



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Исследование загрязнения воздуха в г. Санкт-Петербург в
весенний период»

Исполнитель Аксенова Мария Евгеньевна
(фамилия, имя, отчество)

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

Крюкова Светлана Викторовна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой

(подпись)

доктор физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Кузнецов Анатолий Дмитриевич

(фамилия, имя, отчество)

«12 » мая 2022 г.

Санкт-Петербург

2022

Содержание

	стр.
Введение	3
1 Загрязнение атмосферы	4
1.1 Физико-химические свойства атмосферы	4
1.2 Основные источники загрязнения воздуха и загрязняющие вещества	9
1.3 Нормативы загрязнения атмосферного воздуха	15
1.4 Метеорологические факторы загрязнения атмосферы	17
1.5 Последствия загрязнения атмосферы	20
2 Экологический мониторинг	22
2.1 Цели и задачи экологического мониторинга окружающей среды	22
2.2 Организация экологического мониторинга	23
2.3 Автоматические станции контроля атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге	27
3 Исследование загрязнения воздуха в городе Санкт-Петербург в весенний период	30
3.1 Анализ данных мониторинга загрязняющих веществ	30
3.2 Данные о метеорологических характеристиках в г. Санкт-Петербург за весенний период 2020 и 2021 годов	41
3.3 Анализ зависимостей между концентрацией загрязняющих веществ и метеорологическими параметрами	46
Заключение	49
Список используемых источников	50
Приложения	53

Введение

С развитием промышленности, расширением территории и увеличением количества населения Санкт-Петербурга в последние годы возрастает необходимость отслеживания экологической ситуации в городе, в частности, качества атмосферного воздуха. Для этого необходимо оценивать тип и количество вредных выбросов, а также влияние на жизнедеятельность человека.

Актуальность данной темы состоит в том, что антропогенное воздействие на атмосферу достигло больших масштабов, что в свою очередь повлияло на экологическую обстановку в мире и в частности в крупных городах по всему миру.

Для жителей таких регионов особенно важно, чтобы промышленная, транспортная и иная деятельность человечества, а точнее её влияние на качество и состав атмосферного воздуха, находилось под контролем и не представляло угрозы для жизнедеятельности человека.

Целью данной работы является анализ влияния метеорологических параметров на качество атмосферного воздуха в городе Санкт-Петербург в весенний период 2020 и 2021 годов.

Для достижения заданной цели необходимо выполнить ряд задач, а именно:

Провести анализ содержания загрязняющих веществ в Санкт-Петербурге за весну 2020 и 2021 гг.;

Провести анализ влияния погодных условий на значения концентраций загрязняющих веществ;

Сделать вывод о качестве атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге за весну 2020 и 2021 гг., опираясь на полученные данные.

Объектом данного исследования являются значения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ на 18 автоматизированных станциях экологического мониторинга атмосферного воздуха, размещённых на территории Санкт-Петербурга.

Предметом исследования являются данные о значениях концентраций загрязняющих веществ за март, апрель и май 2020 и 2021 годов, полученных с 18 станций Санкт-Петербурга.

Структура выпускной работы: данная работа состоит из введения, трех глав, подразделённых на подглавы, заключения, списка используемых источников и приложения.

Первая глава посвящена свойствам атмосферы и загрязняющим веществам в атмосферном воздухе. Вторая глава посвящена теме экологического мониторинга. Третья глава посвящена анализу содержания загрязняющих веществ в воздухе за рассматриваемый период в Санкт-Петербурге. В заключении были сделаны основные выводы по результатам исследования.

1 Загрязнение атмосферы

1.1 Физико-химические свойства атмосферы

Атмосфера - это газовая оболочка Земли, состоящая из различных газов и взвешенных частиц, которая удерживается вокруг планеты за счет силы гравитации [1].

Атмосфера достаточно не однородна по вертикали и горизонтали. Изменению подвергаются такие физические величины как давление, температура, состав, плотность и влажность воздуха, содержание и концентрация примесей, а также скорость ветра.

Достаточно резко эти изменения прослеживаются по вертикали, поэтому принято делить атмосферу на слои в вертикальном направлении. Для этого на данный момент руководствуются четырьмя признаками (или принципами): термический режим атмосферы (по изменению температуры с высотой); характер взаимодействия с подстилающей поверхностью; состав атмосферного воздуха и наличие в нем заряженных частиц; влияние атмосферы на летательные аппараты.

Чаще всего используют градацию по термическому признаку, так как она позволяет наиболее четко отметить различие в свойствах различных слоев атмосферы. По данной характеристике атмосферу принято разделять на пять слоев, которые представлены в таблице 1. Также там указаны средние высоты их границ и наименования переходных слоев. Высота атмосферных слоев не равномерна по земному шару. Она варьируется в зависимости от широты, времени года, метеорологической обстановки и других характеристик.

Таблица 1 - Основные и переходные слои в атмосфере

Слой атмосферы	Средняя высота верхней и нижней границ, км	Переходный слой
Тропосфера	0-12	Тропопауза
Стратосфера	12-50	Стратопауза
Мезосфера	50-85	Мезопауза
Термосфера	85-450	Термопауза
Экзосфера	От 450 и выше	

По составу воздуха атмосферу принято делить на гомосферу и гетеросферу.

Гомосфера расположена между земной поверхностью и высотой 95 км. Он состоит из таких основных газов как аргон, азот и кислород. Состав этого слоя и относительная молекулярная масса воздуха практически не изменяются с высотой.

Гетеросфера располагается на высоте выше 95 км. В её состав входят молекулярный азот и кислород, а также атомарные кислород О и азот N. Вследствие этого относительная молекулярная масса воздуха в данном слое уменьшается с высотой.

Также часто выделяют озоносферу на высоте 20 - 55 км, в которой сосредоточена основная масса озона, и ионосферу с высоты 50 - 60 км, где резко увеличивается содержание заряженных частиц.

По признаку взаимодействия атмосферы с земной поверхностью принято выделять пограничный слой и свободную атмосферу. В пограничном слое высотой до 1-1,5 км на характер движения значительное влияние оказывает

земная поверхность и силы турбулентного трения. Именно в этом слое наиболее ярко выражены суточные изменения метеорологических величин.

Внутри пограничного слоя также выделяют приземный слой высотой 50 - 100 м. В пределах этого слоя метеорологические величины, к примеру, такие как температура и скорость ветра, сильно изменяются с высотой.

В свободной атмосфере, то есть в слое выше 1 – 1,5 км, при достаточно грубом приближении турбулентным перемешиванием принято пренебрегать.

По влиянию атмосферы на летательные аппараты её принято делить на плотные слои и околоземное космическое пространство, нижняя граница которого определяется на высоте 150 км. В первом слое плотность слоев настолько велика, что в пределах него летательные аппараты с выключенной установкой не способны совершить ни одного оборота вокруг Земли. Они просто сгорят или потеряют свою скорость. В свою очередь в околоземном космическом пространстве летательные аппараты способны совершить не один такой оборот, и их количество увеличивается с высотой орбиты.

С точки зрения химического состава атмосфера является механической смесью нескольких газов. В таблице 2 представлены данные о составе сухого воздуха (газовая смесь без учета водяного пара) у поверхности Земли.

Как можно заметить, на долю основных газов (таких как аргон, азот, кислород) приходится около 99,96% от всего состава сухого воздуха.

Таблица 2 - Состав сухого воздуха у земной поверхности

Наименование газа	Объёмное содержание, % (отношение объема газа к общему объему смеси)	Относительная молекулярная масса	Плотность по отношению к воздуху
Азот	78,084	28,0134	0,967
Кислород	20,946	31,9988	0,105
Аргон	0,934	39,948	1,379
Углекислый газ	0,033	44,00995	1,529
Неон	$1,818 \cdot 10^{-3}$	20,183	0,695
Гелий	$5,239 \cdot 10^{-4}$	4,0026	0,138
Криптон	$1,14 \cdot 10^{-4}$	83,800	2,868
Водород	$5 \cdot 10^{-5}$	2,01594	0,070
Ксенон	$8,7 \cdot 10^{-6}$	131,300	4,524
Озон	$10^{-6} - 10^{-5}$	47,9982	1,624
Сухой воздух		28,9645	1,000

Самыми важными составными частями атмосферы являются водяной пар, углекислый газ и озон. Их значение в первую очередь определяется тем, что они достаточно сильно поглощают лучистую энергию и в результате этого оказывают существенное влияние на температурный режим земной поверхности и атмосферного воздуха.

Также углекислый газ является важной составляющей питания растений. Его поступление в атмосферу обусловлено процессами горения, гниения и дыхания, а расходуется он в процессе усвоения его растениями [2].

Говоря о составе атмосферы нельзя не упомянуть многочисленные взвешенные в нем твердые и жидкие частицы – аэрозоли, которые имеют как естественное, так и искусственное происхождение.

Содержание водяного пара достаточно не стабильно: оно колеблется от нескольких десятых процентов в областях с очень низкими температурами и может достигать 4% в областях с высокими температурами.

С развитием производственно-хозяйственной деятельности человека в атмосферу стало попадать все больше антропогенных примесей. Наибольшее значение среди них имеет диоксид серы, который является продуктом сжигания каменного угля и пр. [3].

1.2 Основные источники загрязнения воздуха и загрязняющие вещества

Источники загрязнения атмосферного воздуха могут иметь природный или антропогенный характер.

Природными источниками загрязнения воздуха служат вулканическая деятельность, пожары (причиной возникновения которых может являться антропогенный фактор), сильные бури, ветровая эрозия почв и горных пород, а также вынос морских солей с поверхности океана [4].

Вследствие вулканической деятельности в атмосферу выбрасывается большое количество веществ, например, водяной пар, диоксид серы, углекислый газ и азот [4].

Пожары могут возникнуть вследствие естественных условий среды (низкая влажность, высокие температуры на протяжении долгого промежутка времени могут привести к самовозгоранию, разряд молнии), но чаще всего это происходит по причине действий человека (брошенная непотушенная сигарета, горящая спичка, сжигание старой травы и листвы, бытовых отходов, мусора, огненная расчистка с помощью огня лесных площадей в сельскохозяйственных целях и т.д.) [5].

Сильные бури способны поднять в воздух песок, пыль и другие загрязняющие вещества и перенести их на большие расстояния.

Вследствие ветровой эрозии почв происходит, выдув и перенос мелких почвенных частиц ветром. Интенсивность эрозии в основном зависит от скорости ветра, устойчивости почв, формы рельефа, количества растительного покрова, а также выпас скота, уничтожение растительности для сельскохозяйственных целей и агротехнические предприятия [6].

Вынос морских солей с поверхности морей и океанов происходит за счёт разбрызгивания капель морской воды при волнении моря с пенообразованием. Затем раздробливание капель на более мелкие частицы и молекулярное испарение приводит к образованию большого количества аэрозолей, переносимых воздушными потоками в атмосфере. Стабильность морских аэрозолей в атмосфере зависит от их дисперсности и метеорологических условий [7].

К основным антропогенным источникам загрязнения атмосферы относятся промышленность, транспорт, сельское хозяйство.

Промышленные источники загрязнений атмосферного воздуха подразделяются на источники выделения и источники выбросов.

К числу первых относят технологические устройства (такие как аппараты или установки).

Ко вторым относят трубы, вентиляционные шахты и другие различные устройства, с помощью которых загрязнители поступают в атмосферу.

К основным промышленным источникам загрязнений относят предприятия энергетики, металлургии, стройматериалов, химической и нефтедобывающей промышленности, производства удобрений.

В энергетической отрасли наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят тепловые электростанции, которые используют до 80% всего добываемого топлива. При сжигании топлива в воздух выделяются такие вещества как оксиды азота, зола и диоксид серы. Также при сжигании топлива потребляется большое количество кислорода.

От предприятий нефтедобывающей и химической промышленности в атмосферу поступают углеводородные соединения, диоксид серы, оксиды азота, сероводород, аммиак, фенол, бензол и другие вещества.

В металлургической отрасли металлы обычно производятся из оксидных и сульфидных руд, а в доменных процессах в качестве восстановителя используется металлургический кокс. В процессе коксования в воздух попадают такие вещества как аммиак, фенолы и другие. Применение различных видов топлива приводит к образованию газообразных отходов как при сжигании топлива. В результате работы черной металлургии в атмосферу попадают оксид углерода, пыль, диоксид серы, оксид азота, фенол, аммиак, углеводороды, сероводороды и другие вещества.

Химическая целлюлозно-бумажная и машиностроительная промышленности в процессе производства различных продукций выбрасывают в атмосферу огромное количество вредных веществ (углеводороды, сероводороды, хлористые и фтористые соединения и т.д.)

Что касается транспорта, к числу основных источников загрязнения воздуха в крупных городах относится автомобильный транспорт. При эксплуатации транспортных средств в атмосферу вместе с отработанными газами и испарениями попадают вредные вещества (углеводороды, оксид углерода, оксиды азота). Так как отработавшие газы поступают в тропосферу, вредные вещества находятся в зоне дыхания человека, что делает

автомобильный транспорт наиболее опасным источником загрязнения, особенно вблизи автомагистралей.

Также важно упомянуть про авиационный, морской и речной транспорты, которые также оказывают значительное влияние на загрязнение атмосферы. В первую очередь это касается территорий прилегающих к аэропортам и портовых городов вблизи причалов.

Сельское хозяйство вносит вклад в загрязнение атмосферного воздуха за счёт использования средств для защиты и удобрения растений, а также наличия крупных животноводческих ферм и птицефабрик [8].

Таким образом, можно отметить, что наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха, особенно в крупных городах, вносит деятельность человека.

Основные загрязняющие вещества:

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

В данной работе рассматриваются частицы PM_{2.5}, то есть частицы вещества диаметром 2.5 мкм и менее. В целом, PM_{2.5} можно описать как

тонкодисперсные частицы. Для сравнения, толщина человеческого волоса составляет около 100 мкм. Таким образом, на сечении волоса можно расположить примерно 40 тонкодисперсных частиц. Частицы этого размера составляют большую часть пыли и попадают глубоко в легкие, в отличие от более крупных частиц, которые попадают только в нос, в рот или в горло. Химический состав мелкой пыли, присутствующей в атмосфере крупных городов, может быть разным и зависит от нескольких факторов. К примеру, таких как близость дорог, стройки и различных производств [9].

СО (оксид углерода, угарный газ) - очень ядовитый газ без цвета, запаха и вкуса. В воде он почти не растворяется и не вступает с ней в химическую реакцию.

Образуется угарный газ при неполном сгорании древесины, ископаемого топлива и табака, при сжигании твердых отходов и частичном анаэробном разложении органики. Примерно 50 % угарного газа образуется в связи с деятельностью человека, в основном в результате работы двигателей внутреннего сгорания автомобилей. Наличие высокой концентрации угарного газа в воздухе приводит к повышению температуры приземного слоя атмосферы.

Из-за своей ядовитости оксид углерода очень опасен для организма человека. Опасность усугубляется тем, что этот газ незаметен для человека и отравление наступает незаметно. В закрытом помещении (например, в гараже), наполненном угарным газом, снижается способность гемоглобина эритроцитов переносить кислород, в результате чего происходит нехватка кислорода в организме. Из-за этого у человека замедляются реакции, ослабляется восприятие, появляются головная боль, сонливость, тошнота. Под воздействием большого количества угарного газа может произойти обморок, случиться кома и а также наступить смерть.

NO_2 (диоксид азота) - бурый ядовитый газ с характерным запахом, хорошо заметен в атмосфере большинства крупных городов, растворим в воде. Диоксид азота применяют в производстве азотной кислоты.

Основными источниками данного газа в городах являются выхлопные газы автомобилей и выбросы с теплоэлектростанций. Кроме того, диоксид азота образуется при сжигании твердых отходов, так как этот процесс происходит при высоких температурах горения.

В значительных концентрациях диоксид азота имеет резкий сладковатый запах, раздражает нижний отдел дыхательной системы, особенно легочную ткань, ухудшая тем самым состояние людей, страдающих астмой, хроническими бронхитами и эмфиземой легких. Диоксид азота повышает предрасположенность к острым респираторным заболеваниям, например пневмонии.

SO_2 (сернистый газ) - Самым крупным источником SO_2 в атмосфере является сжигание ископаемого топлива на электростанциях и других промышленных объектах. К более мелким источникам выбросов SO_2 относятся: промышленные процессы, такие как добыча металла из руды; а также локомотивы, корабли и другие транспортные средства и тяжелое оборудование, сжигающие топливо с высоким содержанием серы. Кратковременное воздействие SO_2 может нанести вред дыхательной системе человека и затруднить дыхание. Люди, страдающие астмой, особенно дети, чувствительны к этим последствиям [10].

O_3 (озон) – бесцветный газ, который имеет характерный запах, служащий признаком фотохимического смога.

Образуется при расщеплении либо молекулы кислорода (O_2), либо диоксида азота (NO_2) с образованием атомарного кислорода (O), который затем присоединяется к другой молекуле кислорода. В промышленности его

получают из воздуха или кислорода в озонаторах действием электрического разряда.

Хотя в стратосфере озон играет важную роль как защитный экран, поглощающий коротковолновую ультрафиолетовую радиацию, в тропосфере он как сильный окислитель разрушает растения, строительные материалы, резину и пластмассу.

Вдыхание его человеком вызывает кашель, боль в груди, учащенное дыхание и раздражение глаз, носовой полости и гортани. Воздействие озона приводит также к ухудшению состояния больных хроническими астмой, бронхитами, эмфиземой легких и страдающих сердечнососудистыми заболеваниями [11].

1.3 Нормативы загрязнения атмосферного воздуха

Существуют определённые нормативы для оценки загрязнения воздуха. Они зависят от воздействия загрязняющих веществ, присутствующих в воздухе, на здоровье населения. При этом рассматривается не только значение концентраций веществ в воздухе, но и продолжительность временного интервала, в течение которого человек дышит загрязненным воздухом. Поэтому для загрязняющих веществ установлено 2 норматива:

«Предельно допустимые максимально–разовые концентрации» - норматив, рассчитанный на короткий период воздействия загрязняющих веществ;

«Предельно допустимые среднесуточные концентрации» – норматив, рассчитанный на более продолжительный период воздействия (8 часов, сутки,

по некоторым веществам год). В Российской Федерации данный норматив устанавливается для 24 часов.

ПДК – предельная допустимая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе – концентрация, не оказывающая в течение всей жизни прямого или косвенного неблагоприятного действия на настоящее или будущее поколение, не снижающая работоспособности человека, не ухудшающая его самочувствия и санитарно-бытовых условий жизни.

ПДК_{МР} – предельно допустимая максимальная разовая концентрация химического вещества в воздухе населенных мест. Эта концентрация, при вдыхании которой в течение 20–30 мин не должны произойти рефлекторные реакции в организме человека.

ПДК_{СС} – предельно допустимая среднесуточная концентрация химического вещества в воздухе населенных мест. Эта концентрация не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неопределенно долгом вдыхании.

Класс опасности - показатель, характеризующий степень опасности для организма человека загрязняющих веществ.

Выделяют следующие классы опасности:

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

Ниже приведена таблица 3, в которой представлены данные с предельно допустимыми концентрациями загрязняющих веществ в РФ [11].

Таблица 3 - Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в РФ

№	Вещество	Класс опасности	ПДК _{МР} , мг/м ³	ПДК _{СС} , мг/м ³
1	Оксид углерода	4	5	3
2	Оксид серы (IV)	3	0,5	0,05
3	Диоксид азота	2	0,2	0,04
4	Озон	1	0,16	0,03
5	Взвешенные вещества PM _{2.5}	3	0,16	0,035

1.4 Метеорологические факторы загрязнения атмосферы

Загрязнение атмосферного воздуха тесно связано метеорологической ситуацией над рассматриваемой территорией. К метеорологическим факторам, влияющим на концентрацию загрязняющих веществ в приземном слое воздуха, относятся скорость и направление ветра, температурная стратификация атмосферы, температура воздуха в момент выброса, количество и интенсивность осадков, туманы [12].

Ветер может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на загрязнение атмосферного воздуха.

При достаточно высокой скорости ветра, загрязняющие вещества могут быстрее рассеиваться над рассматриваемой территорией. Ветер с низкой скоростью ветра или штиль в свою очередь способен повлиять на развитие застойных явлений и накоплению веществ в воздухе.

Направление ветра также играет немало важную роль в распространении загрязняющих веществ, хотя в городских условиях с наличием большого количества источников выбросов загрязняющих веществ и особенной внутригородской циркуляцией воздуха сложно установить прямую зависимость между направлением ветра и загрязненностью атмосферного воздуха. Но, тем не менее, эта связь есть и жители жилых массивов, расположенных вблизи промышленных районов или по направлению ветра от них находятся под негативным влиянием от загрязняющих веществ.

Однако влияние ветра зависит и от параметров источника выброса (типа и высоты трубы, качества очистительной техники и др.). Поэтому для разных территорий будет иметь значение различная скорость и направление ветра [4].

В зависимости от распределения температуры воздуха по высоте выделяют три типичных состояния атмосферы: безразличное, устойчивое и неустойчивое.

При безразличном состоянии атмосфера не будет способствовать перемещению объема воздуха вверх или вниз. С точки зрения рассеивания загрязняющих веществ такое состояние атмосферы нельзя считать самым вредным, но и положительное влияние оно не оказывает. Оно может способствовать образованию застоя в воздухе.

При неустойчивом состоянии атмосферы опускающийся объем воздуха будет всегда холоднее и тяжелее воздуха в окружающей его атмосфере, и поэтому будет стремиться вниз, и наоборот, поднимающийся всегда будет теплее и легче окружающего воздуха, поэтому будет выталкиваться. Такое состояние атмосферы является наиболее благоприятным для рассеивания загрязняющих веществ.

При устойчивом состоянии атмосферы рассматриваемый объем воздуха будет стремиться вернуться к своему исходному положению. То есть, если

объем воздуха опускается, он будет стремиться вернуться наверх, а если поднимается, то будет стремиться вниз. Данное состояние атмосферы является самым неблагоприятным для рассеивания загрязняющих веществ [2].

Также особое значение в этом вопросе играет инверсия температур. Это состояние, при котором воздух с высотой не охлаждается, а наоборот, нагревается. Ее возникновению способствуют штили, туманы, низкая облачность или вторжение больших масс теплого или холодного воздуха.

Инверсионный слой, который формируется на границе холодного и теплого воздуха, создает препятствие рассеиванию загрязняющих веществ. Таким образом, рассеивание не происходит, и значение концентраций загрязняющих веществ начинает повышаться.

Важно отметить, что различают приземные и приподнятые инверсии. Приземные инверсии оказывают влияние при наличии низких источников выбросов, а приподнятые – при наличии высоких источников. Поэтому важно при оценке состояния качества атмосферного воздуха учитывать высоту источника загрязнения и тип инверсии [7].

На распространение загрязняющих веществ в атмосферном воздухе оказывает влияние температура воздуха в момент выброса и температура выбрасываемой газовой смеси.

При расчете рассеивания важно определять значение разности этих температур. Температуру выбросов определяют по действующим технологическим нормативам рассматриваемого производства, а температуру атмосферного воздуха определяют с помощью фактических измерений. Если разность температур равна нулю, то выброс считают холодным, а если разность больше, то газовой смесь считается нагретой.

Холодные выбросы рассеиваются в атмосферном воздухе значительно хуже. Следовательно, чем теплее атмосферный воздух и меньше разности температур, тем больше значения приземной концентрации загрязняющих веществ.

Осадки оказывают положительное влияние на очищение атмосферы от загрязняющих веществ. Но при прямом переносе примесей с источников выбросов роль осадков прослеживается в меньшей степени. Также при значительном загрязнении атмосферы осадки могут стать кислотными и оказать негативное воздействие на состояние земной поверхности и здоровье человека.

Туманы в большинстве случаев являются следствием низкой скорости ветра, инверсии и застоя воздуха. Таким образом, они скорее служат явным признаком возможного повышения концентрации загрязняющих веществ. Но, тем не менее, туманы способны усилить токсичный характер воздействия загрязняющих веществ на человека. Вредные примеси способны частично поглощаться водными каплями, что иногда может приводить к образованию новых веществ. К примеру, сернистый газ, растворяясь в каплях тумана, приводит к образованию сернистой кислоты, что в свою очередь обладает большей токсичностью [12].

1.5 Последствия загрязнения атмосферы

Наличие различных примесей в атмосферном воздухе может приводить к различным глобальным процессам, например к таким как глобальное потепление, которое сейчас является одним из главных и обсуждаемых мировых проблем.

Вследствие потепления климата может произойти рост облачности, особенно над крупными промышленными городами. Это в свою очередь может привести к увеличению количества осадков, росту числа дней с туманами, образованию фотохимического смога и усилению парникового эффекта. Также снизится поток солнечной радиации и может ухудшиться общая видимость [4].

Значительное влияние загрязнение атмосферного воздуха оказывается на озоновый слой. Наличие высокой концентрации фреонов, фтора, хлора, углерода и оксида азота негативно воздействуют на озон и тем самым уменьшают его концентрацию в атмосфере. Впоследствии это может привести к увеличению поступающей ультрафиолетовой радиации, которая в большом количестве губительна для всех живых организмов [13].

Загрязнённый атмосферный воздух может привести к различного рода недомоганиям, болезням у человека и даже к смертельным исходам. Наиболее опасными для человека являются органические вещества и тяжелые металлы.

Природная пыль, которая образуется в период цветения растений, пыль в виде грибов, спор, бактерий приводит к аллергическим заболеваниям. Органическая пыль способна быть в 3-8 раз токсичнее, чем неорганическая. Особенно опасной считается пыль в сочетании с диоксидом серы.

Тяжелые металлы, к примеру, свинец, способны оказывать негативное воздействие на центральную нервную систему и систему кровообращения.

Высокие концентрации диоксида серы, углеводородов, азота, озона и других загрязняющих веществ могут привести к ухудшению состояния здоровья у людей с легочными заболеваниями, раздражению слизистых оболочек глаз, носа и горла.

Животные также способны подвергаться воздействию загрязняющих атмосферу веществ, что может привести к тяжелым заболеваниям или даже к гибели.

Растения считаются более восприимчивыми к атмосферным загрязнениям, чем животные. Вследствие этого снижается урожайность и качество сельскохозяйственных культур, замедление роста и развитие лесов и пастбищ.

В итоге можно сделать вывод о том, что увеличение содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе может привести к повышению заболеваемости населения, снижению продуктивности животноводства и сельского хозяйства в целом, а также других отраслей народного хозяйства [3].

2 Экологический мониторинг

2.1 Цели и задачи экологического мониторинга окружающей среды

Экологический мониторинг окружающей среды – это система наблюдений за состоянием окружающей среды, так же как и компонентов природной среды, естественных экологических систем, за протекающими в них процессами и явлениями, а также оценка и прогноз изменений состояния окружающей среды [1].

Основной целью экологического мониторинга является создание информационной системы, позволяющей: получить достоверные сведения о состоянии окружающей среды; оценить показатели состояния и функциональной целостности основных компонентов окружающей среды; выявить причины изменения показателей и дать оценку данным изменениям с точки зрения оказываемых ими последствий; определить необходимые меры

для тех случаев, когда целевые показатели данных экологических условий не достигаются; создать предпосылки для определения мер по исправлению негативных последствий до того, как будет нанесен ущерб природной среде или хозяйству и жизнедеятельности человека [1].

Для достижения поставленной цели экологического мониторинга требуется решить ряд задач. Наиболее важными из них являются: сбор данных, анализ и оценка изменений и колебаний климата (включая сравнение климата прошлых лет с климатом на данный момент), изменений состояния климатической системы, выявление естественных и антропогенных факторов, влияющих на изменение климата, и критических элементов биосферы, а также оценка воздействий, которые быстрее всего могут привести к климатическим изменениям [1].

Помимо системы климатического мониторинга не менее важным условием решения поставленных задач является проведение широкой научно-исследовательской программы, а также моделирования климатических колебаний и изменений.

2.2 Организация экологического мониторинга

Организацию и осуществление экологического мониторинга окружающей среды обеспечивают специально уполномоченные федеральные органы исполнительной власти и подведомственные им федеральные службы и агентства. Эти органы формируют государственную систему наблюдения за состоянием окружающей среды и обеспечивают ее функционирование; взаимодействуют с органами государственной власти субъектов РФ по вопросам организации и осуществления экологического мониторинга, формирования и обеспечения функционирования территориальных систем наблюдения за состоянием природной среды на территориях субъектов РФ;

осуществляют с участием органов исполнительной власти субъектов РФ сбор, хранение, аналитическую обработку и формирование информационных ресурсов и состоянии окружающей среды и использовании природных ресурсов [14].

Основу государственной наблюдательной сети составляют стационарные и передвижные пункты наблюдений.

В состав сети наблюдений за уровнем загрязнения окружающей среды входят наблюдательные сети: за уровнем загрязнения атмосферного воздуха, морских вод и донных отложений, поверхностных водных объектов, почвы, снежного покрова, за уровнем радиоактивного загрязнения природной среды, за фоновым состоянием окружающей среды и трансграничным переносом загрязняющих веществ, за химическим составом осадков.

Формирование государственной наблюдательной сети и обеспечение ее функционирования являются одними из основных направлений государственного регулирования деятельности в области гидрометеорологии и осуществляются Росгидрометом через территориальные органы и научно-исследовательские учреждения (НИУ).

Совершенствование и развитие государственной наблюдательной сети осуществляется в соответствии с утвержденными Росгидрометом планами и программами, а также другими документами, регламентирующими ее организацию и функционирование.

Пункты наблюдений за уровнем загрязнения окружающей среды организуются преимущественно в промышленных центрах или вблизи них в соответствии с требованиями нормативных и руководящих документов: ГОСТ 17.2.3.01 - для контроля за уровнем загрязнения атмосферного воздуха; ГОСТ 17.1.3.08 - для контроля за уровнем загрязнения морских вод; РД 52.24.309-92. - для контроля за уровнем загрязнения поверхностных вод суши и др [15].

По руководящему документу ГОСТ 17.2.3.01, переизданного в июле 2005 года устанавливаются три категории постов наблюдений за загрязнением атмосферы: стационарный, маршрутный и передвижной.

Стационарный пост обеспечивает непрерывную регистрацию содержания загрязняющих веществ или регулярного отбора проб воздуха для его последующего анализа.

Маршрутный пост используется для регулярного отбора проб воздуха в фиксированной точке местности при наблюдениях, которые проводятся с помощью передвижного оборудования.

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

Вне зависимости от категории, каждый пост должен быть размещен на открытой, проветриваемой со всех сторон территории с непылящим покрытием, например, асфальте, твердом грунте или газоне, во избежание искажения результатов измерений.

Места отбора проб при подфакельных наблюдениях выбирают на разных расстояниях от конкретного источника загрязнения с учетом закономерностей распространения загрязняющих веществ в атмосфере.

Число постов и их размещение определяется с учетом численности населения, площади рассматриваемой территории, рельефа местности, а также развития промышленности, сети автомагистралей и расщепленности мест отдыха и курортных зон.

Существуют четыре программы наблюдений: полная, неполная, сокращенная и суточная.

По полной программе наблюдений получают информацию о разовых и среднесуточных концентрациях. Их выполняют ежедневно путём непрерывной

регистрации с помощью автоматических устройств или дискретно через равные промежутки времени не менее четырех раз.

По неполной программе определяют разовые концентрации ежедневно три раза в сутки.

По сокращенной программе определяют разовые концентрации 2 раза в сутки (при температуре ниже -45°C и в местах, где среднемесячные концентрации составляют одну двадцатую разовой ПДК или меньше нижнего предела диапазона измерений примеси используемым методом).

По программе суточного отбора получают информацию о среднесуточной концентрации.

Среднесуточные концентрации определяют как среднеарифметическое значение разовых концентраций, полученных по полной программе за равные промежутки времени, а также по данным непрерывной регистрации в течение суток.

Среднемесячные значения концентраций определяют как среднеарифметическое значение всех разовых или среднесуточных концентраций, полученных в течение месяца.

Среднегодовую концентрацию определяют как среднеарифметическое значение разовых или среднесуточных концентраций, полученных в течение года.

Одновременно с отбором проб воздуха определяют такие метеорологические параметры как: направление и скорость ветра, температуру воздуха, состояние погоды и подстилающей поверхности [16].

2.3 Автоматические станции контроля атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге

В Санкт-Петербурге мониторинг качества атмосферного воздуха осуществляется с использованием Автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга (АСМ-АВ).

АСМ-АВ является комплексом взаимодействующих технических и программных средств, организационных процедур и услуг по обеспечению функционирования технических и программных средств, необходимых для экологического мониторинга атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге.

Структура АСМ-АВ состоит из двух уровней: измерительной части, информационного и технического сервиса.

На данный момент в состав АСМ-АВ входят: испытательная лаборатория, 25 автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, 2 стационарных поста наблюдений, 3 автоматические метеорологические станции, 3 передвижные лаборатории мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. Станции расположены в 18 административных районах Санкт-Петербурга [21]. Схема расположения станций представлена ниже на рис. 1.

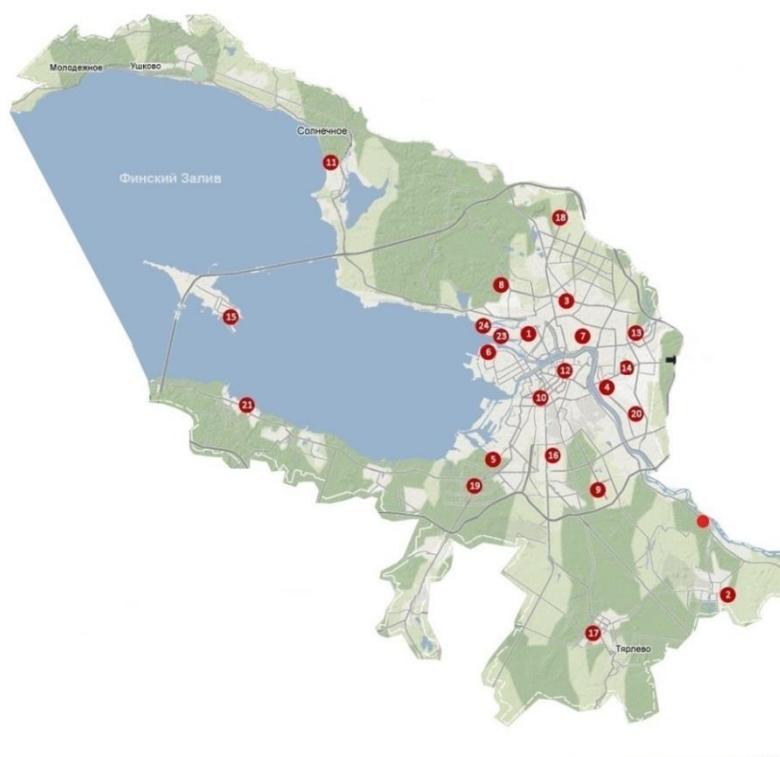


Рис.1- Схема размещения автоматических станций [16]

Состав АСМ-АВ, расположенных во всех районах города и которые будут рассматриваться в данной работе: № 1 (ул. Профессора Попова, д. 48, Петроградский р-н); № 2 (г. Колпино, Красная ул., д. 1А, Колпинский р-н); № 3 (ул. Карбышева, д.7, Выборгский р-н); № 4 (Малоохтинский пр., д. 98, Красногвардейский р-н); № 5 (пр. Маршала Жукова, д. 30, корп. 3, Кировский р-н); № 6 (Шпалерная ул., д. 56, Центральный р-н, №7 на схеме); № 7 (Новосельковская ул., д. 23, Приморский р-н, №8 на схеме); №8 (Малая Балканская ул., д. 54, Фрунзенский р-н, №9 на схеме); № 9 (Московский пр., д. 19, Адмиралтейский р-н, №10 на схеме); № 10 (г. Сестрорецк, ул. М. Горького, д. 2, Курортный р-н, №11 на схеме); № 11 (г. Кронштадт, ул. Ильмянинова, д. 4, Кронштадтский р-н, №15 на схеме); № 12 (ул. Севастьянова, д.11, Московский р-н, №16 на схеме); № 13 (г. Пушкин, Тиньков пер., д. 4, Пушкинский р-н, № 17 на схеме); № 14 (ул. Ольги Форш, д. 6, Калининский р-н, №18 на схеме); № 15 (пр. Ветеранов, д. 167, корп. 6, стр.1, Красносельский р-н, №19 на схеме); № 16

(ул. Тельмана, д. 24, Невский р-н, №20 на схеме), № 17 (г. Ломоносов, ул. Федюнинского, д. 3, Петродворцовый р-н, 21 на схеме); № 18 (В.О., Средний пр., д. 74, Василеостровский р-н, №24 на схеме).

На автоматических станциях в зависимости от программы мониторинга осуществляется круглосуточное определение (каждые 20 минут) взвешенных частиц диаметром менее 2,5 мкм ($PM_{2.5}$), или взвешенных частиц диаметром менее 10 мкм (PM_{10}), диоксида серы, оксида углерода, диоксида азота, оксида азота, озона. На некоторых станциях определяется фенол, ароматические углеводороды. На станции №8 отбираются пробы на бензапирен [18].

Директивами ЕС и нормативными документами ВОЗ рекомендованы виды классификации городских станций: по типам зоны наблюдения (природная, жилая, торговая, промышленная) и по типам пунктов наблюдения (фоновый, городской, промышленный, автотранспортный).

В Санкт-Петербурге рассматриваются такие функциональные зоны как: промышленные, жилые, рекреационные.

Наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге вносит автотранспорт.

По типам пунктов наблюдения в Санкт-Петербурге условно выделяют: фоновый тип на станции №22, расположенной на территории Ленинградской области не далеко от восточной границы города; городской тип пунктов наблюдений в г. Сестрорецке и г. Зеленогорске (станции расположены в пределах городов, но вне прямого влияния источников загрязнения); 7 станций автотранспортного типа пункта наблюдений и 14 станций промышленного типа пункта наблюдений [17].

3 Исследование загрязнения воздуха в г. Санкт-Петербург в весенний период

Исходными данными являются данные с 18 станций мониторинга атмосферного воздуха, расположенных на территории Санкт-Петербурга, по одной из каждого района города. Данные среднесуточных концентраций загрязняющих веществ в долях ПДК_{СС} находятся в свободном доступе на сайте экологического портала Санкт-Петербурга [18].

3.1 Анализ данных мониторинга загрязняющих веществ

На рис.2-6 представлены диаграммы распределения ПДК_{СС} загрязняющих веществ CO, NO₂, SO₂, O₃, PM_{2.5}, построенные по данным таблиц 1, 2 и 3 из Приложения.

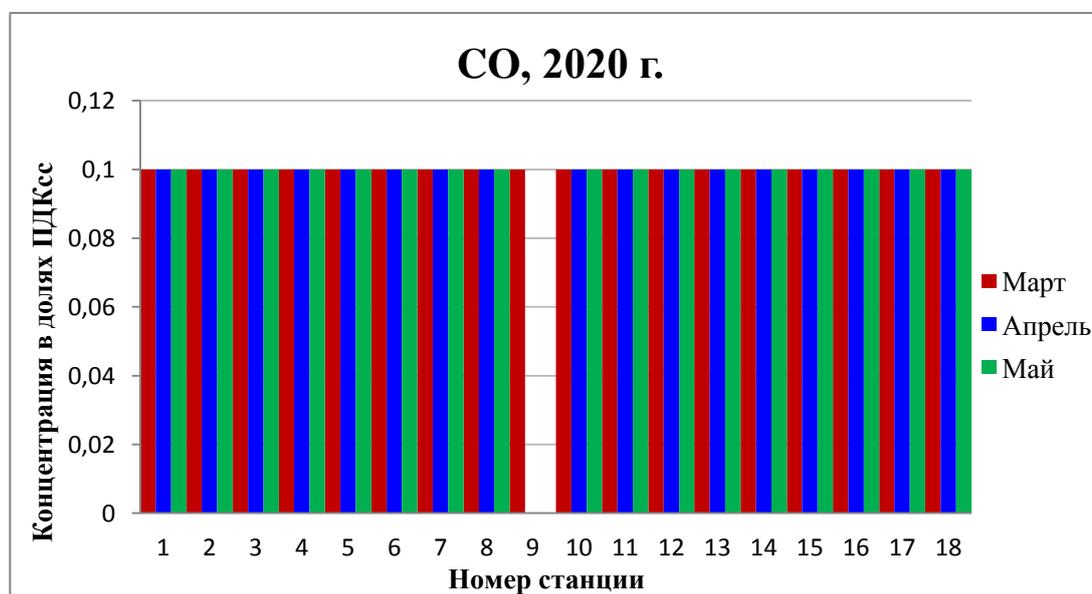


Рис. 2 - Концентрация CO в весенний период 2020 г.

На всех рассматриваемых станциях концентрация CO не превышала значение 0,1 ПДК_{СС} в течение всех трех рассматриваемых месяцев.

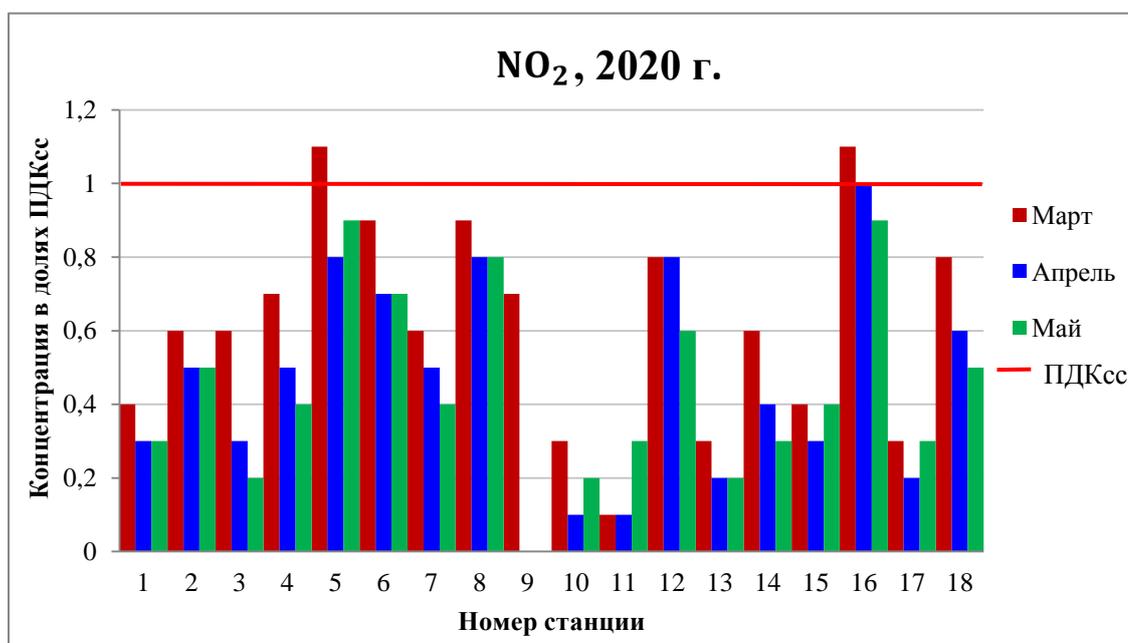


Рис. 3 - Концентрация NO₂ в весенний период 2020 г.

Максимальные значения концентрации NO₂ наблюдались:

- в марте на станциях №5 и №16 и составили 1,1 ПДК_{сс}, что говорит о превышении максимально допустимой концентрации загрязняющих веществ в этот период;
- в апреле на станции №16 и составляло 1 ПДК_{сс}, т.е. максимально допустимое значение концентрации загрязняющего вещества;
- в мае на станциях №5 и №16 и составили 0,9 ПДК_{сс}.

Минимальные значения концентрации NO₂ наблюдались:

- в марте на станции №11 и составляло 0,1 ПДК_{сс};
- в апреле на станциях №10 и №11 и составили 0,1 ПДК_{сс};
- в мае на станциях №3, №10 и №13 и составили 0,2 ПДК_{сс}.

В среднем, наибольшие значения концентрации NO₂ чаще наблюдались в марте, а наименьшие - в мае.

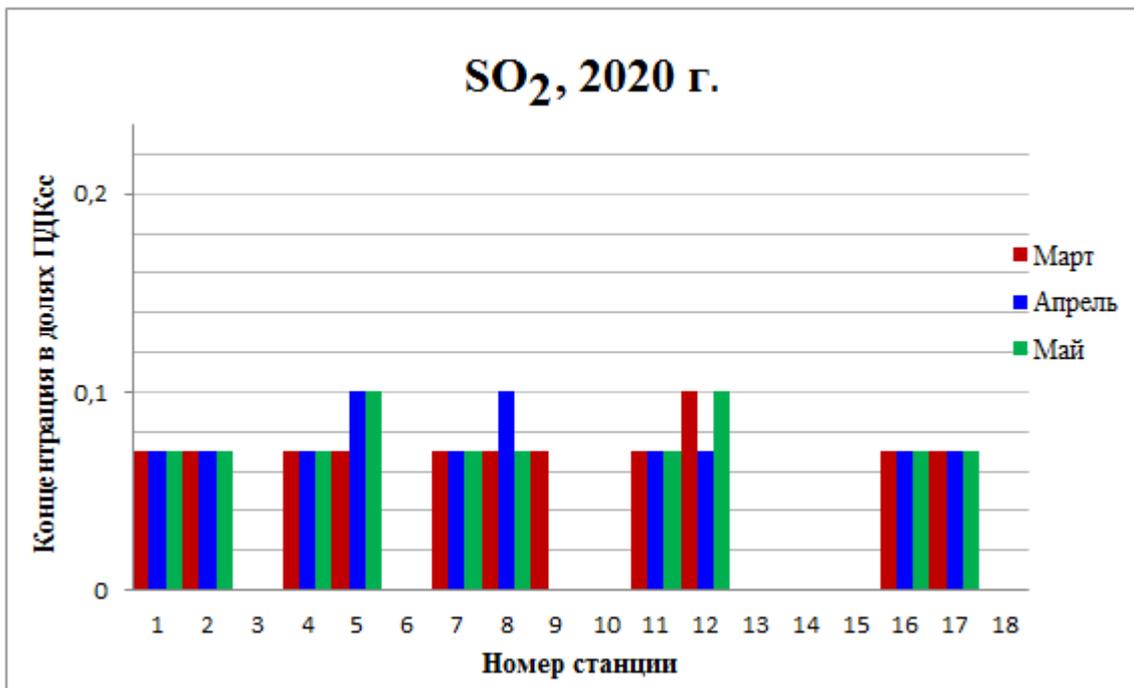


Рис. 4 - Концентрация SO₂ в весенний период 2020 г.

Максимальные значения концентрации SO₂ наблюдались:

- в марте на станции №12 и составляло 0,1 ПДК_{сс};
- в апреле на станциях №5 и №8 и составляли 0,1 ПДК_{сс};
- в мае на станциях №5 и №12 и составляли 0,1 ПДК_{сс};

На остальных станциях в рассматриваемый период времени и на станциях №5 в марте, №8 в апреле и мае и на станции №12 в апреле значения ПДК_{сс} были менее 0,1.

Превышений предельно допустимых концентраций загрязняющего вещества не наблюдалось.

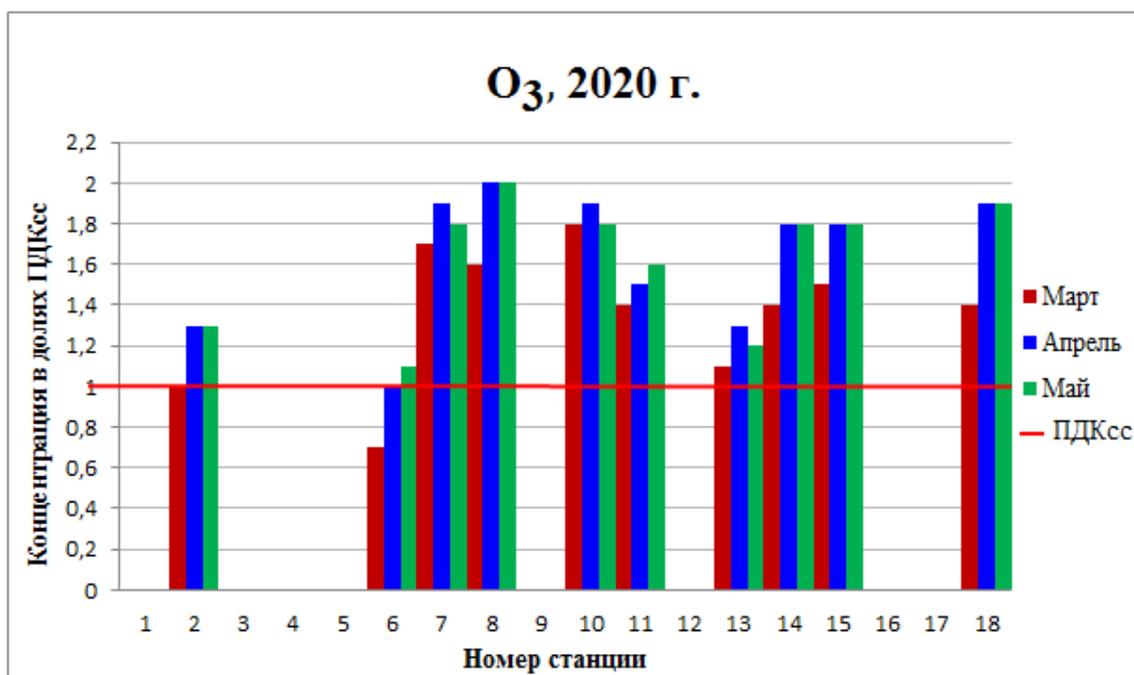


Рис.5 - Концентрация O₃, в весенний период 2020 г.

Максимальные значения концентрации O₃, наблюдались:

- в марте на станции №10 и составляло 1,8 ПДК_{сс};
- в апреле на станции №8 и составляло 2 ПДК_{сс};
- в мае на станции № 8 и составляло 2 ПДК_{сс}.

Минимальные значения концентрации O₃, наблюдались:

- в марте на станции №6 и составляло 0,7 ПДК_{сс};
- в апреле на станции №6 и составляло 1 ПДК_{сс};
- в мае на станции №6 и составляло 1,1 ПДК_{сс}.

Практически на всех станциях, за исключением станции №6, наблюдалось превышение предельно допустимых концентраций загрязняющего вещества.

В среднем, наибольшие значения концентрации O₃, чаще наблюдались в апреле, а наименьшие - в марте.

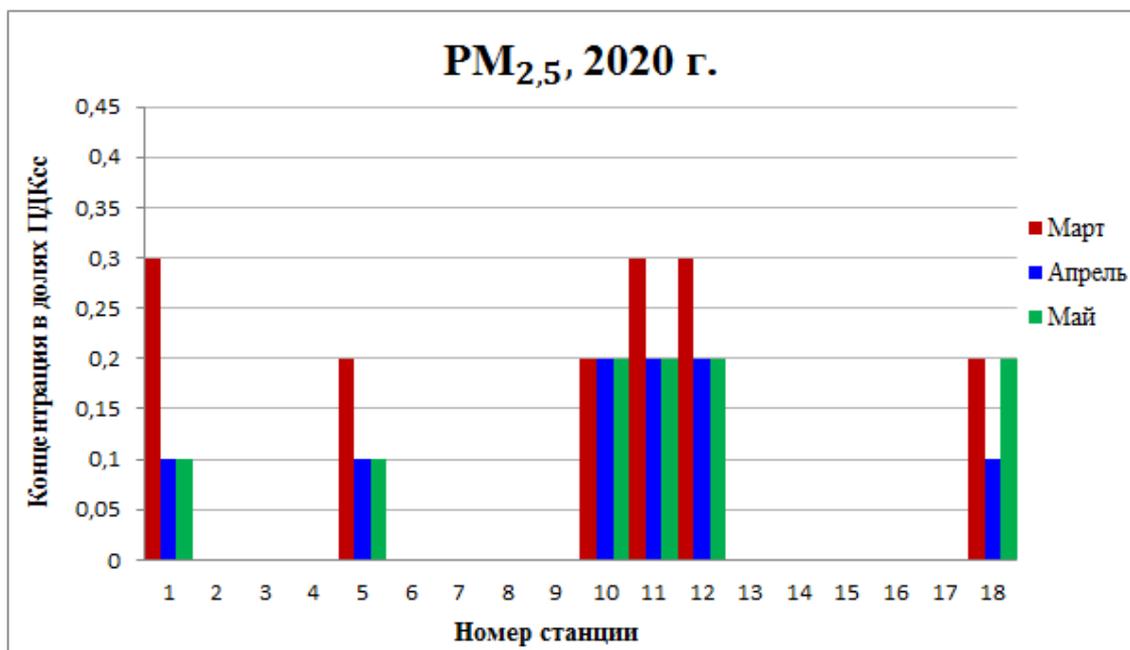


Рис.6 - Концентрация PM_{2,5} в весенний период 2020 г.

Максимальные значения концентрации PM_{2,5} наблюдались:

- в марте на станциях №1, №11 и №12 и составляли 0,3 ПДК_{СС};
- в апреле на станциях №10, №11 и №12 и составляли 0,2 ПДК_{СС};
- в мае на станциях №10, №11, №12 и №18 и составляли 0,2 ПДК_{СС}.

Минимальные значения концентрации PM_{2,5} наблюдались:

- в марте на станциях №5, №10 и №18 и составляли 0,2 ПДК_{СС};
- в апреле на станциях №1, №5 и №18 и составляли 0,1 ПДК_{СС};
- в мае на станциях №1 и №5 и составляли 0,1 ПДК_{СС}.

Превышений предельно допустимых концентраций загрязняющего вещества не наблюдалось.

В среднем, наибольшие значения концентрации PM_{2,5} чаще наблюдались в марте, а наименьшие - в апреле.

За 2020 год наибольшие значения концентрации отмечается у O₃, наименьшие – у SO₂.

Наибольшие значения концентрации загрязняющих веществ чаще всего наблюдались в марте, а наименьшие значения в мае.

Самым загрязненным районом можно считать Невский район, так как в нем отмечалось превышение NO_2 (1,1 ПДК_{СС}) в марте и самые высокие значения ПДК_{СС} за апрель и май. А также Фрунзенский район, в котором наблюдалось значение концентрации O_3 1,6 ПДК_{СС} в марте и 2 ПДК_{СС} в апреле и мае.

Самыми чистым районом является Центральный район, так как в нем не отмечалось превышение концентрации NO_2 , а превышение концентрации O_3 наблюдалось только в мае и то наименьшее по сравнению с другими значениями за тот же период – 1,1 ПДК_{СС}.

На рис.7-11 представлены диаграммы распределения ПДК_{СС} загрязняющих веществ CO , NO_2 , SO_2 , O_3 , $\text{PM}_{2,5}$, построенные по данным таблиц 4, 5 и 6 из Приложения.

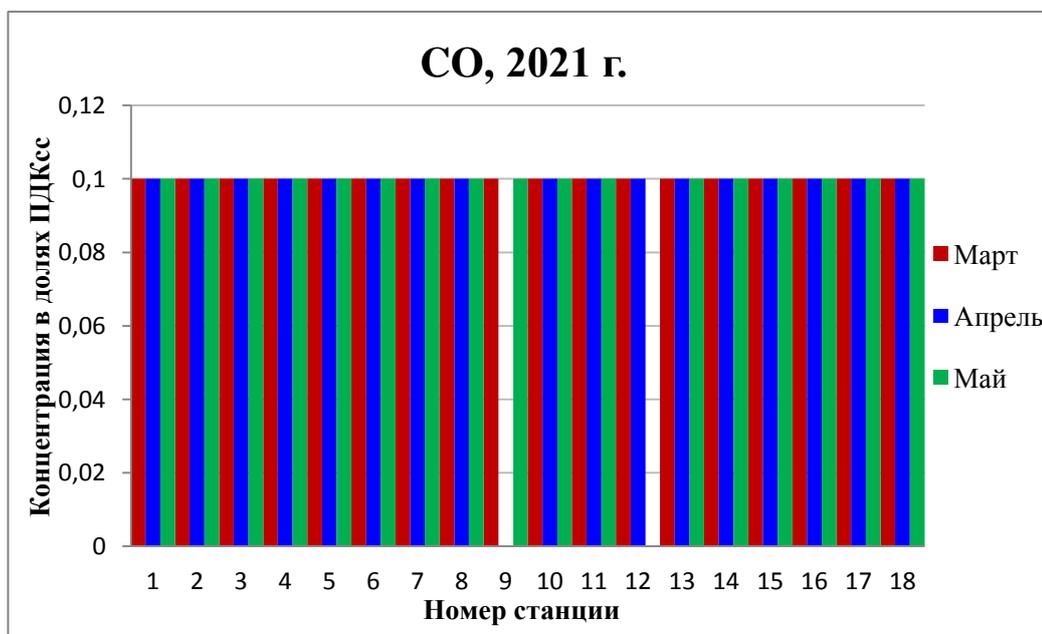


Рис. 7 - Концентрация CO в весенний период 2021 г.

На всех рассматриваемых станциях концентрация CO не превышала значение $0,1 \text{ ПДК}_{\text{СС}}$ в течение всех трех рассматриваемых месяцев.

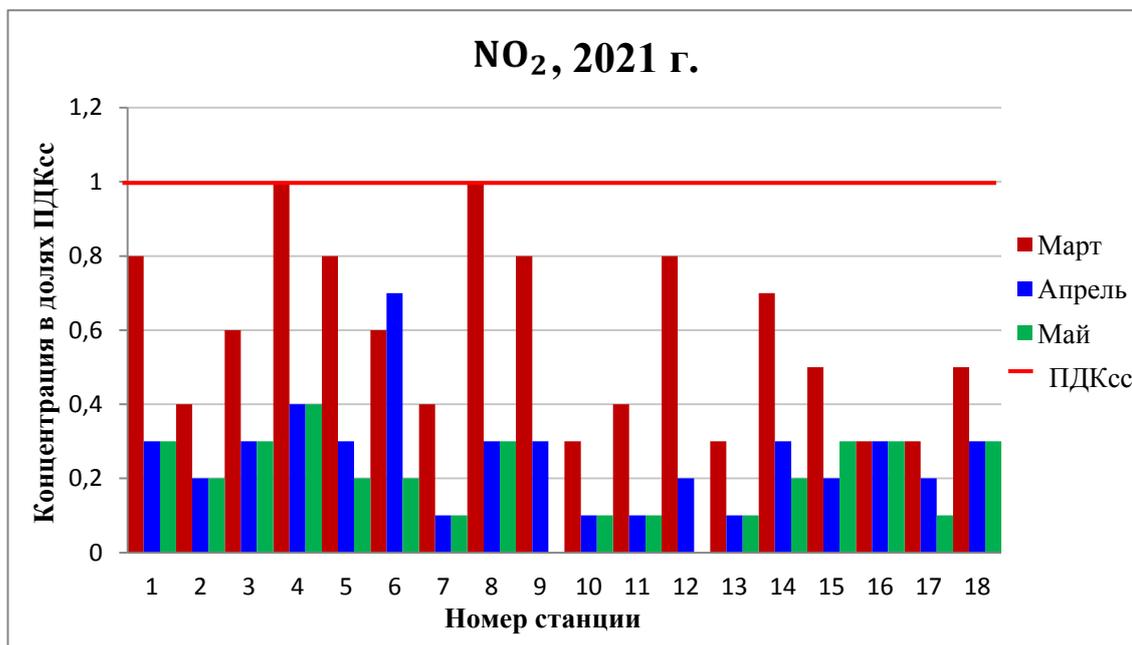


Рис.8 - Концентрация NO_2 в весенний период 2021 г.

Максимальные значения концентрации NO_2 наблюдались:

- в марте на станциях №4 и №8 и составили $1 \text{ ПДК}_{\text{СС}}$, т.е. максимально допустимое значение концентрации загрязняющего вещества;
- в апреле на станции №6 и составляло $0,7 \text{ ПДК}_{\text{СС}}$;
- в мае на станциях №4 и составили $0,4 \text{ ПДК}_{\text{СС}}$.

Минимальные значения концентрации NO_2 наблюдались:

- в марте на станциях №10, №13, №16 и №17 и составляли $0,3 \text{ ПДК}_{\text{СС}}$;
- в апреле на станциях №7, №10, №11 и №13 и составили $0,1 \text{ ПДК}_{\text{СС}}$;
- в мае на станциях №7, №10, №11, №13 и №17 и составили $0,1 \text{ ПДК}_{\text{СС}}$.

В среднем, наибольшие значения концентрации NO_2 чаще наблюдались в марте, а наименьшие - в мае.

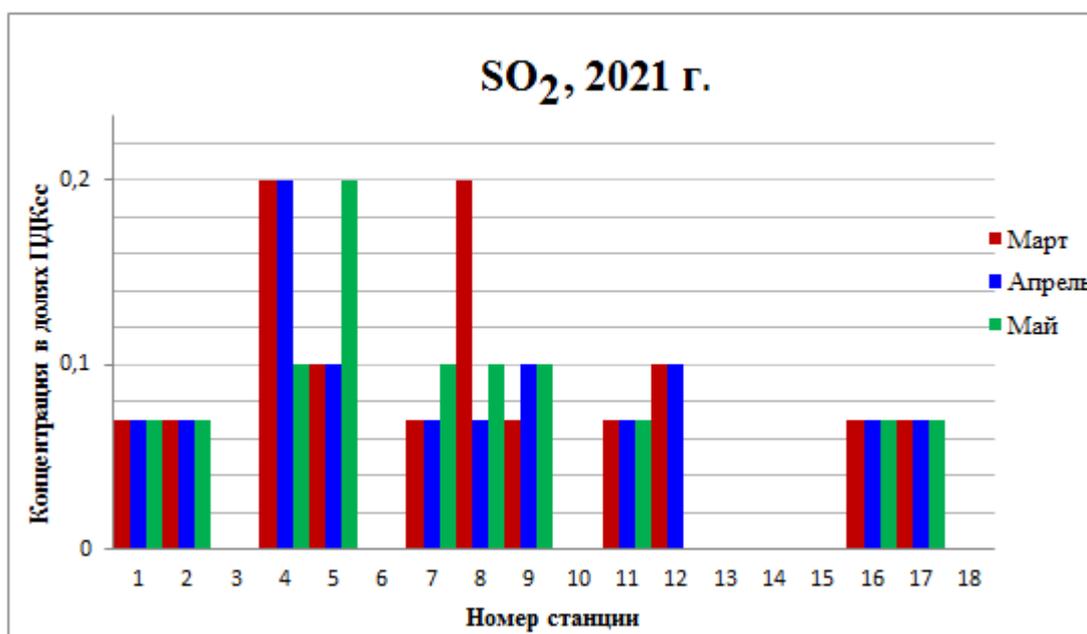


Рис.9 - Концентрация SO₂ в весенний период 2021 г.

Максимальные значения концентрации SO₂ наблюдались:

- в марте на станции №4 и №8 и составляли 0,2 ПДК_{СС};
- в апреле на станциях №4 и составляло 0,2 ПДК_{СС};
- в мае на станциях №5 и составляло 0,2 ПДК_{СС};

На остальных станциях в рассматриваемый период времени и на станциях №7 в марте и апреле, №8 в апреле, на станции №9 в марте значения ПДК_{СС} были менее 0,1 единиц.

Превышений предельно допустимых концентраций загрязняющего вещества не наблюдалось.

В среднем, наибольшие значения концентрации SO₂ чаще наблюдались в марте, а наименьшие - в апреле.

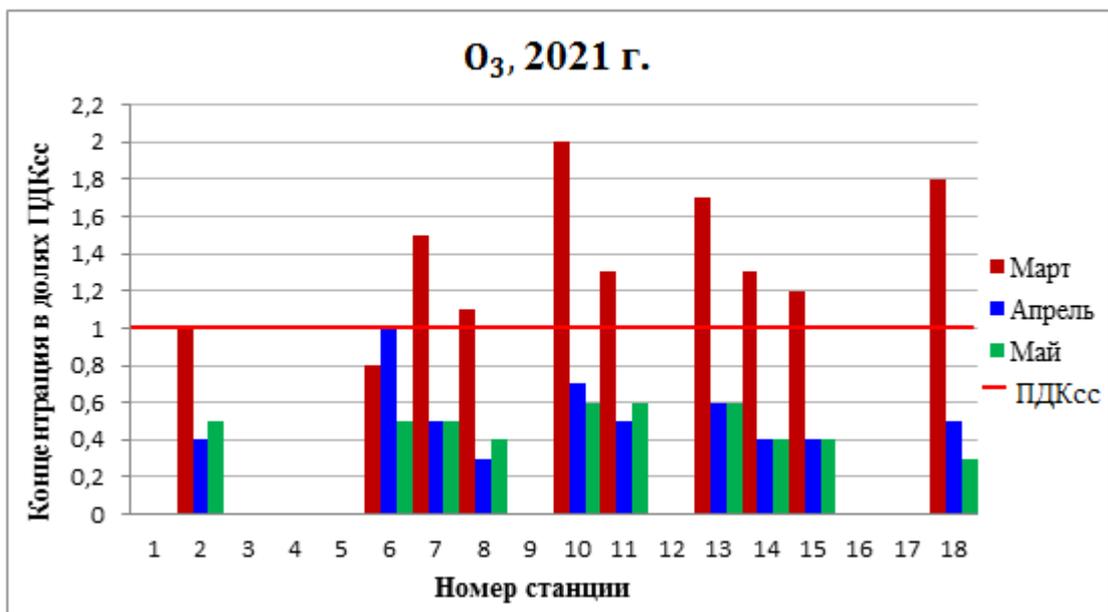


Рис.10 - Концентрация O₃ в весенний период 2021 г.

Максимальные значения концентрации O₃ наблюдались:

- в марте на станции №10 и составляло 2 ПДК_{сс};
- в апреле на станциях №6 и составляло 1 ПДК_{сс};
- в мае на станциях №10, №11 и №13 и составляли 0,6 ПДК_{сс}.

Минимальные значения концентрации O₃ наблюдались:

- в марте на станции №6 и составляло 0,8 ПДК_{сс};
- в апреле на станции №8 и составляло 0,3 ПДК_{сс};
- в мае на станции №18 и составляло 0,3 ПДК_{сс}.

Практически на всех станциях, за исключением станции №6, в марте наблюдалось превышение предельно допустимых концентраций загрязняющего вещества.

В среднем, наибольшие значения концентрации O₃ чаще наблюдались в марте, а наименьшие - в мае.

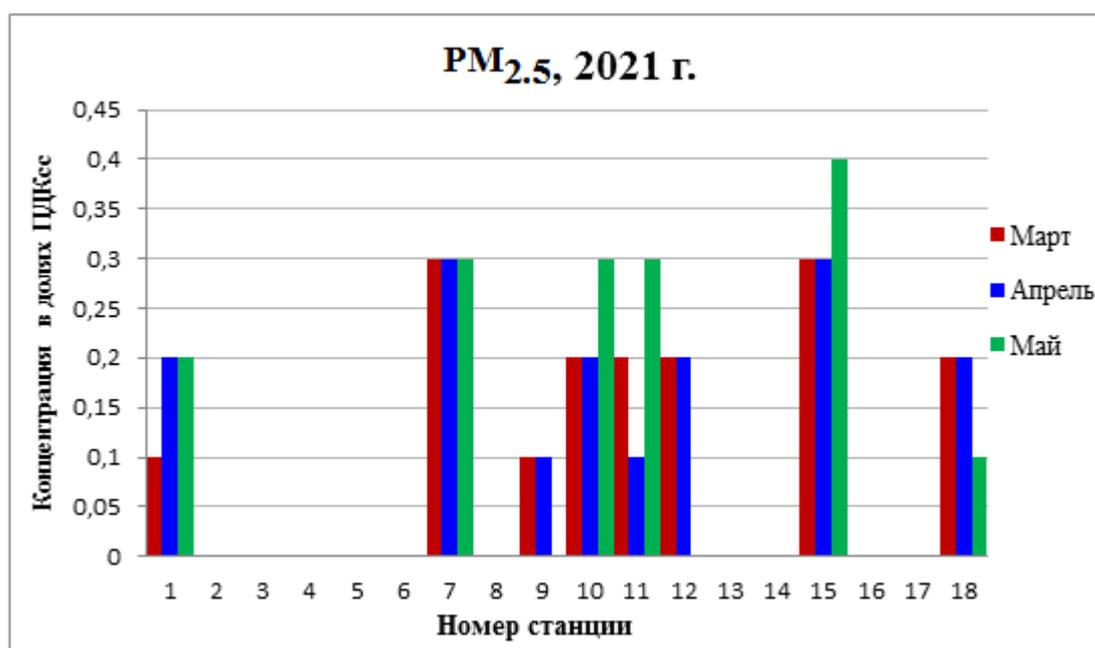


Рис.11 - Концентрация PM_{2.5} в весенний период 2021 г.

Максимальные значения концентрации PM_{2.5} наблюдались:

- в марте на станциях №7 и №15 и составляли 0,3 ПДК_{СС};
- в апреле на станциях №7 и №15 и составляли 0,3 ПДК_{СС};
- в мае на станции №15 и составляло 0,4 ПДК_{СС}.

Минимальные значения концентрации PM_{2.5} наблюдались:

- в марте на станциях №1 и №9 и составляли 0,1 ПДК_{СС};
- в апреле на станциях №9 и №11 и составляли 0,1 ПДК_{СС};
- в мае на станциях №18 составляло 0,1 ПДК_{СС}.

Превышений предельно допустимых концентраций загрязняющего вещества не наблюдалось.

В среднем, наибольшие значения концентрации PM_{2.5} чаще наблюдались в мае, в марте и апреле поровну.

За 2021 год наибольшие значения концентрации отмечается у O_3 , наименьшие – у SO_2 .

Наибольшие значения конденсации загрязняющих веществ чаще всего наблюдались в марте, а наименьшие значения в мае.

Самым загрязненным районом можно считать Красногвардейский район, так как в нем отмечалось максимальное допустимое значение концентрации NO_2 в марте и 0,4 ПДК_{СС} в апреле и марте (наибольшие значения среди других районов города за данный период). А также Курортный район, в котором наблюдалась концентрация O_3 2 ПДК_{СС} в марте и 0,7 ПДК_{СС} в апреле (наибольшие значения среди других районов города за данный период).

Самыми чистым районом является Колпинский район, так как в нем наблюдались самые низкие концентрации всех загрязняющих веществ.

Сравнивая значения концентраций загрязняющих веществ за 2020 и 2021 год, можно отметить, что:

- значения концентрации CO в течение трех рассматриваемых месяцев за 2020 и 2021 года были одинаковыми;
- значения концентрации NO_2 в среднем весной 2020 года были выше, чем весной 2021 года, максимумы в оба года наблюдались в марте, а минимумы – в мае.
- значения концентрации SO_2 в среднем были выше весной 2021 года;
- значения концентрации O_3 в обе весны 2020 и 2021 года превышали предельно допустимые значения. За март наибольшие значения были в 2021 году, за апрель и май – 2020 году. Следовательно, весной 2020 года концентрация вещества была в среднем выше, чем в 2021 году.
- значения концентрации $PM_{2,5}$ за март были наибольшими в 2020 году, за апрель и, в особенности, за май в 2021 году. Следовательно, весной

2021 года концентрация вещества была в среднем выше, чем в 2020 году;

- Самыми грязными районами за рассматриваемый период являются Фрунзенский и Красногвардейский районы;
- Самыми чистыми районами являются Центральный и Колпинский районы.

3.2 Данные о метеорологических характеристиках в г. Санкт-Петербург за весенний период 2020 и 2021 годов

Данные о метеорологических характеристиках взяты с экологического портала города Санкт-Петербурга [17].

Март 2020

В течение первых двух декад марта наблюдался циклонический характер погоды. Погодные условия в Санкт-Петербурге формировались под влиянием восточных, юго-восточных и южных периферий циклонов. Наблюдалась облачная с прояснениями погода с частыми осадками в виде мокрого снега и дождя, а также периодическое усиление ветра. Температура воздуха была в среднем выше относительно климатической нормы на 3...8°C. Ночью температура воздуха в среднем составляла от -3 до +2°C, в отдельные ночи понижалась до -5...-10°C. Днем температура воздуха в основном составляла +1...+6°C, в отдельные дни температура поднималась до +7...+10°C.

В третьей декаде месяца преобладала антициклоническая погода. Увеличилось количество солнечных дней, осадки прекратились. Температура

воздуха была близка к климатической норме. Ночные значения температуры воздуха составляли $-3...-8^{\circ}\text{C}$, в отдельные ночи $-10...-12^{\circ}\text{C}$, дневные значения не превышали $+4^{\circ}\text{C}$. Однако в середине третьей декады днем воздух прогревался до $+8...+13^{\circ}\text{C}$, а ночью температура составляла $-3...+2^{\circ}\text{C}$.

Среднемесячная температура воздуха составила $+2,2^{\circ}\text{C}$, что на $4,4^{\circ}\text{C}$ выше климатической нормы. Месячная сумма осадков составила 59,6 мм или 170% от климатической нормы.

Апрель 2020

Районы Санкт-Петербурга находились под влиянием циклонической деятельности. Антициклонические воздействия были редкими и непродолжительными. Осадки выпадали в виде мокрого снега и дождя, от небольших до умеренных.

В первой декаде месяца температура воздуха была выше климатической нормы, во второй и третьей декаде – ниже нормы. В первой декаде месяца средняя температура воздуха ночью составляла $-3...+2^{\circ}\text{C}$, 6-7 апреля понизилась до $-2...-7^{\circ}\text{C}$. Дневные температуры находились в пределах $+2...+7^{\circ}\text{C}$, 7-8 апреля повысились до $+10...+15^{\circ}\text{C}$. 7 апреля был самым теплым днем в апреле 2020 года.

Во второй и третьей декадах апреля ночью температура варьировала в пределах $-2...+3^{\circ}\text{C}$, в отдельные ночи понижалась до $+7...+12^{\circ}\text{C}$.

Среднемесячная температура воздуха составляла $+4,2^{\circ}\text{C}$, что на $0,2^{\circ}\text{C}$ было выше нормы. Месячная сумма осадков составила 25,8 мм или 78% от климатической нормы.

Май 2020

В первой декаде месяца на погоду в регионе оказывали влияние периферия циклона и поля повышенного давления. Наблюдалась переменная облачность, редкие осадки в виде дождей, температура воздуха была выше нормы. Ночью температура воздуха составляла $+1...+6^{\circ}\text{C}$, в отдельные ночи местами понижалась до $-1...-5^{\circ}\text{C}$. Днем температура в среднем составляла $+10...+15^{\circ}\text{C}$, в отдельные дни $+16...+21^{\circ}\text{C}$.

Во второй декаде преобладала циклоническая погода. Наблюдались ежедневные осадки в виде дождя, ночью местами в виде мокрого снега, частые усиления ветра и температура в среднем выше нормативных показателей на $3...7^{\circ}\text{C}$.

В третьей декаде месяца погодные условия определялись антициклоническими процессами. Наблюдалась солнечная погода, без осадков. Ночью температура воздуха составляла $+2...+7^{\circ}\text{C}$, 23-25 мая местами до $-1...-3^{\circ}\text{C}$. Днем температура воздуха составляла $+15...+20^{\circ}\text{C}$, 25-28 мая местами до $+21...+23^{\circ}\text{C}$.

Среднемесячная температура воздуха составила $+10^{\circ}\text{C}$, что на $0,9^{\circ}\text{C}$ ниже климатической нормы. Месячная сумма осадков составила 24,8 мм или 65% от климатической нормы.

Март 2021

В течение первых двух декад месяца погодные условия формировались под влиянием циклонической деятельности. Облачная погода с осадками чередовалась с ясными днями. Температура воздуха была близка к климатической норме. Только 9-11 марта заток холодного воздуха в тылу циклона и распространение гребня высокого давления обусловили морозную, солнечную и сухую погоду с температурой воздуха на 6...10°C ниже нормы. Ночью температура опускалась до -20...-25°C, местами до -30...-33°C, при этом днем температура составляла -7...-12°C.

В третьей декаде месяца циклоническая активность ослабла, что способствовало увеличению солнечных дней и уменьшению осадков. Ночью температура воздуха составляла -4...+1°C, днем - +4...+9°C, в отдельные дни местами до +10...+13°C. 24 и 28 марта температура воздуха достигла +11,2°C и +14,3°C соответственно, что стало новыми максимумами в эти дни.

Среднемесячная температура воздуха составила -0,8°C, что на 1,4°C выше климатической нормы. Месячная сумма осадков составила 47,7 мм или 136% от климатической нормы.

Апрель 2021

В первой декаде апреля погода в Санкт-Петербурге находилась под влиянием периферии циклона. Преобладала облачная с прояснениями погода с периодическим выпадением осадков. Температура воздуха была в пределах климатической нормы. Ночью температура составляла -1...-6°C, днем - +3...+8°C.

Во второй декаде месяца антициклоническая деятельность обусловила преобладание сухой и солнечной погоды. Температура воздуха в среднем была выше нормы на 3...6°C. Температура днем составляла +10...+15°C, в отдельные дни +17...+21°C. Ночью температура опускалась до -4...+4°C. Самым теплым днем стало 12 апреля. В этот день воздух прогрелся до +20°C.

В третьей декаде наличие циклонической деятельности обусловило ухудшение погодных условий. Почти каждый день наблюдались осадки в виде дождя, порой в виде мокрого снега и снега. Температура воздуха стала стремительно понижаться и 25-28 апреля днем не превышала +2...+6°C, ночью -2...+3°C, что на 2...3 °C ниже нормы.

Среднемесячная температура воздуха составила +5,6°C, что на 1,6°C выше климатической нормы. Месячная сумма осадков составила 22,9 мм или 69% от климатической нормы.

Май 2021

В мае погода формировалась под преимущественным влиянием циклонической деятельности. Прохождение атмосферных фронтов сопровождалось выпадением ливневых осадков, местами наблюдались грозы и шквалистые усиления ветра, а также выпадение града.

В первой декаде ночью температуры воздуха опускались до -2...+3°C, днем температура составляла +4...+9°C, в отдельные дни наблюдалось повышение температуры до +10...+15°C.

Во второй декаде днем температура достигала +23...+28°C, а 18-19 мая местами до +30°C. 12 мая был установлен новый температурный рекорд для этого дня - +27,5°C.

В третьей декаде месяца ночью температура составляла +3...+8°C, днем - +13...+18°C.

Среднемесячная температура составила +12,1°C, что на 1,2°C выше нормы. Месячная сумма осадков составила 137,7 мм или 362% от нормы, что является абсолютным рекордом для мая за весь период инструментальных наблюдений.

3.3 Анализ зависимости между концентрацией загрязняющих веществ и метеорологическими параметрами

Несмотря на то, что в марте 2020 года большую часть месяца наблюдался циклонический характер погоды с осадками и периодическим усилением ветра, в это месяце в среднем отмечалось наибольшие значения концентраций загрязняющих веществ по сравнению с другими рассматриваемыми месяцами. Высокие показатели NO_2 и O_3 могут быть следствием начала пандемии. Многие жители города пересели с общественного транспорта на личный автотранспорт, тем самым увеличив выброс NO_2 в атмосферный воздух. Одним из источников O_3 является расщепление NO_2 в ходе химических реакций с образованием атомарного кислорода (O), который затем присоединяется к другой молекуле кислорода. Вследствие этого у данных веществ наблюдается обратная корреляция – при более низких концентрациях NO_2 отмечались более

высокие концентрации O_3 . При этом без наличия оксидов в атмосфере такая высокая концентрация O_3 бы не наблюдалась. Из этого можно сделать вывод, что из-за повышенных значений выбросов NO_2 и благоприятных условий для осуществления химических реакций образовалось такое большое количество O_3 .

В апреле 2020 года концентрация загрязняющих веществ в среднем не на много меньше, чем в марте, а концентрация озона даже больше, хотя погода определялась также циклонической деятельностью, но с меньшим количеством осадков. Можно предположить, что на концентрацию загрязняющих веществ также повлияло начало пандемии и увеличение использования жителями города личного автотранспорта.

В мае 2020 года наблюдалось повышение температуры и уменьшение количества осадков по сравнению с предыдущими весенними месяцами. Наблюдались дни с переменной облачностью и солнечной погодой со слабым ветром. Это могло послужить причиной сохранения среднемесячных значений концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

В марте 2021 года среднемесячные показатели загрязняющих веществ были в пределах нормы за исключением значений концентрации O_3 и были примерно такими же, как и в марте 2020 года. При этом погода определялась циклонической деятельностью, отмечалось большое количество осадков, но с чередованием ясных дней. Также в середине месяца отмечалось значительное понижение температуры, что могло повлиять на работу ТЭЦ и увеличение выброса NO_2 и, следовательно, увеличение концентрации O_3 .

В середине апреля 2021 года погода была достаточно солнечной, теплой и сухой за счет влияния антициклонической деятельности. Наблюдалось в основном небольшое количество осадков и большое количество ясных дней, за исключением третьей декады месяца. При этом концентрации таких

загрязняющих веществ как NO_2 и O_3 были значительно ниже, чем в марте того же года. Причиной может послужить изменение работы ТЭЦ. Также в апреле 2021 года концентрации рассматриваемых веществ ниже, чем в апреле 2020 года.

Май 2021 года характеризовался циклонической деятельностью с ливневыми осадками, шквалистым ветром и высокими значениями температуры в середине месяца. По сравнению с апрелем уменьшилось значение концентрации NO_2 и увеличилось значение $\text{PM}_{2.5}$, что можно связать с сильными порывами ветра. По сравнению с маем 2020 года, уменьшились концентрации NO_2 и O_3 и немного увеличилась концентрация $\text{PM}_{2.5}$.

В итоге, можно сделать вывод о том, что погодные условия не всегда оказывали сильное влияние на значения ПДК_{СС} загрязняющих веществ в атмосфере. Больше влияние оказало начало пандемии, которое пришлось на вторую половину марта 2020 года.

Заключение

В данной работе была проведена оценка качества атмосферного воздуха на территории Санкт-Петербурга за март, апрель и май 2020 и 2021 годов на основе данных экологического мониторинга концентрации загрязняющих веществ в атмосфере города с 18 автоматических станций.

На основе данных со станций автоматического мониторинга атмосферного воздуха были построены таблицы значений среднесуточных концентраций загрязняющих веществ, диаграммы значений концентраций таких загрязняющих веществ как угарный газ, диоксид азота, сернистый газ, озон и взвешенных частиц $PM_{2.5}$.

На основе данных из построенных таблиц и диаграмм был сделан вывод, что в 2020 году из трех рассматриваемых месяцев самым загрязненным является март. При этом синоптическая обстановка в данном месяце должна была способствовать рассеянию загрязняющих веществ в воздухе. Можно предположить, что на ухудшение качества воздуха главным повлияло начало пандемии в середине марта 2020 года и увеличение использования личного автотранспорта. Самыми грязными районами города являются Невский (по значениям концентрации NO_2), и Фрунзенский районы (по значениям концентрации O_3). Самым чистым районом за весну 2020 года является Центральный район.

В 2021 году наиболее загрязненным месяцем из трех рассматриваемых также является март. Погода определялась циклонической деятельностью, отмечалось большое количество осадков, а также в середине месяца отмечалось значительное понижение температуры, что должно было способствовать рассеиванию загрязняющих веществ в атмосфере, но этого не произошло. В данном случае на подобные значения концентраций веществ могла повлиять

деятельность ТЭЦ, которая была более активная, чем в последующие 2 месяца. Самыми грязными районами являются Красногвардейский (по значениям концентрации NO_2) и Курортный (по значениям концентрации O_3) районы. Самым чистым районом считается Колпинский район.

Если сравнивать значения за 2 года, то март 2020 года является месяцем с самыми высокими показателями концентрации загрязняющих веществ за две весны 2020 и 2021 годов. Это говорит о том, что начало пандемии оказало значительное влияние на концентрацию загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга.

Месяцем с самыми низкими значениями концентраций загрязняющих веществ можно назвать май 2021 года. Этому способствовала погода в данный период: обильное количество осадков и шквалистые усиления ветра.

Список используемых источников

1. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 376 с.
2. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы - Л.: Гидрометиздат. - 1984.- 752 с.
3. Седунов Ю.С. Атмосфера. Справочник – Л.: Гидрометиздат. - 1991. -504 с.
4. Беккер А.А., Агаев Т.Б. Охрана и контроль загрязнения природной среды. - Л.: Гидрометиздат. - 1989. – 286 с. Исаева, Л.К. Пожары и окружающая среда [Текст] / Л.К. Исаева. - М.: Изд.Дом Калан. - 2001. - 222с.
5. Аристархова Л.Б., Процессы аридного рельефообразования, - М.: Изд-во МГУ. - 1971. 179 с.
6. Селезнева Е.С., Петренчук О.П. Распространение морских аэрозолей в прибрежной зоне. - Л.: Гидрометиздат. – 1974. – 62 с.
7. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология: 12-е изд., доп. и перераб. - Ростов н/Д: Феникс. - 2007. - 602с.
8. Загороднов С.Ю., Май И.В., Кокоулина А.А. Мелкодисперсные частицы (PM_{2.5} и PM₁₀) в атмосферном воздухе крупного промышленного региона: проблемы мониторинга и нормирования в составе производственных выбросов // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 2. – С. 142-147.
9. Некрасов Б. В. Основы общей химии. — М.: Химия. - 1967, — т.2 - 688с.
10. Крюкова С.В., Симакина Т.Е. Анализ загрязнения воздушного бассейна. Лабораторный практикум.- СПб.: РГГМУ.- 2018. – 60 с.
11. Анапольская Л.Н., Копзнева И.Д. Климатические параметры Восточно-Сибирского и Дальневосточного Экономических районов – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 390 с.
12. Лавров С.Б. Глобальная проблема современности [Текст] /С.Б. Лавров - СПб.: Снег, 2000. - 450 с.

13. Федеральный закон "О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 21.11.2011 N 331-ФЗ
14. Минприроды России — Минприроды России [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.mnr.gov.ru/> (дата обращения 18.02.22)
15. Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения 18.02.22)
16. Окружающая среда Санкт-Петербурга — городской экологический журнал [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ecopeterburg.ru/> (дата обращения 18.02.22)
17. Экологический портал Санкт-Петербурга, комитет по природопользованию и эко портал СПб. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://kroos.gov.spb.ru/> (дата обращения 18.02.22)

Приложения

Таблица 1 - Среднемесячные значения концентраций в долях ПДК_{сс} за
март 2020 г.

№ Станции	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃	PM _{2,5}
1	0,1	0,4	0,07	- *	0,3
2	0,1	0,6	0,07	1,0	-
3	0,1	0,6	-	-	-
4	0,1	0,7	0,07	-	-
5	0,1	1,1	0,07	-	0,2
6	0,1	0,9	-	0,7	-
7	0,1	0,6	0,07	1,7	-
8	0,1	0,9	0,07	1,6	-
9	0,1	0,7	0,07	-	-
10	0,1	0,3	-	1,8	0,2
11	0,1	0,1	0,07	1,4	0,3
12	0,1	0,8	0,1	-	0,3
13	0,1	0,3	-	1,1	-
14	0,1	0,6	-	1,4	-
15	0,1	0,4	-	1,5	-
16	0,1	1,1	0,07	-	-
17	0,1	0,3	0,07	-	-
18	0,1	0,8	-	1,4	0,2
Среднее	0,1	0,6	0,07	1,4	0,3

*- данные отсутствуют

Таблица 2 - Среднемесячные значения концентраций в долях ПДК_{сс} за
апрель 2020г.

№ Станции	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃	PM _{2,5}
1	0,1	0,3	0,07	-*	0,1
2	0,1	0,5	0,07	1,3	-
3	0,1	0,3	-	-	-

№ Станции	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃	PM _{2,5}
4	0,1	0,5	0,07	-	-
5	0,1	0,8	0,1	-	0,1
6	0,1	0,7	-	1,0	-
7	0,1	0,5	0,07	1,9	-
8	0,1	0,8	0,1	2,0	-
9	-	-	-	-	-
10	0,1	0,1	-	1,9	0,2
11	0,1	0,1	0,07	1,5	0,2
12	0,1	0,8	0,07	-	0,2
13	0,1	0,2	-	1,3	-
14	0,1	0,4	-	1,8	-
15	0,1	0,3	-	1,8	-
16	0,1	1,0	0,07	-	-
17	0,1	0,2	0,07	-	-
18	0,1	0,6	-	1,9	0,1
Среднее	0,1	0,5	0,08	1,6	0,2

*- данные отсутствуют

Таблица 3 - Среднемесячные значения концентраций в долях ПДК_{сс} за май 2020г.

№ Станции	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃	PM _{2,5}
1	0,1	0,3	0,07	-*	0,1
2	0,1	0,5	0,07	1,3	-
3	0,1	0,2	-	-	-
4	0,1	0,4	0,07	-	-
5	0,1	0,9	0,1	-	0,1
6	0,1	0,7	-	1,1	-
7	0,1	0,4	0,07	1,8	-
8	0,1	0,8	0,07	2,0	-
9	-	-	-	-	-
10	0,1	0,2	-	1,8	0,2
11	0,1	0,3	0,07	1,6	0,2

№ Станции	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃	PM _{2,5}
12	0,1	0,6	0,1	-	0,2
13	0,1	0,2	-	1,2	-
14	0,1	0,3	-	1,8	-
15	0,1	0,4	-	1,8	-
16	0,1	0,9	0,07	-	-
17	0,1	0,3	0,07	-	-
18	0,1	0,5	-	1,9	0,2
Среднее	0,1	0,5	0,08	1,6	0,2

*- данные отсутствуют

Таблица 4 - Среднемесячные значения концентраций в долях ПДК_{сс} за март
2021г.

№ Станции	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃	PM _{2,5}
1	0,1	0,8	0,07	- *	0,3
2	0,1	0,4	0,07	1,0	-
3	0,1	0,6	-	-	-
4	0,1	1,0	0,2	-	-
5	0,1	0,8	0,1	-	-
6	0,1	0,6	-	0,8	-
7	0,1	0,4	0,07	1,5	0,3
8	0,1	1,0	0,2	1,1	-
9	0,1	0,8	0,07	-	0,1
10	0,1	0,3	-	2,0	0,2
11	0,1	0,4	0,07	1,3	0,2
12	0,1	0,8	0,1	-	0,2
13	0,1	0,3	-	1,7	-
14	0,1	0,7	-	1,3	-
15	0,1	0,5	-	1,2	0,3
16	0,1	0,3	0,07	-	-
17	0,1	0,3	0,07	-	-
18	0,1	0,5	-	1,8	0,2
Среднее	0,1	0,6	0,1	1,4	0,2

*- данные отсутствуют

Таблица 5 - Среднемесячные значения концентраций в долях ПДК_{сс} за апрель 2021г.

№ Станции	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃	PM _{2.5}
1	0,1	0,3	0,07	- *	0,3
2	0,1	0,2	0,07	0,4	-
3	0,1	0,3	-	-	-
4	0,1	0,4	0,2	-	-
5	0,1	0,3	0,1	-	-
6	0,1	0,7	-	1,0	-
7	0,1	0,1	0,07	0,5	0,3
8	0,1	0,3	0,07	0,3	-
9	-	0,3	0,1	-	0,1
10	0,1	0,1	-	0,7	0,2
11	0,1	0,1	0,07	0,5	0,1
12	0,1	0,2	0,1	-	0,2
13	0,1	0,1	-	0,6	-
14	0,1	0,3	-	0,4	-
15	0,1	0,2	-	0,4	0,3
16	0,1	0,3	0,07	-	-
17	0,1	0,2	0,07	-	-
18	0,1	0,3	-	0,5	0,2
Среднее	0,1	0,3	0,09	0,5	0,2

*- данные отсутствуют

Таблица 6 - Среднемесячные значения концентраций в долях ПДК_{сс} за май 2021г.

№ Станции	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃	PM _{2.5}
1	0,1	0,3	0,07	- *	0,2
2	0,1	0,2	0,07	0,5	-
3	0,1	0,3	-	-	-

№ Станции	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃	PM _{2,5}
4	0,1	0,4	0,1	-	-
5	0,1	0,2	0,2	-	-
6	0,1	0,2	-	0,5	-
7	0,1	0,1	0,1	0,5	0,3
8	0,1	0,3	0,1	0,4	-
9	0,1	-	0,1	-	-
10	0,1	0,1	-	0,6	0,3
11	0,1	0,1	0,07	0,6	0,3
12	-	-	-	-	-
13	0,1	0,1	-	0,6	-
14	0,1	0,2	-	0,4	-
15	0,1	0,3	-	0,4	0,4
16	0,1	0,3	0,07	-	-
17	0,1	0,1	0,07	-	-
18	0,1	0,3	-	0,3	0,1
Среднее	0,1	0,2	0,1	0,5	0,3

*- данные отсутствуют