Пайлет М.Дж., Леонардос Г., Боун Н.Э., Ллойд А., Хенз, Д.И., Робертс Д.Д. Защита атмосферы от промышленных загрязнений / Под ред. С. Калверт, Г.М.М. Инглунд. М.: Металлургия, 1988. Ч. 2. 712 с
15. Рощина В.В. Озон и живая клетка. Учебное пособие к спецкурсу. Пушкино: Аналитическая микроскопия, 2009. 94 с
16. Семенов С.М., Кунина И.М., Кухта Б.А. Тропосферный озон и рост растений в Европе. М.: Метеорология и гидрология, 1999. 208 с
17. Якунина, И.В. Я496 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. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-0864-0.
18. Система мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL: http://voeikovmgo.ru/download/Conferences/Conference2013101_3/Presentations/2013101/10_sorokin.pdf (Дата обращения: 10.03.2022).

19. Белан Б.Д. Озон в тропосфере. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН. 2010. 478 с.
20. Котельников С.Н., Степанов Е.В. Мониторинг тропосферного озона в атмосфере мегаполисов и малоурбанизированных районов // Труды института общей физики им. А.М. Прохорова РАН. 2015. Т. 71. С. 43—71
21. Котельников С.Н. Основные механизмы взаимодействия озона с живыми системами и особенности проблемы приземного озона для России // Труды института общей физики им. А.М. Прохорова РАН. 2015. Т. 71. С.10—41.
22. Маркус Аманн, Дик Дервент, Бертил Форсберг, Отто Ханнинен, Финтан Херли, Михал Кржижановски, Франк де Леу, Салли Дж. Лю, Корнинн Мандин, Юрген Шнайдер, Пер Шварце, Дэвид Симпсон. Риски для здоровья, связанные с озоном в результате трансграничного загрязнения воздуха на большие расстояния // Всемирная организация здравоохранения, 2008. 93 с.
23. What-you-can-do [Электронный ресурс]. URL: <https://www.airnow.gov/education/what-you-can-do/> (Дата обращения: 13.04.2021)
24. Общедоступная многоязычная универсальная интернет энциклопедия со свободным контентом «Википедия» [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Санкт-Петербург> (Дата обращения: 13.04.2021)
25. Экологический портал Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=53> (Дата обращения: 16.04.2021)
26. Паспорт промышленных зон Санкт-Петербурга 5-е издание 2017 года [Электронный ресурс]. URL: https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2017/04/21/passport_rus.pdf (Дата обращения: 16.04.2021)
27. Официальный портал ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteo.nw.ru/> (дата обращения: 23.05.2022).

Таблица А. Концентрация в долях ПДКсс загрязняющих веществ и метеорологических параметров на станции №8

	CO	NO	NO2	O3	T, °C	PO, мм.рт.ст	F, %	WD, град	WS, м/с
01.12.2020	0,1	0,2	0,5	0,3	1,4	766,1	86,8	186,0	3,0
02.12.2020	0,1	0,3	0,6	0,4	0,9	773,0	86,8	199,8	2,6
03.12.2020	0,1	0,2	0,7	0,6	-1,2	770,4	82,0	115,5	2,1
04.12.2020	0,1	0,2	0,7	0,3	-0,4	767,7	79,6	118,5	2,5
05.12.2020	0,1	0,1	0,6	0,7	1,9	766,6	86,1	168,8	3,3
06.12.2020	0,1	0,1	0,7	0,8	2,2	769,9	84,0	180,0	3,4
07.12.2020	0,1	0,2	1,1	0,8	-1,0	773,7	55,0	174,5	2,4
08.12.2020	0,1	0,3	1,2	0,5	-4,3	775,2	63,4	110,0	1,5
09.12.2020	0,1	0,2	1,3	0,5	-3,8	775,0	58,3	107,3	2,0
10.12.2020	0,2	0,6	1,4	0,2	-4,6	772,2	65,0	113,0	2,1
11.12.2020	0,2	0,6	1,2	0,05	-4,6	767,4	78,4	110,1	1,8
12.12.2020	0,1	0,2	1,1	0,4	-1,2	766,2	86,4	112,9	1,7
13.12.2020	0,1	0,3	1	0,3	-4,3	766,7	87,1	118,4	1,8
14.12.2020	0,2	0,5	1,2	0,1	-2,5	766,0	82,5	152,1	1,3
15.12.2020	0,2	0,8	0,6	0,05	-0,8	765,1	89,8	157,6	1,4
16.12.2020	0,2	0,3	0,8	0,1	0,2	759,9	92,1	193,1	2,7
17.12.2020	-	-	-	-	1,4	761,5	90,0	253,4	2,5
18.12.2020	0,1	0,1	0,8	0,6	-0,4	766,1	91,1	90,3	1,8
19.12.2020	0,2	0,6	0,8	0,05	1,6	763,8	95,5	174,5	1,5
20.12.2020	0,1	0,2	0,6	0,7	3,1	766,2	95,6	216,9	2,1
21.12.2020	0,1	0,2	0,6	0,6	0,8	767,3	93,3	214,0	2,9
22.12.2020	0,1	0,3	0,7	0,4	1,2	764,0	90,8	202,8	2,5
23.12.2020	0,2	0,2	0,8	0,4	-0,3	757,8	88,9	154,9	2,1
24.12.2020	0,1	0,3	1	0,3	1,9	753,8	91,1	183,1	2,8
25.12.2020	0,1	0,2	0,7	0,2	-0,6	752,1	92,3	73,3	1,5
26.12.2020	0,1	0,1	0,4	0,8	-3,7	753,5	88,3	62,1	1,8
27.12.2020	0,1	0,2	0,7	0,6	-3,6	760,9	83,5	141,7	1,8
28.12.2020	0,1	0,1	0,7	0,7	-2,0	764,1	83,8	121,3	3,1
29.12.2020	0,1	0,1	0,7	0,8	-2,0	759,7	80,6	113,0	3,5
30.12.2020	0,1	0,2	0,9	0,5	0,6	756,2	89,1	140,9	3,0
31.12.2020	0,2	0,4	0,7	0,3	1,3	757,6	93,3	126,9	1,9
01.01.2021	0,1	0,2	0,5	0,1	1,6	759,4	93,1	135,1	1,1
02.01.2021	0,1	0,2	0,5	0,2	1,1	757,3	95,4	87,4	1,3
03.01.2021	0,1	0,1	0,5	0,6	0,1	764,2	87,0	203,0	2,6
04.01.2021	0,2	0,3	0,8	0,2	-0,8	770,6	84,6	108,4	0,8
05.01.2021	0,2	0,2	0,8	0,3	-1,5	772,5	85,6	15,2	0,8
06.01.2021	0,1	0,1	0,5	0,8	-2,3	770,3	90,5	56,4	1,1

07.01.2021	0,1	0,05	0,3	0,9	-3,1	766,1	89,1	68,0	1,0
08.01.2021	0,1	0,1	0,5	0,7	-4,6	764,2	86,5	70,6	1,0
09.01.2021	0,2	0,1	0,6	0,8	-10,3	765,6	82,8	70,9	0,9
10.01.2021	0,2	0,5	0,9	0,3	-12,7	765,8	84,9	83,9	0,9
11.01.2021	0,2	0,9	1,2	0,05	-12,0	764,7	80,4	110,1	2,5
12.01.2021	0,1	0,2	0,7	0,6	-11,6	761,8	84,8	92,9	1,9
13.01.2021	0,1	0,1	0,7	0,8	-13,3	763,0	81,4	87,3	1,6
14.01.2021	0,1	0,1	0,7	1,1	-13,7	763,7	80,4	47,9	1,5
15.01.2021	0,1	0,2	0,7	0,9	-15,7	761,7	83,5	228,4	1,0
16.01.2021	-	-	-	-	-15,0	763,0	82,8	138,1	1,1
17.01.2021	-	-	-	-	-9,4	762,4	91,5	270,1	1,6
18.01.2021	-	-	-	-	-6,1	762,1	93,8	259,0	1,0
19.01.2021	0,2	0,02	1,2	0,5	-5,1	760,6	89,1	209,1	1,5
20.01.2021	0,2	0,5	1,2	0,6	-4,4	759,9	86,5	219,5	2,0
21.01.2021	0,1	0,2	1	0,8	-9,1	756,4	85,4	101,4	1,6
22.01.2021	0,2	0,7	1,1	0,3	-4,6	750,4	92,1	104,4	2,4
23.01.2021	0,2	0,2	1,1	0,5	1,7	750,1	90,8	177,3	2,3
24.01.2021	0,1	0,1	0,8	0,8	2,0	751,0	91,8	149,3	2,1
25.01.2021	0,2	0,3	1,1	0,5	3,4	750,3	91,4	143,6	1,9
26.01.2021	0,1	0,1	0,9	0,8	2,8	751,6	91,5	110,0	1,6
27.01.2021	0,2	0,4	0,8	0,7	1,7	748,7	90,6	145,0	0,9
28.01.2021	0,2	0,3	0,7	0,4	1,5	752,5	89,8	143,9	1,8
29.01.2021	0,1	0,1	0,6	0,9	-0,1	745,8	91,9	53,5	1,1
30.01.2021	0,1	0,1	0,7	0,8	-0,4	739,0	90,1	90,1	1,1
31.01.2021	-	-	-	-	-3,0	741,1	87,5	214,0	1,8
01.02.2021	0,1	0,2	0,7	0,9	-3,1	747,8	87,8	233,8	2,3
02.02.2021	0,1	0,2	1,1	0,6	-3,5	756,5	89,8	215,6	1,6
03.02.2021	0,1	0,3	1	0,8	-4,4	751,8	90,6	174,8	2,0
04.02.2021	0,1	0,1	0,6	1,2	-11,8	753,3	87,0	275,8	1,8
05.02.2021	0,1	0,1	0,5	1,6	-15,5	760,1	83,8	298,4	1,9
06.02.2021	0,1	0,05	0,3	2,5	-12,6	763,5	81,8	335,1	2,3
07.02.2021	0,1	0,1	0,5	2	-11,0	763,7	86,4	284,4	2,1
08.02.2021	0,2	0,4	1,3	1,1	-11,8	766,2	85,9	149,1	1,3
09.02.2021	0,3	0,7	1,5	0,7	-14,3	766,3	88,8	75,0	0,4
10.02.2021	0,4	1,2	2	0,2	-15,9	766,0	82,3	30,0	3,0
11.02.2021	0,1	0,1	0,9	1,3	-12,5	768,4	82,9	75,2	1,0
12.02.2021	0,1	-	-	1,9	-14,8	771,4	85,1	177,3	1,8
13.02.2021	0,1	-	-	1,2	-13,1	768,6	87,5	279,9	0,9
14.02.2021	0,1	0,05	0,05	1,8	-8,4	766,6	83,8	129,5	1,4
15.02.2021	0,2	-	-	1,5	-14,2	770,2	84,9	177,4	2,0
16.02.2021	0,1	-	-	2	-7,3	760,9	88,4	146,5	1,1
17.02.2021	-	-	-	-	-13,3	766,8	75,3	34,0	1,8
18.02.2021	0,2	0,6	0,6	0,6	-18,3	770,0	80,6	183,6	1,5
19.02.2021	0,2	0,7	0,8	0,4	-11,5	766,8	77,0	219,6	1,1
20.02.2021	0,2	0,3	0,8	0,4	-7,9	766,2	74,0	110,1	2,0
21.02.2021	0,1	0,1	0,4	1,1	-6,5	762,8	88,4	70,5	2,0

22.02.2021	0,1	0,05	0,3	1,6	-11,4	770,8	79,6	84,5	2,0
23.02.2021	0,1	0,05	0,4	1,5	-15,0	776,5	67,6	110,1	1,3
24.02.2021	0,2	0,6	0,7	0,6	-7,0	766,9	90,8	138,1	1,6
25.02.2021	0,1	0,2	0,4	0,8	2,4	757,5	97,6	250,9	2,1
26.02.2021	0,1	0,2	0,4	1,1	2,4	751,1	97,9	250,5	2,4
27.02.2021	0,1	0,05	0,2	1,5	1,9	759,4	91,9	315,2	0,9
28.02.2021	0,1	0,05	0,3	1,5	1,0	762,2	92,8	238,1	1,3

Приложение Б

Таблица Б. Концентрация в долях ПДКсс загрязняющих веществ и метеорологических параметров на станции №11

	CO	NO	NO2	O3	T, °C	PO, мм.рт.ст	WD, град	WS, м/с	F, %
01.12.2020	0,1	0,2	0,2	0,4	1,4	766,1	86,8	186,0	3,0
02.12.2020	0,1	0,1	0,3	0,6	0,9	773,0	86,8	199,8	2,6
03.12.2020	0,1	0,1	0,4	0,6	-1,2	770,4	82,0	115,5	2,1
04.12.2020	0,1	0,1	0,6	0,3	-0,4	767,7	79,6	118,5	2,5
05.12.2020	0,1	0,1	0,3	0,8	1,9	766,6	86,1	168,8	3,3
06.12.2020	0,1	0,1	0,2	1,1	2,2	769,9	84,0	180,0	3,4
07.12.2020	0,05	0,1	0,4	1,4	-1,0	773,7	55,0	174,5	2,4
08.12.2020	0,1	0,1	0,6	1	-4,3	775,2	63,4	110,0	1,5
09.12.2020	0,1	0,1	0,9	0,9	-3,8	775,0	58,3	107,3	2,0
10.12.2020	0,1	0,4	1,3	0,3	-4,6	772,2	65,0	113,0	2,1
11.12.2020	0,1	0,4	1,4	0,05	-4,6	767,4	78,4	110,1	1,8
12.12.2020	0,1	0,2	1	0,2	-1,2	766,2	86,4	112,9	1,7
13.12.2020	0,1	0,1	0,9	0,2	-4,3	766,7	87,1	118,4	1,8
14.12.2020	0,1	0,1	0,9	0,3	-2,5	766,0	82,5	152,1	1,3
15.12.2020	0,1	0,2	0,6	0,1	-0,8	765,1	89,8	157,6	1,4
16.12.2020	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	759,9	92,1	193,1	2,7
17.12.2020	-	-	-	-	1,4	761,5	90,0	253,4	2,5
18.12.2020	0,1	0,1	0,8	0,3	-0,4	766,1	91,1	90,3	1,8
19.12.2020	0,1	0,1	0,6	0,05	1,6	763,8	95,5	174,5	1,5
20.12.2020	0,1	0,1	0,2	0,8	3,1	766,2	95,6	216,9	2,1
21.12.2020	0,1	0,1	0,2	0,8	0,8	767,3	93,3	214,0	2,9
22.12.2020	0,1	0,1	0,3	0,4	1,2	764,0	90,8	202,8	2,5
23.12.2020	0,1	0,1	0,5	0,5	-0,3	757,8	88,9	154,9	2,1
24.12.2020	0,1	0,1	0,3	0,8	1,9	753,8	91,1	183,1	2,8
25.12.2020	0,1	0,1	0,6	0,1	-0,6	752,1	92,3	73,3	1,5
26.12.2020	0,1	0,1	0,2	0,7	-3,7	753,5	88,3	62,1	1,8
27.12.2020	0,2	0,2	0,4	0,7	-3,6	760,9	83,5	141,7	1,8
28.12.2020	0,1	0,1	0,6	0,7	-2,0	764,1	83,8	121,3	3,1
29.12.2020	0,1	0,1	0,9	0,5	-2,0	759,7	80,6	113,0	3,5
30.12.2020	0,1	0,1	0,5	0,8	0,6	756,2	89,1	140,9	3,0
31.12.2020	0,1	0,2	0,6	0,2	1,3	757,6	93,3	126,9	1,9

01.01.2021	0,1	0,1	0,3	0,1	1,6	759,4	93,1	135,1	1,1
02.01.2021	0,2	0,1	0,4	0,05	1,1	757,3	95,4	87,4	1,3
03.01.2021	0,1	0,1	0,2	0,6	0,1	764,2	87,0	203,0	2,6
04.01.2021	0,1	0,2	0,6	0,05	-0,8	770,6	84,6	108,4	0,8
05.01.2021	0,1	0,1	0,5	0,3	-1,5	772,5	85,6	15,2	0,8
06.01.2021	0,1	0,1	0,2	1,1	-2,3	770,3	90,5	56,4	1,1
07.01.2021	0,1	0,1	0,1	1	-3,1	766,1	89,1	68,0	1,0
08.01.2021	0,1	0,1	0,2	0,7	-4,6	764,2	86,5	70,6	1,0
09.01.2021	0,1	0,1	0,4	0,5	-10,3	765,6	82,8	70,9	0,9
10.01.2021	0,1	0,6	0,9	0,9	-12,7	765,8	84,9	83,9	0,9
11.01.2021	0,1	0,1	0,2	0,6	-12,0	764,7	80,4	110,1	2,5
12.01.2021	0,1	0,1	0,2	0,6	-11,6	761,8	84,8	92,9	1,9
13.01.2021	0,1	0,5	1	0,7	-13,3	763,0	81,4	87,3	1,6
14.01.2021	0,2	0,6	0,9	0,9	-13,7	763,7	80,4	47,9	1,5
15.01.2021	0,1	0,4	0,6	1,1	-15,7	761,7	83,5	228,4	1,0
16.01.2021	0,1	0,6	0,9	0,9	-15,0	763,0	82,8	138,1	1,1
17.01.2021	0,2	0,8	1	1	-9,4	762,4	91,5	270,1	1,6
18.01.2021	0,1	1,2	1,4	0,4	-6,1	762,1	93,8	259,0	1,0
19.01.2021	0,1	0,9	1,1	0,8	-5,1	760,6	89,1	209,1	1,5
20.01.2021	0,1	0,2	0,6	0,9	-4,4	759,9	86,5	219,5	2,0
21.01.2021	0,1	0,3	0,9	0,5	-9,1	756,4	85,4	101,4	1,6
22.01.2021	0,1	0,4	1,1	0,2	-4,6	750,4	92,1	104,4	2,4
23.01.2021	0,1	0,1	0,3	1	1,7	750,1	90,8	177,3	2,3
24.01.2021	0,1	0,1	0,4	0,8	2,0	751,0	91,8	149,3	2,1
25.01.2021	0,1	0,1	0,5	0,5	3,4	750,3	91,4	143,6	1,9
26.01.2021	0,1	0,1	0,6	0,3	2,8	751,6	91,5	110,0	1,6
27.01.2021	0,1	0,1	0,4	0,5	1,7	748,7	90,6	145,0	0,9
28.01.2021	0,1	0,3	0,7	0,05	1,5	752,5	89,8	143,9	1,8
29.01.2021	0,1	0,1	0,3	0,4	-0,1	745,8	91,9	53,5	1,1
30.01.2021	0,1	0,1	0,4	0,1	-0,4	739,0	90,1	90,1	1,1
31.01.2021	0,1	0,1	0,6	0,8	-3,0	741,1	87,5	214,0	1,8
01.02.2021	0,1	0,1	0,2	1	-3,1	747,8	87,8	233,8	2,3
02.02.2021	0,1	0,1	0,6	0,6	-3,5	756,5	89,8	215,6	1,6
03.02.2021	0,1	0,1	0,6	0,8	-4,4	751,8	90,6	174,8	2,0
04.02.2021	0,1	0,1	0,1	1,4	-11,8	753,3	87,0	275,8	1,8
05.02.2021	0,1	0,2	0,05	1,6	-15,5	760,1	83,8	298,4	1,9
06.02.2021	0,05	0,1	0,05	2,2	-12,6	763,5	81,8	335,1	2,3
07.02.2021	0,05	0,1	0,05	2,1	-11,0	763,7	86,4	284,4	2,1
08.02.2021	0,05	0,1	0,1	1,8	-11,8	766,2	85,9	149,1	1,3
09.02.2021	0,1	0,3	0,9	1	-14,3	766,3	88,8	75,0	0,4
10.02.2021	0,2	0,7	1,7	0,05	-15,9	766,0	82,3	30,0	0,8
11.02.2021	0,1	0,1	0,5	1,2	-12,5	768,4	82,9	75,2	1,0
12.02.2021	0,05	0,1	0,2	2,1	-14,8	771,4	85,1	177,3	1,8
13.02.2021	0,1	0,1	0,3	2,3	-13,1	768,6	87,5	279,9	0,9
14.02.2021	0,05	0,1	0,2	2,3	-8,4	766,6	83,8	129,5	1,4
15.02.2021	0,05	0,1	0,2	2,5	-14,2	770,2	84,9	177,4	2,0

16.02.2021	0,05	0,1	0,1	2,6	-7,3	760,9	88,4	146,5	3,0
17.02.2021	0,1	0,1	0,4	2,1	-13,3	766,8	75,3	34,0	1,8
18.02.2021	0,1	0,2	0,8	1	-18,3	770,0	80,6	183,6	1,5
19.02.2021	0,1	0,3	0,9	1,2	-11,5	766,8	77,0	219,6	1,1
20.02.2021	0,1	0,3	1,7	0,3	-7,9	766,2	74,0	110,1	2,0
21.02.2021	0,1	0,1	0,6	1,6	-6,5	762,8	88,4	70,5	2,0
22.02.2021	0,1	0,1	0,3	2	-11,4	770,8	79,6	84,5	2,0
23.02.2021	0,1	0,1	0,7	1,7	-15,0	776,5	67,6	110,1	3,1
24.02.2021	0,1	0,2	1	1	-7,0	766,9	90,8	138,1	1,6
25.02.2021	0,05	0,1	0,3	1,4	2,4	757,5	97,6	250,9	2,1
26.02.2021	0,05	0,1	0,1	1,9	2,4	751,1	97,9	250,5	2,4
27.02.2021	0,05	0,1	0,1	1,9	1,9	759,4	91,9	315,2	0,9
28.02.2021	0,05	0,1	0,1	1,9	1,0	762,2	92,8	238,1	1,3