



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

Кафедра ЭФА

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему «Анализ сезонной изменчивости взвешенных частиц в атмосфере г. Архангельск»

Исполнитель Буторова Софья Александровна
(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, профессор
(ученая степень, ученое звание)

Кузнецов Анатолий Дмитриевич
(фамилия, имя, отчество)

«28» мая 2018 г.

Санкт-Петербург

2018

Содержание

Введение.....	3
Глава 1. Загрязнение атмосферного воздуха.....	6
1.1 Виды загрязнения окружающей среды.....	6
1.2 Источники загрязнения атмосферы	7
1.3 Главные загрязнители атмосферы.....	11
1.4 Нормативы качества атмосферного воздуха.....	15
1.5 Экологические последствия загрязнения	19
Глава 2. Загрязнение атмосферного воздуха аэрозолями	22
2.1 Общие сведения об аэрозолях	22
2.2 Взвешенные твердые частицы в атмосферном воздухе.....	23
2.3 Методы контроля и приборы для измерения концентрации пыли в атмосфере.....	30
Глава 3. Исследования временных рядов концентрации пыли.....	38
3.1 Физико-географические особенности расположения г. Архангельск....	38
3.2 Общая экологическая обстановка в г. Архангельск в 2014 году	41
3.3 Анализ загрязнения атмосферного воздуха PM_{10} в 2014 году	48
Заключение	56
Список используемой литературы	58
Приложение	60

Введение

Атмосфера - наиболее важная составляющая часть биосферы, она защищает нас от неблагоприятного воздействия ультрафиолетовых лучей Солнца. Атмосфера определяет погоду на поверхности Земли вследствие происходящих в ней глобальных метеорологических процессов, формируя климат. Чистый воздух жизненно необходим для здорового существования живых организмов.

Актуальность темы. Результатом ухудшения качества атмосферного воздуха – уровня соответствия экологическим нормативам и гигиеническим нормативам качества - стала человеческая деятельность: различные отрасли производства, строительство, сжигание топлива и увеличение числа транспортных средств.

Наиболее значительным загрязнением окружающей среды является загрязнение несвойственными ей веществами – газообразными и аэрозольными загрязнителями. Аэрозольное загрязнение происходит как по естественным причинам, происходящим под действием природных сил (извержение вулканов, пыльцы растений, пыльных бурь, сочетание эрозии почвы с ветром, унос капель морской воды и т.д.), так и искусственно созданными аэрозолями, образованными в результате деятельности человека (добыча руд и строительных материалов, изготовление цемента и другое).

Аэрозоли могут содержать сложные комплексы химических веществ, способные подвергнуть опасности здоровье человека и жизнестойкость растений своей высокой степенью токсичности.

Важно отметить, что выброс твердых частиц аэрозоля в атмосферный воздух может стать одной из возможных причин изменения климата Земли, поэтому, необходимо отслеживание концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и разработка методов их сокращения.

Цель работы. Произвести анализ сезонной изменчивости концентрации взвешенных частиц в атмосфере г. Архангельска.

Задачи дипломной работы, поставлены исходя из цели работы:

1. Произвести осреднение рядов концентрации загрязняющих веществ.
2. Проанализировать сезонную изменчивость концентрации взвешенных частиц в атмосфере на основе полученных результатов.
3. Выбрать наиболее благоприятный сезон года, на основе полученных результатов и произведенного анализа.

Объектом исследования являются данные, полученные со станции "Центр природопользования и охраны окружающей среды" г. Архангельск.

Предметом исследования являются изменения концентрации PM_{10} за 2014 год.

Научная новизна и практическая ценность. В данной дипломной работе выполнен общий анализ сезонной изменчивости концентрации взвешенных частиц в атмосфере г. Архангельска, на основе архивных данных и научно-практической литературы. В дальнейшем, результаты исследований в данной работе, могут быть полезны для углубленного анализа проблемы загрязнения окружающей среды на территории г. Архангельск.

Структура работы. Данная дипломная работа состоит из введения, 3 глав, которые подразделены на подглавы, заключения, списка использованной литературы и приложения.

Первая глава посвящена исследованию источников загрязнения окружающей среды.

Вторая глава посвящена исследованию и мониторингу концентрации пыли.

Третья глава посвящена анализу временных рядов-концентрации пыли в атмосфере г. Архангельск.

В заключение дипломной работы сделаны основные выводы по результатам исследования.

Глава 1. Загрязнение атмосферного воздуха

1.1 Виды загрязнения окружающей среды

Атмосферный воздух – многозначительная жизнеобеспечивающая природная среда, представляющая собой смесь газов и аэрозолей приземного слоя атмосферы, установленная в ходе эволюции Земли. Так как количество всех доступных в биосфере химических веществ, пригодных для усвоения живыми организмами, ограничено, любое биологическое, химическое или физическое изменение факторов за счет внесения в экосистему несвойственных ей компонентов является загрязнением окружающей среды. Превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) ведет к нарушению круговорота веществ, изменению потоков энергии вследствие чего возможно снижение продуктивности и/или гибели живых организмов [1].

Если рассматривать загрязнения окружающей среды как совокупность действий влияющих на ту или иную экосистему, можно классифицировать следующим образом.

Ингредиентное (химическое) загрязнение окружающей среды состоит из качественных или количественных не характерных для естественного биоценоза (совокупность живых существ, входящих в экологическую систему) загрязнений, поступающих в окружающую среду в виде химических веществ. Возникают в ходе естественных, природно-антропогенных и антропогенных процессов – первичное загрязнение. Либо может быть синтезом вредных и опасных загрязнителей в ходе физико-химических процессов в среде - вторичное загрязнение.

В свою очередь ингредиентное загрязнение делится на минеральное и органическое загрязнение окружающей среды или, что более логично на органические нетоксичные, минеральные и органические токсичные, смешанные.

Параметрическое (физическое) загрязнение окружающей среды связано с изменением параметров природной среды. Разделяют термальное (тепловое); нарушение естественного режима освещенности (световое); увеличение интенсивности и периодичности шума сверх природного уровня (шумовое); изменение электромагнитных свойств среды (электромагнитное); превышение естественного уровня содержания радиоактивных веществ в окружающей среде (радиоактивное) загрязнение.

Биоценотическое загрязнение окружающей среды вызывающее нарушение в структуре и составе популяций живых организмов (браконьерство, отлов, акклиматизация видов и т.д.).

Стационально-деструкционное загрязнение окружающей среды представляет собой воздействие, приводящее к повреждению и преобразованию ландшафтов и экологических систем в ходе природопользования, связанного с оптимизацией природы в интересах человека (вырубка лесов, зарегулирование водостоков, эрозия почв, водохранилища) [2].

1.2 Источники загрязнения атмосферы

Существуют два вида загрязнения атмосферы: природные (естественные) и антропогенные (искусственные), каждый обусловлен соответствующими источниками.

Естественные источники загрязнения атмосферы представляют собой природные загрязнители минерального, растительного или микробиологического происхождения. К ним относят явления природы, имеющие катастрофический характер. К примеру, при извержении вулканов в атмосферу выбрасывается колоссальное количество газов, паров воды, твердых частиц, пепла и пыли. После затухания вулканической деятельности общий газовый баланс в атмосферном воздухе по истечению времени

восстанавливается. Существенно загрязняет атмосферу дым от лесных пожаров. Он распространяется на очень большие площади. Чаще всего они возникают в годы засухи. Пыльные бури возникают с переносом сильными ветрами – ураганами и смерчами - мельчайших частиц почвы (пыли) в воздух с поверхности Земли.

Искусственные источники загрязнения атмосферы в наибольшей степени опасны. Они способствуют поступлению в атмосферный воздух не характерных естественным условиям газов и веществ. Все загрязняющие вещества антропогенного происхождения подразделяют по агрегатному состоянию на жидкие, твердые и газообразные. Последние составляют около 90% всех загрязнителей в атмосфере.

Основными источниками антропогенных загрязнений являются:

Энергетика (тепловые и атомные электростанции, промышленные и городские котельные и т.д.). Энергетика считается наиболее крупномасштабной отраслью промышленного производства по объему выбросов в атмосферу (примерно 26,6% от общего количества всей промышленности России). Тепловые электрические станции загрязняют воздушный бассейн продуктами сгорания за счет сжигания угля, нефти, газа, торфа, горючих сланцев. Это приводит к тепловому загрязнению атмосферы, также загрязнению водных объектов.

Отрицательное воздействие энергетики на всю биосферу начинается с начальной стадии производства. Извлечение ресурсов, например, угля, сопровождается изменением ландшафта, образованием шахт и карьеров. При транспортировке - рассеивание твердых частиц в атмосферу. Сжигание этого самого органического топлива образуются выбросы углерода, серы, соединений свинца, азота, сажа, углеводороды, в том числе и канцерогенные вещества во всех агрегатных состояниях. Передача электроэнергии приводит к электромагнитному загрязнению – созданию электрических, магнитных и электромагнитных полей вблизи линий электропередач.

Основными источниками загрязнения окружающей среды в энергетике являются тепловые электростанции (ТЭС), на которых выработка энергии сопровождается загрязнением атмосферного воздуха, которая напрямую зависит от используемого топлива. При использовании жидких видов топлива исключает из отходов производства золу, в отличие при сжигании твердого вида топлива, не считая золу, в атмосферу поступают частицы несгоревшего топлива, фтористые соединения, оксиды азота, токсичные соединения, такие как мышьяк, оксид кальция, двуокись кремния. При сжигании газообразного топлива - природного газа - основным загрязнителем является оксиды азота. Исходя из последних проведенных исследований, было установлено, что использование природного газа в качестве топлива в среднем на 20% приводит к меньшим выбросам вредных газов, чем при использовании твердых видов топлива. Следовательно, экологически ущерб на экосистему в случае использования газа будет минимальным в сравнении с другими видами сырья [5].

В настоящее время деятельность атомных электростанций не оказала видимого влияния на экологию в районах их размещения. Но полностью исключить выбросы в атмосферу невозможно, поэтому уделяется внимание воздействию на природную среду производственной деятельности атомной энергетики, так как весь процесс ядерного топливного цикла (от добычи делящегося материала до переработки обратного топлива) может стать источником потенциальной опасности радиоактивных загрязнений.

Черная и цветная металлургия. Еще одним мощным источником загрязнения атмосферы считаются металлообрабатывающая промышленность. Производство чугуна и стали сопровождаются образованием металлургических шлаков, которые содержат в себе железо, тяжелые металлы, мышьяк, сурьму и т.д. Подготовка сырья, загрузка и ряд других процессов металлургического производства сопровождается газами и твердыми выбросами.

Степень нагрузки на природную среду цветной металлургии ничем не отличается от предприятий черной металлургии.

Цветная металлургия служит источником загрязнением атмосферы пылью и газами, выбросы содержат токсичные пылевидные вещества, мышьяк, свинец и др. При получении металла путем электролиза образуется большое количество особо опасных газообразных и фтористых соединений. Несмотря на относительно меньшие материальные потоки производства, цветная металлургия по количеству выбросов отходов не уступает черной металлургии. Твердые и жидкие отходы содержат в себе токсичные опасные загрязнители как свинец, ртуть, медь, хром, таллий, и др.

Серьезным источником загрязнения окружающей экосистемы являются так называемые отвалы и отходы производства. Отвалы занимают гигантскую ценную площадь земной поверхности.

Химическая промышленность. Химия и химическая промышленность характеризуется значительным разнообразием, высокой концентрацией и токсичностью. В результате работы предприятий химической индустрии в окружающую среду попадают вещества, приводящие к опасности заражением токсичными веществами. К ним следует отнести органические растворители, альдегиды, хлор, оксид азота, фториды, диоксид серы, сероводород, сероуглерод. Такие выбросы не крупномасштабны, но могут нанести существенный вред.

Температура выбрасываемых отходов практически не отличается от температуры окружающей среды, что приводит к скоплению токсичных веществ вблизи источников выбросов.

Технология химического производства нуждается в повышенном потреблении воды, поэтому стоки целлюлозно-бумажных промышленности насыщены различными токсинами. Наряду с соединениями, выбрасываемыми в окружающую среду, стоки содержат опасные органические вещества, минеральные кислоты, растворимые соли, щелочь [10].

Автотранспорт. В настоящее время количество передвижных источников выбросов загрязнений в атмосферу увеличивается. В мире эксплуатируется миллионы автомобилей, выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания содержат огромное количество токсичных соединений вредных для здоровья людей и природы: бензпирена, альдегида, оксидов азота, углерода, соединений свинца.

Стоит отметить, что наряду с вредными выбросами, автотранспорт является параметрическим источником загрязнения окружающей среды, а точнее шумовым. Создавая повышенный шум, инфразвук и электромагнитные излучения.

Сельское хозяйство. При механической обработке почв, сельскохозяйственное производство приводит к загрязнению атмосферного воздуха пылью. Содержание домашних животных и крупнорогатого скота приводит к выбросам метана. Промышленные комплексы по производству мяса выбрасывают в атмосферу сероводород и аммиак. Обработка полей от вредителей приводит к выбросам пестицидов при их распылении и т.д. [3].

1.3 Главные загрязнители атмосферы

Углекислый газ (CO_2) – слабокислотный сжиженный газ, не имеющий цвета и запаха, тяжелее воздуха. Способен растворяться в воде.

Образуется при сгорании всех видов топлива, используемые в промышленности (нефти, угля, газа). Является парниковым газом, с увеличением которого происходит повышение температуры в атмосфере. Что может привести к необратимым экологическим последствиям.

Окись углерода (CO) - газообразный продукт неполного окисления углерода, без запаха и цвета. Образуется при неполном сгорании ископаемого топлива, может нарушить тепловой баланс воздушного бассейна верхней атмосферы.

Сернистый газ (SO_2) – газ, не имеющий цвета, но с характерным резким запахом. Содержится в дымах, образованных в процессе сжигания серосодержащих видов топлива промышленными предприятиями.

Оксиды азота (NO , NO_2) – газообразные вещества, неорганические бинарные соединения азота с кислородом. Образуются интенсивнее всего при повышенных температурах сгорания всех процессах горения, образуя оксиды азота. Оксиды азота, попадая в атмосферу, создают смог, который может привести к респираторным заболеваниям [4].

Нитраты и нитриты. Загрязнений окружающей среды связано с возрастанием использования азотистых удобрений их во всех отраслях сельского хозяйства.

Нитраты постоянно присутствуют в живых организмах и растениях, но в ничтожных количествах и не вызывают неблагоприятных последствий на существование. Так как нитраты поступают в организм с водой и пищей, вследствие неграмотного ведения сельского хозяйства и нарушений технологий внесения удобрений в почву, возможен переизбыток нитратов в готовой продукции.

При употреблении в повышенных дозах нитраты способны в пищеварительном тракте восстанавливаться до более токсичных химических соединений – нитритов. Попадая в кровь, нитриты могут вызывать злокачественные новообразования, рак желудка, лейкоз.

Фосфаты - соли и эфиры фосфорных кислот, полученные в результате химической реакции фосфорной кислоты с другими химическими элементами. Попадающие в окружающую среду фосфаты могут способствовать насыщению водоемов биогенными элементами. Что даже полезно, повышается рост биологической продуктивности водных бассейнов. Но переизбыток фосфатов в природной среде ведет к загрязнению водоемов.

Озон (O_3) – газ с характерным запахом, образуется при взаимодействии углеводородов с кислородом. Озон относится к наиболее вредным загрязняющим веществам [5].

Приземный озон, находящийся в ближайшем слое к земной поверхности - тропосфере - является загрязнителем. Он плохо влияет на дыхание, повреждает посевы, деревья и всю растительность в целом.

Стратосферный озон возникает под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца естественным образом, и защищает нас от губительного на нас воздействия космоса.

При постоянной производственной человеческой деятельности, озоновый слой постепенно истощается. Разрушение происходит при выбросах в атмосферу хлорфторуглеродов, гидрохлорфторуглеродов, галлонов, бромистого метила, четыреххлористого углерода и метилхлороформов.

Свинец (Pb) – серебристо-серый металл, самый распространенный из токсичных тяжелых металлов.

Так как свинец входит в состав бензина, основным источником выбросов соединениями свинца являются выхлопные газы транспортных средств. Другими источниками свинца можно назвать свинцовые аккумуляторы, краски, свинцовые белила.

Интоксикация свинцом приводит к нарушению обмена веществ в живых клетках, поражению крови, изменению нервной системы, нарушению менструальной функции и снижению половой активности, повышению функций щитовидной железы, нарушению функций печени и т.д.

Ртуть (Hg) – жидкий металл серебряного цвета, химический элемент естественного происхождения. Испаряется при температуре близкой к нулевой. Попав в окружающую среду, ртуть легко переносится на значительные расстояния.

Поступает в атмосферу с вулканическими газами, газами из термальных источников, в мелкомасштабной добыче золота и серебра, и при неправильной утилизации изделий, с применением ртути при изготовлении (измерительные приборы, аккумуляторы, осветительные приборы и др.).

Ртуть имеет свойство, на протяжении длительного времени, сохраняться в природных средах и накапливаться в живых организмах.

Ртуть токсична для человека. Ее соединения влияют на белковый обмен и ферментативную деятельность организма [6].

Пестициды – известные так же как ядохимикаты - химические соединения, естественные загрязнители которые применяются человеком сознательно. Применяют как средства защиты растений от вредителей.

Пестициды обладают свойством накапливаться, усиливая негативное воздействие на почву, водоемы и атмосферу.

В малых концентрациях пестициды оказывают пагубное влияние на иммунную систему организма, а при увеличении концентрации примесей могут оказывать мутагенное, токсичное и канцерогенное действие на организм человека. Обильное использование пестицидов ведет к значительному росту раковых опухолей.

Диоксиды - группа химических соединений, является наиболее сильным антропогенным ядом, отличается токсичностью даже в малых концентрациях, повсеместностью, высокой стабильностью, сохраняется в окружающей среде и в организмах долгое время, вызывая ряд токсических эффектов.

Образуются диоксиды в результате естественных процессов (извержение вулканов, лесные пожары) или промышленной деятельности.

На здоровье человека диоксиды оказывают колоссальное влияние, вызывая злокачественные образования, кожные заболевания, повреждение нервной системы, гормональные нарушения, влияние на плод и др.

Кадмий – тяжелый металл, образуется при сгорании мазута и дизельного топлива. Основные источники загрязнения кадмием окружающей среды это металлургия и гальванотехника, а так же сжигание пластмассовых отходов, содержащих кадмий.

Отравление этим веществом может вызвать поражение почек, мышцы сердца, нервной системы, легких и др.

Радионуклиды – радиоактивные изотопы элементов, способное выбивать электроны из атомов и присоединять их к другим атомам с образованием пар положительных и отрицательных ионов – ионизирующее излучение.

Поступают радионуклиды в атмосферу благодаря промышленным отходам и радиоактивным выбросам (непригодные для использования материалы содержащие радионуклиды) атомной энергетики, испытания ядерного оружия, аварии на АЭС.

Поражение человеческого организма радиацией определяют дозой облучения. Степень тяжести растет по мере увеличения дозы облучения [7].

1.4 Нормативы качества атмосферного воздуха

Для загрязняющих веществ установлено два норматива: предельно допустимые максимально–разовые концентрации (рассчитывается на короткий период воздействия загрязняющих веществ), и предельно допустимые среднесуточные концентрации (рассчитывается на более продолжительный период времени).

Гигиенические нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ разработаны в соответствии с Федеральным законом "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения". Нормативы действуют на всей территории Российской Федерации и устанавливают предельно допустимое содержание загрязняющих вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест (городских и сельских поселений). Их применяют для проектирования оборудования, вентиляции, санитарной охраны атмосферного воздуха [16].

Предельно допустимые концентрации (ПДК) примесей - максимальная концентрация примесей загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Предельно допустимые максимально разовые концентрации (ПДК_{мр}) примесей - концентрация химических вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

Предельно допустимая среднесуточная концентрация (ПДК_{сс}) примесей – концентрация химических веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

Концентрации примесей определяет воздействие (физическое, химическое) на человека и окружающую среду. Основной параметр при нормировании содержания примесей в атмосфере. Определяется соотношением массы вещества на единицу объема атмосферного воздуха при нормальных условиях, измеряется в [мг/м³]. ПДК некоторых загрязняющих веществ приведены в табл.1.

Таблица 1.

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ

№	Вещество	Класс опасности	ПДК _{мр}	ПДК _{сс}
1	Оксид углерода (CO)	4	5	3
2	Диоксид азота (NO ₂)	3	0.2	0.04
3	Оксид азота (NO)	3	0.4	0.06
4	Диоксид серы (SO ₂)	3	0.5	0.05
5	Аммиак (NH ₃)	4	0.2	0.04
6	Озон (O ₃)	1	0.16	0.03
7	Формальдегид	2	0.05	0.01
8	Сероводород H ₂ S	2	0.008	-
9	Взвешенные частицы PM ₁₀	-	0.3	0.06
10	Взвешенные частицы PM _{2.5}	-	0.16	0.0354

Разработка предельно допустимых концентраций основывается на лимитирующем (определяющем) показателе вредности загрязняющего вещества. Показатель вредности характеризует направленность биологического действия вещества: рефлекторное и/или резорбтивное. Под рефлекторным действием понимается реакция со стороны рецепторов верхних дыхательных путей возникающие при кратковременном воздействии вредных веществ: ощущение запаха, раздражение слизистых оболочек, задержка дыхания и т.д. Поэтому рефлекторное действие лежит в основе установления максимальной разовой концентрации (ПДК_{мр}). Под резорбтивным действием понимают возможность развития общетоксических, эмбриотоксических, мутагенных, канцерогенных эффектов. Их возникновение зависит от концентрации вещества в воздухе и длительности ее вдыхания. С целью предупреждения развития резорбтивного действия устанавливается среднесуточная концентрация (ПДК_{сс}) [17].

Стандартный индекс (СИ) - наибольшая измеренная разовая концентрация примеси, деленная на ПДК. Определяется из данных наблюдений по одному посту (на всех постах района) за одной примесью (за всеми примесями) за месяц или за год

Наибольшая повторяемость превышения предельно допустимых концентраций в процентах по данным наблюдений по одному посту (на всех постах района) за одной примесью (за всеми примесями) за месяц или за год.

Индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) - комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий несколько примесей, представляющий собой сумму концентраций выбранных загрязняющих веществ в долях ПДК. В зависимости от его значения, уровень загрязнения определяется как:

- низкий (меньше или равен 5);

- повышенный (5-7);
- высокий (7-14);
- очень высокий (больше или равен 14).

Неблагоприятные метеорологические условия (НМУ) - краткосрочное сочетание метеорологических факторов, которые способствуют увеличению концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (штиль, туман, инверсия и др.) [18].

Инверсия - смещение охлажденных слоев воздуха вниз. Скопление их под теплыми слоями ведет к снижению рассеивания загрязняющих веществ и увеличению их концентраций в приземной части атмосферы.

По степени воздействия на организм человека веществами, загрязняющие атмосферный воздух, выделяют следующие классы опасности:

- Чрезвычайно опасные вещества (1-й класс опасности).

К нему относятся бензапирен, бериллий, ртуть, таллий, полоний, оксид свинца, растворимые соли свинца;

- Высоко опасные вещества (2-й класс опасности).

В этот класс входят: бор, кадмий, кобальт, литий, мышьяк, натрий, нитриты, свинец, сероводород, формальдегид, фенол, хлороформ, цианид, хлор;

- Вещества умеренно опасные (3-й класс опасности).

К ним относятся алюминий, железо, марганец, медь, никель, серебро, фосфаты, хром, цинк, этиловый спирт.

- Вещества малоопасные (4-й класс опасности)

Это сульфаты и хлориды [19].

1.5 Экологические последствия загрязнения

Глобальное потепление климата

Повышение средней климатической системы Земли называют глобальным потеплением. Способность атмосферы пропускать коротковолновую солнечную радиацию и, в то же время, задерживать длинноволновое тепловое излучение земной поверхности, в результате чего происходит нагрев нижних слоев атмосферы, называют парниковым эффектом.

Основное участие в формировании парникового эффекта поступление в окружающую среду антропогенных примесей. Чем меньше концентрация газов, тем ниже парниковый эффект.

Парниковый эффект оказывает на человечество как положительные так и отрицательные последствия.

К положительным последствиям можно отнести улучшение состояния лесных экосистем. Повышение концентрации углекислого газа увеличит интенсивность фотосинтеза, а, следовательно, приведет к возрастанию продуктивности диких и культурных растений, сельского хозяйства.

Повышение температуры приведет к увеличению испарения с поверхности океана, это окажет влияние на влажность климата, что особенно важно для сухих зон.

Отрицательные последствия будут немного масштабнее и заключаются они в повышении Мирового океана в результате интенсивного таяния ледников Антарктиды и Гренландии. Тепловое расширение океана приведет к затоплению приморских равнин, ухудшению водоснабжения приморских городов и т.д. Таяние грунтов создаст угрозу строениям и коммуникациям в районах с вечной мерзлотой. Активизирует процессы заболачивания и др.

Разрушение «озонового слоя»

Истощение озонового слоя (озоносферы) – слоя атмосферы Земли с наибольшей концентрацией озона (22-24км) приводит к увеличению потока ультрафиолетовых лучей на земную поверхность. Ультрафиолетовые лучи необходимы живым организмам для стимуляции роста и развития клеток, бактерицидного действия и т.д., но в небольших количествах. В больших дозах ультрафиолетовые лучи губительны, так как могут вызвать раковые заболевания и мутацию.

Значительное содержание высоколетучих, химически инертных у земной поверхности веществ – фреонов - пагубно влияют на экологические последствия. Поднимаясь в верхние слои атмосферы, фреоны подвергаются фотохимическому разложению с образованием окиси хлора, разрушающей озон, образуя так называемые «озоновые дыры» (пространство в озоносфере с пониженным содержанием озона).

Применяются фреоны в качестве хладагентов (кондиционеры, холодильники, рефрижераторы), пенообразователей и распылителей.

Кислотные дожди

К кислотным дождям относят любые атмосферные осадки, содержащие в себе какое-либо количество кислот в ходе растворения в атмосферной влаге антропогенных выбросов.

Отрицательные экологические последствия кислотных дождей проявляются в ухудшении состояния и гибели целых лесных массивов. Снижению урожайности многих сельскохозяйственных культур. Снижается водородный показатель почвы. Кислотные дожди являются причиной закисления пресноводных водоемов, что приводит к сокращению запасов промысловой рыбы, деградации многих видов организмов и всей экосистемы. Иногда это может сопровождать полную гибель водоема [8].

Смог

Смогом называют чрезмерное загрязнение воздуха вредными веществами. Ядовитая смесь дыма, тумана и пыли возникает по следующим

причинам. Это могут быть выхлопные газы автомобилей, результаты промышленных работ производств, природные и торфяные пожары и т.д.

Различают некоторые виды смога.

1) Серый смог (влажный смог Лондонского типа).

Является результатом высокой концентрации оксидов серы. Образуется в крупных промышленных центрах при неблагоприятных погодных условиях. Опасность этого типа усугубляется и высокой концентрацией взвешенных частиц в воздухе. Из-за температурной инверсии температура воздуха повышается, в результате загрязняющие вещества не могут рассеяться и образуют плотную завесу.

2) Фотохимический смог (сухой смог Лос-анджелесского типа).

Наиболее распространенный тип. Возникает чаще всего летом в солнечную погоду при отсутствии ветра и температурной инверсии. Фотохимический смог образуется под воздействием солнечной радиации на оксиды азота, углеводороды и летучие органические соединения, источниками которых являются выхлопные газы транспортных средств, выбросы заводов, электростанций. В результате образуются фотооксиданты - продукты фотохимических реакций, обладающие окислительными свойствами. Фотооксиданты состоят их зона, органических пероксидов, альдегидов и т.д.

3) Вулканический смог.

Разновидность смога, которая образуется в атмосфере вследствие извержения вулкана. Высвобождаясь из жерла, частицы и вредные газы вступают в реакцию с кислородом и солнечным светом. В вулканическом смоге есть некоторые химические вещества способные нанести ущерб окружающей экосистеме.

4) Ледяной смог.

Когда при очень низких температурах, отсутствии ветра и высокой влажности воздуха образуются небольшие кристаллики льда. На кристаллики налипают частицы вредных веществ, образуя густой туман. Смог такого

типа негативно воздействует на дыхательные органы и кровообращение человека [2].

Глава 2. Загрязнение атмосферного воздуха аэрозолями

2.1 Общие сведения об аэрозолях

Аэродисперсными системами (аэрозолями) называют дисперсные системы с газообразной средой и с твердой или жидкой дисперсной фазой. Само слово аэрозоль происходит от греческого «аер» – воздух и латинского «sol(utio)» – раствор [8].

Аэрозоли являются мельчайшими частицами твердого или жидкого вещества, которые могут на протяжении длительного времени находиться во взвешенном состоянии в воздухе либо газе.

Аэрозоли различают по способу их образования. Так при измельчении (распылении) твердых или жидких тел или при переходе тел во взвешенное состояние образуются дисперсионные аэрозоли. При объемной конденсации пересыщенных паров, вследствие испарения путем газовых химических реакций образуются конденсационные аэрозоли.

Жидкие и твердые частицы аэрозоля отличаются по форме. Твердые частицы имеют неправильную форму, отличную друг от друга. Жидкие же частицы имеют правильную шарообразную форму, представляя собой индивидуальную частицу. При коагуляции (слиянии) ни те, ни другие не меняют своей формы.

Точно определить размер аэрозольной частицы в атмосфере сложно, так как они имеют достаточно широкий диапазон размеров. Различают три группы аэрозолей по размеру. Мелкодисперсные аэрозоли, радиус которых меньше или равен одной десятой микрометра ($r \leq 0,1$ мкм). Среднедисперсные аэрозоли также называются большими частицами, их радиус находится в интервале от одной десятой до единицы микрометра ($0,1$ мкм $< r < 1$ мкм).

Радиус грубодисперсных аэрозолей равен или превышает единицы микрометра ($r \geq 1$ мкм), их называют гигантскими частицами [9].

Наиболее известные аэрозоли – это:

Туман. Конденсационный аэрозоль жидкой дисперсной фазы. Скопление воды, в воздухе сопровождающее образованием мельчайших частиц в результате конденсации водяного пара. Если температуре воздуха выше -10°C , то это мельчайшие капельки воды. При температуре воздуха от -10 до -15°C - это смесь капелек воды и кристалликов льда. При температуре ниже -15°C — кристаллики льда.

Дым. Это конденсационный аэрозоль, состоящий из мелких твердых частиц и обладающий твердой устойчивой дисперсной фазой, находящейся во взвешенном состоянии в газах. Благодаря тому, что частицы дыма практически не оседают под действием силы тяжести, они могут служить ядрами конденсации атмосферной влаги для образования тумана.

Смог. Содержащая продукты фотохимической реакции и пары воды смесь дыма и тумана.

Пыль. Диспергационный аэрозоль с твердыми частичками органического или минерального происхождения.

Спрей. Диспергационный аэрозоль с жидкой дисперсной фазой. Возникает при распаде пленок жидкости при распылении по воздействию акустического источника колебаний или при воздействии электрического поля разрушение струй [10].

2.2 Взвешенные твердые частицы в атмосферном воздухе

Взвешенными частицами или пылью называется смесь твердых и жидких частиц, размером от долей микрона до 0,1 мм, находящихся в воздухе во взвешенном состоянии продолжительное время.

Физический и химический состав РМ (Particulate Matter- взвешенные частицы), определяется факторами их возникновения, среди которых: возникновение пыли под воздействием природных сил (вторичное поднятие пыли ветром с поверхности, эрозия почвы, извержение вулканов и т.д.), растительного происхождения (отходы обработки древесины, хлопка, зерна), пыли животного происхождения (шерсть), органические продукты химических реакций, промышленные пыли (технологические процессы, процессы горения и т.д.).

В свою очередь промышленные пыли подразделяются на следующие 4 класса, в зависимости от механизма их образования:

1) Механическая пыль

Образуется в результате измельчения продукта в ходе технологического процесса.

2) Возгоны

Образуется в результате объёмной конденсации паров веществ при охлаждении газа, пропускаемого через технологический установку.

3) Летучая зола

Образуется в результате сгорания минерального топлива (несгораемый остаток). Содержится в дымовом газе во взвешенном состоянии.

4) Промышленная сажа

Образуется в результате неполного сгорания или термического разложения углеводородов. Твердый высокодисперсный углерод. Входит в состав промышленных выбросов [11].

Размер частиц.

Взвешенные частицы существуют в двух диапазонах размеров. В класс РМ_{2,5} входят частицы размером до 2,5 мкм (в том числе, ультратонкие частицы до 0,1 мкм.), в РМ₁₀ - размером от 2,5 до 10 мкм. В качестве количественного показателя РМ используется их массовая концентрация в воздухе, измеряемая в мг/м³.

Распределение частиц пыли по размерам, характеризуемое относительным содержанием фракций или параметрами функций, описывающих указанное распределение, называется дисперсным составом. Как правило, состав содержит частицы различных размеров, т. е. полидисперсные пыли. Для полидисперсных аэрозолей необходимо располагать сведениями о распределении их массы или общего числа частиц по их размерам, среднем размере частиц, доле частиц отдельных размеров и т.д. Редко встречаются мономерные пыли, то есть те, которые содержат в составе частицы узкого интервала [12].

Удельная поверхность пыли показывает отношение поверхности всех частиц к их массе или объему – удельная поверхность пыли. Свойство удельной поверхности оказывать влияние на воздухопроницаемость слоя порошка лежит в основе методов ее определения. Значимость этого параметра пыли велика, так как он оказывает влияние на реакционную способность пыли, способность увлажняться.

С увеличением удельной поверхности размельчаемых веществ (дисперсности) химическая активность пыли увеличивается.

Дисперсность пыли может быть выражена в виде таблиц экспериментальных данных, аналитических формул, графиков. Характеристика дисперсного состава пыли показывает, какую долю, по поверхности, числу частиц, по их объему или массе, составляют частицы, в уже отобранной пробе, принадлежат к заранее обусловленным фракциям. Экспериментальные данные представляются как содержание отдельных фракций пыли, представляющих собой доли массы аэрозоля или размера частиц (находящихся между двумя значениями их диаметров) [13].

В общем случае размеры частиц пыли (промышленного аэрозоля) формируются под действием множества факторов. Влияние каждого, фактора не может быть точно учтено.

Обычно дисперсный состав аэрозоля представляют распределением частиц по размерам. На практике его выражают в виде массовой или счетной

концентрацией. Отсюда берут начало способы выражения дисперсности с помощью определения числа частиц пыли каждой фракции в единице объема газообразной среды – счетная концентрация, и определения массы частиц в единице объема газообразной среды [14].

Простым методом определения дисперсного состава уловленной пыли является ситовой анализ. Когда размеры этой уловленной пыли более 40 мкм, т. е. достаточно крупные. Метод основан на просеивании материала через набор сит с ячейками известного размера, механически разделяя частицы по крупности. Пробу материала разделяют на несколько фракций. Размеры частиц фракции ограничены верхней и нижней границей применяемого сита. Для определения дисперсного состава частиц от 1 до 40 мкм используют седиментационный метод (способ выделения пыли из воздуха путем ее естественного осаждения под действием силы тяжести). При использовании воздушно-струйных просеивателей с печатными ситами процесс просеивания начинается с сит имеющих размеры ячейки до 15 мкм. При мокром просеивании (промыванием) применяют печатные сита с размерами ячеек до всего лишь 2 мкм.

Используется понятие плотности взвешенных твердых частиц в атмосферном воздухе. Ее подразделяют на виды:

1) Истинную плотность.

Масса единицы объема частиц пыли, без учёта объёма пор и газовых включений, которые может иметь частица (открытых и закрытых пор).

2) Кажущаяся плотность.

Масса единицы объема частиц, включая объем закрытых пор, включая объёмы пор и газовых включений. Кажущаяся плотность совпадает с истиной для гладких, монолитных твёрдых частиц, так же как и для жидких.

3) Объемная плотность.

Масса единицы объема частиц, включая в себя весь объем закрытых и открытых пор.

4) Насыпная плотность.

Масса единицы объема частиц, свеженасыпанных твёрдых частиц свободно насыпанных в какую-либо мерную емкость непосредственно после ее заполнения, т.е. в объем занимаемый частицами, включается объем пор и промежуточное пространство между частицами.

5) Объемная плотность.

Масса единицы объема частиц, включая в себя весь объем закрытых и открытых пор.

б) Насыпная плотность при встряхивании.

Масса единицы объема пыли при плотной упаковке частиц, достигаемой путем встряхивания.

Биологическая активность пыли зависит от ее химического состава, способного оказывать то или иное действие на организм человека: токсическое (отравляющее), раздражающее, фиброгенное или аллергенное. Пыль способна растворяться в воде или тканевых жидкостях. Если пыль не токсична, то ее растворимость сводится лишь к механическому раздражению тканей. Это способствует быстрому удалению пыли из легких. В случаях токсичной пыли растворимость в тканях может привести к отрицательным последствиям.

Слипаемость пыли - способность образовывать малоподвижные конгломераты (беспорядочная смеси) приводящие отложению пыли на внутренних поверхностях пылевых каналов. Повышенная слипаемость может привести к частичному или полному забиванию аппаратов.

Слипаемость пыли зависит по большей степени от адгезионной (прочности сцепления частиц с разными макроскопическими поверхностями) и аутогезионной (прочности сцепления частиц друг с другом) способности. Особенно в отсутствии связывающих жидкостей.

В качестве показателя слипаемости используют прочность пылевого слоя (P), измеряемого в паскалях. Слипаемость различают на неслипавшуюся (пыль имеющие прочность пылевого слоя меньше 60 Па

(шлаковая пыль, доломитовая пыль и др.)), слабо слипающуюся (пыль, прочность пылевого слоя которого находится в интервале от 60 до 300 Па (летучая зола, кокосовая пыль, сланцевая пыль и др.)), средне слипающуюся (пыль, прочность пылевого слоя которого находится в интервале от 300 до 600 Па (торфяная зола, пыли окиси цинка, свинца, олова и др.)) и сильно слипающуюся (пыль, имеющая прочность пылевого слоя больше 600 Па (гипсовая и алебастровая пыль; пыль глины, каолина, мергелей, мучная пыль; волокнистые пыли (асбест, хлопок, шерсть); пыль, содержащая крупные примеси и др.)).

Сыпучесть пыли, показывает способность частиц перемещаться под действием внешней силы и относительно друг друга. Зависит от формы частиц, их размера, степени их уплотнения и влажности. Сыпучесть оценивается по углу естественного откоса, который заключен между образующей конуса и горизонтальной поверхностью, форму которого принимает пыль, свободно насыпаемая из узкого отверстия на плоскую поверхность. Различают статический угол (угол обрушения) естественного откоса - угол, образованный при обрушении слоя в результате удаления подпорной стенки и динамический угол естественного откоса – при падении частиц на плоскость. Статический угол естественного откоса всегда больше динамического.

Абразивность пыли называют способность пыли вызывать истирание стенок конструкций, с которыми соприкасается пылегазовый поток, зависит от скорости потока, твердости, плотности вещества, из которого образовалась пыль, размера и формы частиц.

Вследствие абразивности пыли износ металлических элементов возрастает с увеличением размера частиц (до 80 мкм). При дальнейшем росте размера, абразивные свойства уменьшаются.

Электрические силы пыли определяют устойчивость пылевых агрегатов, взрывоопасность пыли, ее воздействие на живые организмы и должны быть учтены при работе электрофильтров применяющих для

очистки воздуха от пыли. Электрические свойства пыли (удельное сопротивление, заряд пыли) влияют на поведение пылевых частиц.

Удельное электрическое сопротивление прохождению электрического тока через куб пыли со стороной в 1 м, называют удельным электрическим сопротивлением (УЭС).

УЭС может быть приведено только к пыли диэлектрических материалов и по величине сопротивления разделяют три группы: хорошо проводящую, средне и плохо проводящую (высокоомную).

Электрическое сопротивление пыли обусловлено поверхностной и объемной проводимостью. Вследствие адсорбции влаги и газов, образуется поверхностный слой, отличающийся по свойствам от основного материала. Этот слой причиной поверхностной проводимости. Внутренняя проводимость вызвана электронной или ионной проводимостью основного материала частиц. С ростом температуры проводимость увеличивается за счет увеличения энергии электронов.

Электрический заряд аэрозолей имеет в своем составе положительно и отрицательно заряженные частицы и частицы, имеющие нейтральный заряд. Как и другая аэрозольная частица, пыль может быть нейтральной или иметь один или несколько зарядов. Суммарный заряд определяет соотношение частиц.

В результате взаимного трения, трения о воздух, адсорбции ионов, электронов при ионизации среды (этот способ электризации основной для взвешенных частиц), частицы получают заряд, как в процессе образования, так и после него, находясь во взвешенном состоянии.

Электрическое состояние аэрозольной системы не постоянно. Взвешенные частицы взаимодействуют с окружающей средой и друг с другом, получают, отдают заряд или нейтрализуются.

Пожароопасные и взрывоопасные свойства аэрозолей. Отрицательным свойством многих видов пыли является способность образовывать с воздухом взрывоопасную смесь. Проявляется

пожароопасность и взрывоопасность при различных физико-химических качествах твердых веществ, из которых образована пыль. Взрывоопасные свойства являются значительно более опасными, нежели пожароопасные, так как при взрыве реакция протекает значительно быстрее (сотни и тысячи метров в секунду), чем при горении (несколько десятков метров в секунду).

Горение - физико-химический процесс взаимодействия окислителя и горючего вещества. Сопровождается излучением света и выделением тепла.

Взрыв - разновидность реакции горения. Ее отличие практически в мгновенном протекании реакции в объеме.

Локальный взрыв пыли может привести обратно, во взвешенное состояние, уже осевшую пыль, что приведет к расширению зоны действия взрыва. Процесс горения осевшей пыли, протекает медленнее, чем горение пыли находящейся во взвешенном состоянии [15].

2.3 Методы контроля и приборы для измерения концентрации пыли в атмосфере

Методы определения концентрации пыли разделяют на две основные группы:

1. Методы, основанные на предварительном осаждении (весовой, радиоизотопный, оптический, пьезоэлектрический методы; метод, основанный на улавливании пыли водой; метод механических вибраций; метод, основанный на измерении перепада давлений на фильтре);
2. Метод без предварительного осаждения пыли (акустический, оптический, электрический методы).

При анализе концентрации пыли в загрязненном атмосферном воздухе, предпочтение отдают методам, которые основаны на предварительном осаждении пыли, потому что большинство из них позволяют определять

массовую концентрацию взвешенных частиц, что является важнейшим параметром анализа воздуха. К недостаткам данного способов относят циклический характер измерения, большую сложность измерения и низкую чувствительность анализа. На практике более часто применяют гравиметрический, радиоизотопный и оптические методы. Рассмотрим данные методы определения уровня концентрации пыли.

1) Гравиметрический (весовой) метод. Этот метод заключается в выделении частиц пыли из общего потока атмосферного воздуха и определении их суммарной массы. Отбор проб воздуха проводят, например, методом фильтрации. В качестве фильтрующих материалов в пылемерах используют аналитические аэрозольные фильтры (АФА). Главным преимуществом гравиметрического метода является возможность прямого определения массовой концентраций пыли и отсутствие влияния ее физико-химических свойств на результат измерения. К недостаткам следует отнести трудоемкость метода и длительность анализа.

2) Радиоизотопный метод. Данный метод основан на физическом свойстве ионизирующего излучения поглощаться частицами пыли. Массу уловленной пыли в этом случае определяют по степени ослабления ионизирующего излучения при прохождении его через слой сконцентрированной пыли. Результаты и погрешности измерения зависят от химического и дисперсного состава пыли, что обусловлено особенностью реакции радиоактивного излучения с веществом и отсутствием линейной зависимости степени поглощения от толщины слоя поглотителя. В данном методе погрешность точности определения концентрации пыли не превышает 15%. Однако, методика измерения концентрации пыли радиоизотопным методом намного проще и незначительно уступает гравитационному методу по точности и чувствительности, а также, при создании автоматических систем контроля атмосферного воздуха, этот метод может являться отличной альтернативой более распространенного гравитационного метода.

3) Оптические методы. Существуют несколько видов данных методов:

а) Фотометрический метод, который основан на измерении оптической плотности запылённого потока по степени рассеивания света;

б) Абсорбционный метод, который, в свою очередь, зависит от явления поглощения света при прохождении его через пылегазовую среду.

В своей физической основе, оптические методы используют закономерности изменения физических свойств запыленного воздуха. Изменение оптической плотности по степени светопоглощения или рассеивания света называют фотометрическим методом анализа. С помощью данного метода можно определять довольно низкие по содержанию пыли концентрации.

Абсорбционный метод, который основан на физическом свойстве поглощения света при прохождении его через пылегазовую среду, позволяет довольно точно определить концентрацию взвешенных частиц в атмосферном воздухе без предварительного отбора пробы. Главным недостатком этого метода контроля концентрации загрязняющего вещества является его низкая довольно низкая чувствительность при измерении особо малых концентраций аэрозольных частиц, а также полная невозможность контроля слишком больших концентраций, так как световое излучение поглощается практически полностью .

4) Пьезоэлектрический метод. Данный метод разделяется на два варианта:

а) Изменение частоты колебаний пьезокристалла при осаждении на его поверхности пыли (определяется массовая концентрация пыли);

б) Подсчет электрических импульсов при соударении частиц пыли с пьезокристаллом (счётная концентрация).

В отличие от остальных, рассмотренных ранее, методов определения концентрации пыли в атмосферном воздухе, которые измеряют массовую концентрацию пыли, пьезоэлектрический метод измеряет непосредственно массовую концентрацию.

Поток атмосферного воздуха попадает в прибор, который основан на свойствах пьезоэлектрического метода, через импактор. Он является фильтром и удаляет более крупные частицы загрязняющих веществ из потока. Более мелкие частицы приобретают электрический заряд и оседают на самом пьезокристалле. Осевшая пыль изменяет резонансную частоту кристалла, и так как изменение частоты пропорционально массе пыли, масса довольно таки просто вычисляется.

5) Электрические методы. Они подразделяются на индукционный, контактно-электрический и емкостный. Данные методы используются в основе создания пылемеров, измеряющих концентрации аэрозолей непосредственно в воздушной среде. Однако, на погрешности в показаниях этих приборов, существенное влияние могут оказывать метеорологические параметры (влажность и температура воздуха), физико-химические свойства пыли и изменение ее дисперсного состава во времени. Из-за непостоянности точности своих наблюдений, данный метод не получил широкого распространения для анализа атмосферного воздуха.

6) Счетный (микроскопический) метод. Этот метод позволяет определить общее количество пылевых частиц в единице объема воздуха и соотношения их размеров. Пыль, содержащаяся в определенном объеме атмосферного воздуха, осаживают на стекло, которое покрыто прозрачной клейкой пленкой. Далее, под микроскопом, инженер вручную определяет форму, количество и размеры частиц, которые находятся на стекле [20].

Анализ газового состава атмосферного воздуха производится с помощью газоанализаторов, которые позволяют проводить мгновенный и непрерывный контроль над содержанием в нем вредных примесей. Для определения и контроля уровня концентрации загрязнения воздуха взвешенными частицами используют пылемеры.

Пылемерами называют приборы, которые служат для определения концентрации и/или дисперсного состава взвешенных в атмосферном воздухе твердых частиц аэрозолей.

Как говорилось ранее, концентрацию пыли в воздухе можно определить как без отбора пробы газовой смеси, так и с её отбором. Во втором случае, для некоторых приборов, может потребоваться осадок пыли.

Массовые пылемеры могут быть разделяться по их методу использования на ручные или автоматические, а так же по периодичности их использования: периодические или непрерывные. Отбор пробы запыленного газа производится через специальную трубку, которая установлена входным отверстием навстречу газовому потоку с соблюдением равенства скоростей газа во входном сечении трубки и в потоке. Фиксированный объем пробы воздуха проходит через специальный фильтр и по изменению массы данного фильтра, довольно просто определяется масса осевшей пыли. Ее концентрацию можно определить по массовому отношению пыли при данном объеме воздушного потока. Фильтром могут служить собой либо тонковолокнистые материалы (могут быть стеклянными, синтетическими или минеральные), либо специальную фильтровальную бумагу.

К массовым пылемерам относят радиоизотопные приборы для автоматического измерения концентрации пыли по приросту массы осадка на фильтре, действие которых основано на пропускании излучения определенных длин волн через запыленный фильтр и последующего определения степени поглощения этого излучения. Непрерывность работа таких приборов достигается путем применением движущихся ленточных стекловолоконных или иных фильтров.

Более сложными по устройству являются оптические пылемеры, действие которых основано на поглощении или рассеянии светового пучка, которые был пропущен через слой запыленного газа. В случае поглощения, луч света проходит через газовый поток и, будучи ослабленным за счет поглощения частицами пыли, попадает на один из двух фотоприемников. Одновременно с этим, на второй фотоприемник падает луч для сравнения. В микросхеме, которая соединяет оба фотоприемника, возникает сигнал рассогласования, который является степенью поглощения пучка света и

площади поверхности частиц пыли в общем потоке атмосферного воздуха. Главным отличием пылемеров, которые используют данный метод измерения концентрации пыли, является то, что на фотоприемник поступают импульсы, которые рассеиваются разными по размеру и свойствам частицами пыли. Оптические пылемеры, за несколькими исключениями, являются автоматическими приборами. Несмотря на это, они требуют определенной калибровки для каждого вида пыли, так как результаты их показаний сильно зависят от ее дисперсного состава и оптических свойств аэрозолей. В настоящее время, использование инфракрасного (ИК) излучения позволяет уменьшить минимальную концентрацию пыли, которая может быть зафиксирована прибором, что значительно повышает практическую и точность этих пылемеров.

Большую группу пылемеры составляют автоматические приборы, в которых постоянно отбираемую пробу атмосферного воздуха анализируют без получения пылевого осадка. Наиболее простыми представителями данной группы являются контактно-электрические пылемеры, в действие которых лежит свойство приобретения частицами пыли при трении о внутренние поверхности пластмассовой трубки, которая используется в приборе, электрического заряда. Устройство устроено так, что величина этого заряда прямо - пропорциональна площади поверхности частиц пыли. Недостатком таких пылемеров является сильная зависимость концентрации пыли как от распределения частиц по размерам, так и от их электрических свойств. В индукционных пылемерах предварительно заряженные пылевидные частицы пропускают через измерительную камеру со специальным электродом, на котором, в свою очередь, индуцируется заряд, служащий мерой общего заряда частиц, который определяется площадью их поверхности. Отсюда следует, что данный заряд является мерой измерения концентрации пыли, но только при условии постоянности её состава и свойств. В емкостных пылемерных устройствах, загрязненный атмосферный воздух проходит через трубку, внутри которой установлены две пластины,

между которыми помещена сетка, которая находится по постоянным напряжением. Данная схема подключена к генератору, частота колебаний которого изменяется по степени осаждения частиц пыли на наэлектризованной сетке [21].

Для определения низких показателей концентраций пыли, которая присутствует в атмосферном воздухе, применяются фотоэлектрические счетчики, в которых запыленный воздух пропускается через освещенную зону и, с помощью установленного в устройстве прибора фотоумножителя регистрируются производимые световые импульсы, рассеянные отдельными частицами под углами до 90° . Данные фотоимпульсы преобразуются в скачки напряжения, которые с помощью электронной схемы классифицируются по амплитудам на несколько диапазонов в соответствии с их размерами. Благодаря такой сортировке снижается влияние различных метеорологических и физических факторов на точности счетчика, который без специально настройки и калибровки одновременно определяет концентрацию и размеры частиц. Главным недостатком приборов, использующих этот метод, является ограниченный верхнего уровня рассчитанной концентрации, который зависит от мощности пучка лучей. Одним из усовершенствований таких счетчиков служит их объединение с микропроцессором, который позволяет полностью автоматизировать счет частиц при одновременном определении их размеров. Остается только проводить поверку прибора на ошибки.

Определение дисперсного состава промышленной пыли при её высокой концентрации, требует отбора пробы из атмосферного воздуха с последующим её суспендированием в жидкой или газообразной форме, для чего используют специальные приборы. Для измерений размеров частиц без нарушения их агрегатного состояния широко применяют довольно простые в использовании ручные приборы-импакторы, в которых разделение пыли осуществляется в момент отбора пробы, что позволяет мгновенно оценить размеры частиц аэрозолей. Пыль, которая присутствующая в пробе

атмосферного воздуха, разделяется на несколько отдельных фракций при пропускании газа через последовательно установленные сопла постепенно уменьшающегося диаметра. Частицы, которые соответствуют определенному размеру, осаждаются напротив определенных сопел. В таком методе, концентрацию различных фракций пыли, можно определить по полученному привесу за время отбора пробы. Импакторы позволяют одновременно с дисперсным составом оценивать также концентрацию пыли в общем газовом потоке.

Для большинства пылемеров средняя погрешность измерений составляет около 20%. Наименьшей погрешностью обладают радиоактивные и фотоэлектрические приборы. Худшие показатели точности имеют ручные массовые пылемеры [22].

Глава 3. Исследования временных рядов концентрации пыли

3.1 Физико-географические особенности расположения г. Архангельск

Город Архангельск является столицей Архангельской области, которая расположена на севере европейской части страны. В состав области также входит Ненецкий автономный округ (НАО), архипелаги Новая Земля и Земля Франца-Иосифа, Соловецкие острова, острова Колгуев и Виктория. Большая часть территории Архангельской области расположена на Восточно-Европейской равнине. Северная граница омывается водами Белого, Баренцева и Карского морей, относящихся к бассейну Северного Ледовитого океана. Практически вся северная территория области (крупные острова и архипелаги) расположена выше границы Северного полярного круга.

Административный центр Архангельской области расположен в устье реки Северная Двина, которая является одной из наиболее крупных судоходных рек на севере Европейской части России. Город Архангельск находится в 30-35 километрах от впадения её в Белое море.

Архангельск находится на равнинной местности. Высота города составляет около 7 метров над уровнем моря. Общая территория городского округа Архангельск составляет порядка 29442 га (294,42 км²). Городские набережные протянулись вдоль рек на 35 км. Территория всей Архангельской области и города Архангельск в частности, представляет собой равнину со слабо выраженным уклоном к Белому и Баренцеву морям, которая образовалась в результате движения огромного древнего ледника. Климат у города умеренно-морской с очень холодной и продолжительной зимой. Лето в Архангельск короткое и прохладное, преимущественно сухое. Климат данного района Европейского севера сформирован под действием северных морей и переносов воздушных масс с Атлантического океана. Малое количество солнечной радиации, присущее всех близким к Атлантике

территориям, является очень значимым фактором в формировании местного климата.

Для города Архангельск характерны частые изменения погоды, высокая влажность воздуха и большое количество дней с осадками. Средняя температура в холодное время года составляет около -13°C , однако, при прохождении холодной воздушной массы зимой возможны морозы до -30°C . Летом температура воздуха составляет $+16^{\circ}\text{C}$, но при прохождении теплого воздуха со стороны степей, которые расположены значительно южнее, бывают разовые значительные повышения температуры воздуха до $+35^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков: около 607 мм. Средняя температура воздуха за год составляет всего $+1,3^{\circ}\text{C}$.

Город Архангельск известен не только своими природными ресурсами, но и своей промышленностью, которая крайне отрицательно сказывается на экологии и атмосферном воздухе всего региона. Всего в городе официально действует более 7 тысяч предприятий, из них 2 тысячи крупных и средних.

Лидирующим направлением промышленности в городе является лесная, которая составляет порядка 40% всей продукции, производимой в городе. Торговые связи Архангельска с другими регионами России и западными странами основываются на продаже леса, бумаги и целлюлозы. Главными объектами лесной промышленности по производству хвойной сульфатной небеленой целлюлозы являются следующие предприятия: “Соломбалес” (крупнейший лесопромышленный холдинг России,), “Соломбальский ЦБК” (является головным предприятием холдинга “Соломбалес”, а также “Соломбальский ЛДК” (входит в состав холдинга “Соломбалес”).

Добывающей промышленностью города Архангельска являются: “Севералмаз” (предприятие, занимающееся добычей, сортировкой, гранением алмазов и изготовлением алмазного инструмента),

“Архангельскгеолдобыча” (добыча нефти и газового конденсата) и компания “Полярное сияние” (добыча нефти, филиал НК “Роснефть”).

Машиностроительная промышленность представлена в городе Архангельска “Соломбальским машиностроительным заводом”, который является крупнейшим изготовителем лесозаготовительной техники в регионе.

Архангельская ТЭЦ – основной производитель электроэнергии и горячего водоснабжения Архангельска. Важность данной гидроэлектростанции невозможно переоценить. Она обеспечивает весь город и соседние поселки энергией.

К пищевой промышленности города Архангельска относят: “Архангельский Траловый Флот” (рыбодобывающее предприятие Архангельска), ОАО “Молоко” (молочный завод, который обеспечивает своей продукцией город и область) и “АЛВИЗ” (ликероводочный завод Архангельска).

На загрязнение побережья Белого моря еще влияют и сбросы крупных машиностроительных предприятий: производственное объединение «Севмаш» (г. Северодвинск), Центр судоремонта «Звездочка» (г. Северодвинск) и основных предприятий теплоэнергетики Северодвинские ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, Архангельская ТЭЦ.

Вследствие огромного количества промышленных объектов, экология города находится в плохом состоянии. На территории города и области находится целый ряд предприятий, которые оказывают губительное воздействие на окружающую среду и атмосферный воздух. Помимо описанных выше промышленных объектов, стоит отметить государственный испытательный космодром Министерства обороны РФ “Плесецк”, который подвергает загрязнению целые районы области, путем падения в них ступеней ракет-носителей.

Предприятия городов Архангельск, Новодвинск, Северодвинск и Коряжма производят ежедневные выбросы вредных веществ, которые загрязняют атмосферный воздух. Из-за высокой концентрации в нем взвешенных частиц, формальдегида, бенз(а)пирена, диоксидов серы и азота, оксида углерода, а также сероводорода и метилмеркаптана, загрязнение воздуха достигает высокого уровня.

На загрязнение воды в Северной Двине наибольшее влияние оказывают целлюлозно-бумажные комбинаты Архангельска и области. Благодаря этим предприятиям в реке в огромной концентрации присутствуют соединения цинка, меди, железа, лигносульфонаты, органические вещества [23].

3.2 Общая экологическая обстановка в г. Архангельск в 2014 году

В дипломной работе используются данные наблюдений автоматической станции экологического контроля. Данные были предоставлены “Центром природопользования и охраны окружающей среды” Архангельской области, расположенной в городе Архангельск по адресу: ул. Павла Усова, д. 14. Местоположение автоматической станции указано на рис. 1.

Вблизи станции находятся крупное автомобильное шоссе, железнодорожная дорога и заброшенный завод, на котором до сих пор находятся остатки промышленности.

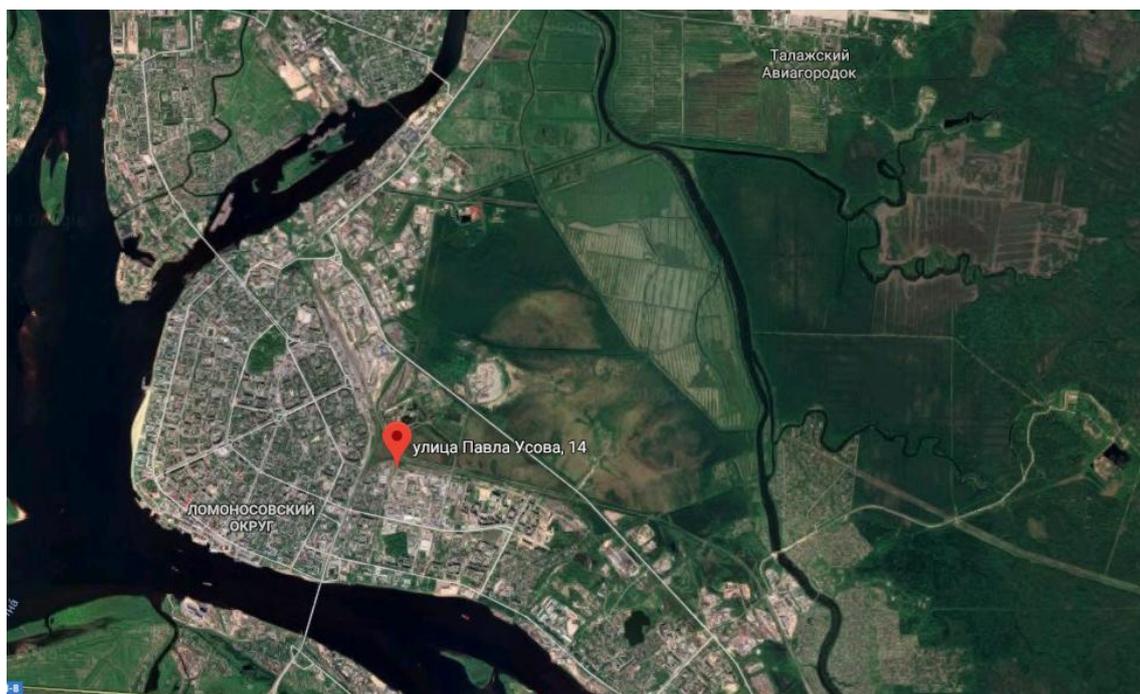


Рис. 1. Местоположение автоматической станции в г. Архангельск

Архивные выборки содержат концентрации оксида углерода (CO), оксида азота (NO), диоксида азота (NO₂) и твердые примеси (PM₁₀), и следующие метеорологические параметры: температуру (T), относительную влажность воздуха (RH), скорость (Ws) и направление ветра (Wd). Данные представлены за следующие периоды: зима 2013-2014 года (три месяца холодного периода года – декабрь, январь, февраль), весна 2014 года (март, апрель, май), лето 2014 года (три месяца теплого периода года – июнь, июль и август) и осень 2014 года (сентябрь, октябрь, ноябрь). Предоставленные изначально данные представляют собой таблицы “Excel” со значениями концентраций вышеупомянутых веществ и метеопараметров с шагом по времени 20 минут.

Усредненные до суточных почасовые данные, которые были использованы в данной работе, представлены в Приложениях А, Б, В и Г.

На основе полученных данных были построены графики распределения концентрации всех примесей, температуры, влажности, скорости и направления ветра за весь год.

На рисунках 2, 3, 4 и 5 показаны графики распределения концентрации загрязняющих веществ за 2013-14 год. Для более наглядной составляющей распределения CO, была выбрана вспомогательная ось по вертикали.

В таблицах, 2, 3, 4 и 5 представлены данные о максимальных и минимальных значениях той или иной рассматриваемой концентрации загрязняющего вещества.

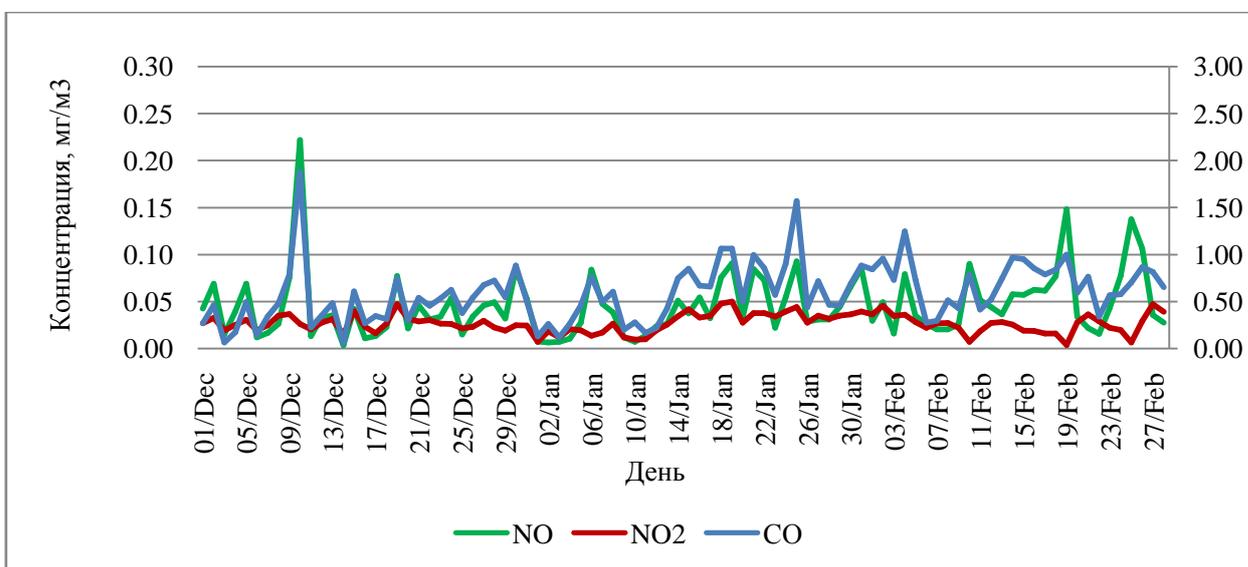


Рис. 2. Распределение загрязняющих веществ за зиму 2013-14 гг.

Таблица 2.

Максимумы и минимумы концентрации загрязняющих веществ за зиму 2013-14 гг.

ЗВ	Декабрь		Январь		Февраль	
	min	max	min	max	min	max
CO, мг/м ³	0,052	1,878	0,118	1,570	0,274	1,246
NO, мг/м ³	0,003	0,222	0,006	0,093	0,016	0,148
NO ₂ , мг/м ³	0,015	0,047	0,007	0,050	0,004	0,047
PM ₁₀ , мг/м ³	0,025	0,106	0,029	0,162	0,012	0,100

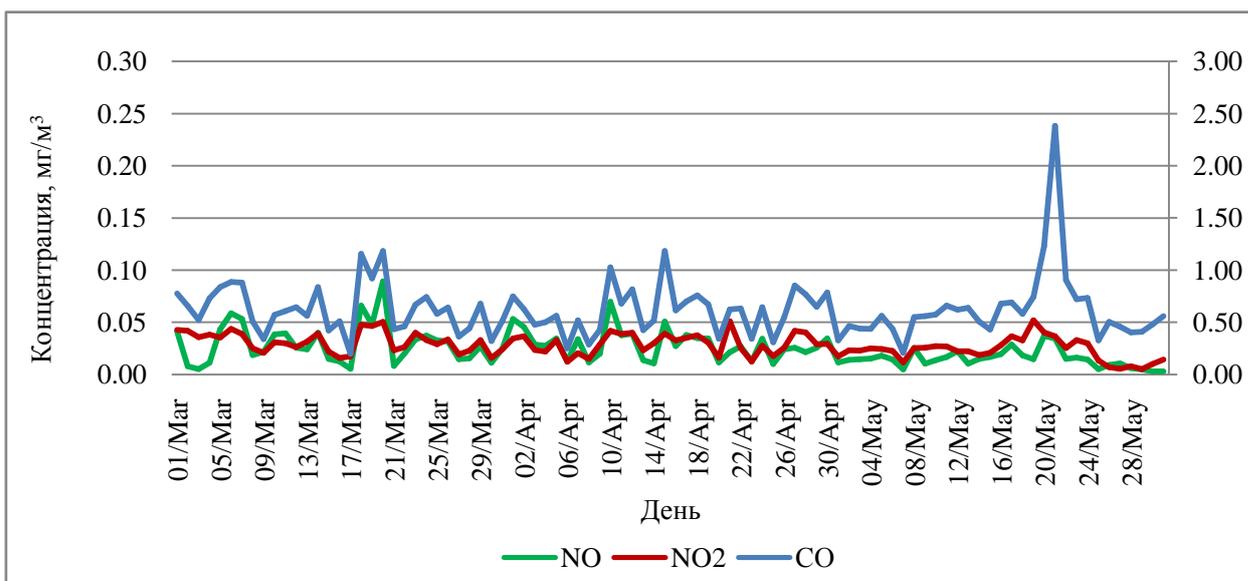


Рис. 3. Распределение загрязняющих веществ за весну 2014 года

Таблица 3.

Максимумы и минимумы концентрации загрязняющих веществ за весну 2014 г.

ЗВ	Март		Апрель		Май	
	min	max	min	max	min	max
CO, мг/м ³	0,198	1,183	0,251	1,183	0,209	2,382
NO, мг/м ³	0,005	0,089	0,010	0,070	0,003	0,037
NO ₂ , мг/м ³	0,016	0,050	0,012	0,051	0,005	0,052
PM ₁₀ , мг/м ³	0,016	0,027	0,017	0,031	0,011	0,082

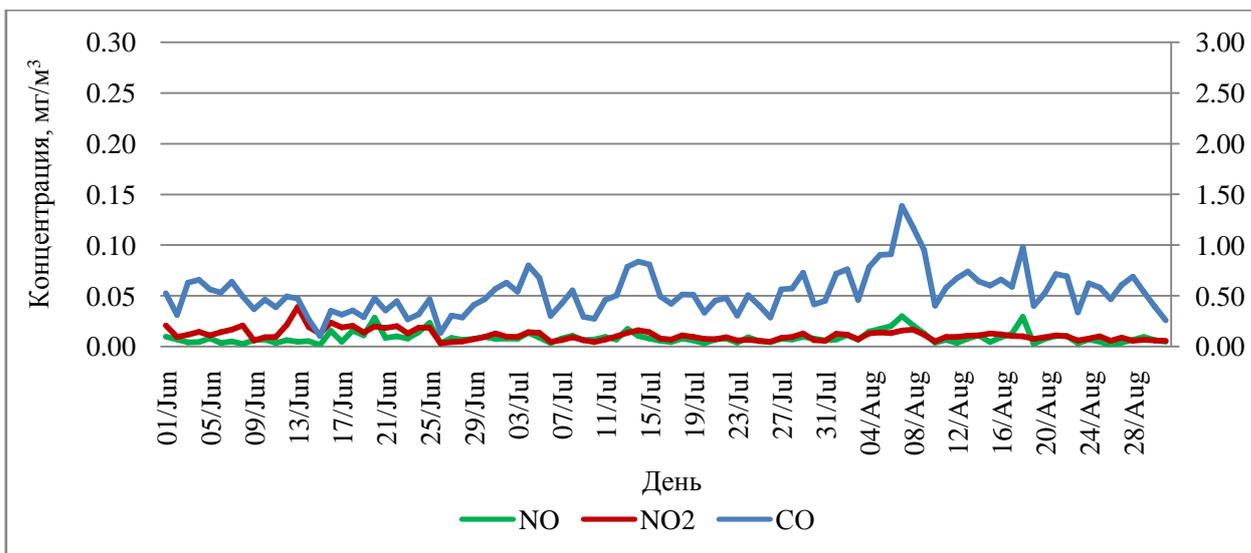


Рис 4. Распределение загрязняющих веществ за лето 2014 года

Таблица 4.

Максимумы и минимумы концентрации загрязняющих веществ за лето 2014 гг.

ЗВ	Июнь		Июль		Август	
	min	max	min	max	min	max
CO, мг/м ³	0,102	0,658	0,272	0,836	0,257	1,384
NO, мг/м ³	0,002	0,028	0,003	0,017	0,002	0,030
NO ₂ , мг/м ³	0,003	0,039	0,004	0,016	0,005	0,017
PM ₁₀ , мг/м ³	0,009	0,011	0,008	0,010	0,007	0,009

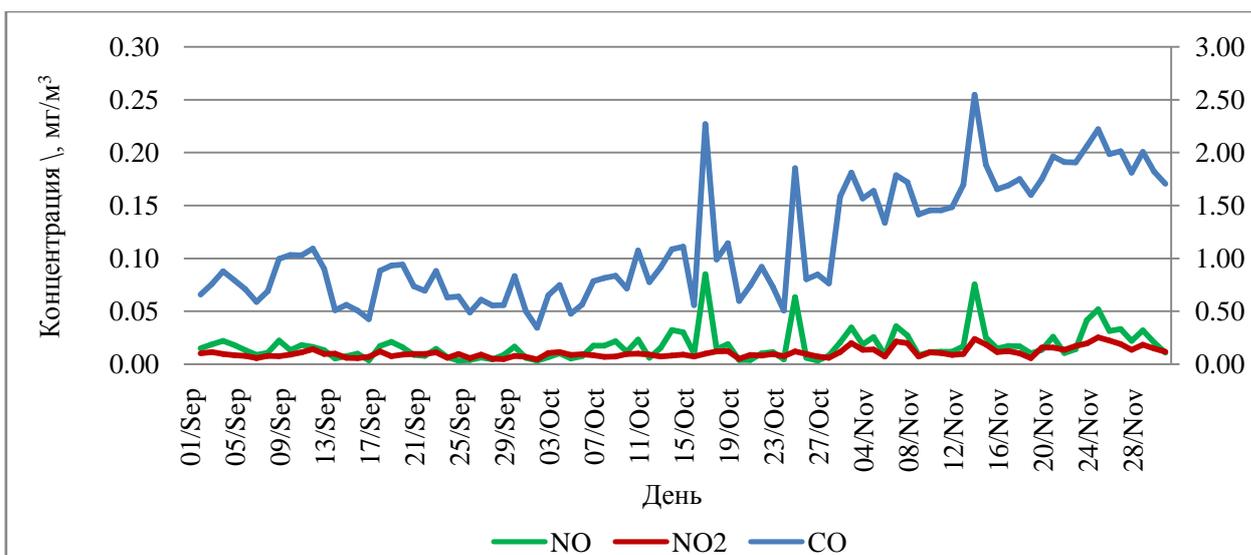


Рис 5. Распределение загрязняющих веществ за осень 2014 года

Таблица 5.

Максимумы и минимумы концентрации загрязняющих веществ за осень 2014 гг.

ЗВ	Сентябрь		Октябрь		Ноябрь	
	min	max	min	max	min	max
СО, мг/м ³	0,424	1,091	0,343	2,268	1,337	2,546
NO, мг/м ³	0,003	0,022	0,003	0,085	0,008	0,075
NO ₂ , мг/м ³	0,005	0,014	0,004	0,012	0,006	0,025
PM ₁₀ , мг/м ³	0,005	0,043	0,003	0,011	0,010	0,073

На рисунках 6, 7, 8 и 9 изображена повторяемость ветра в виде “розы ветров” за все времена года.

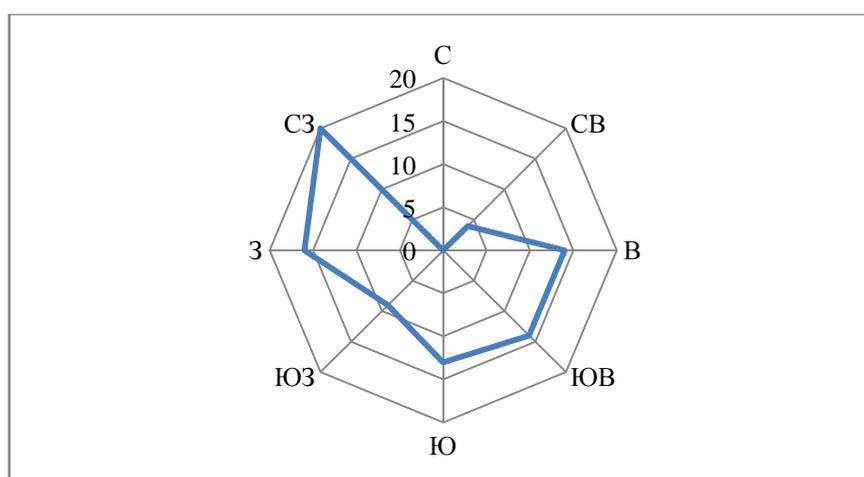


Рис. 6. Повторяемость ветров за зиму 2013-2014 гг.

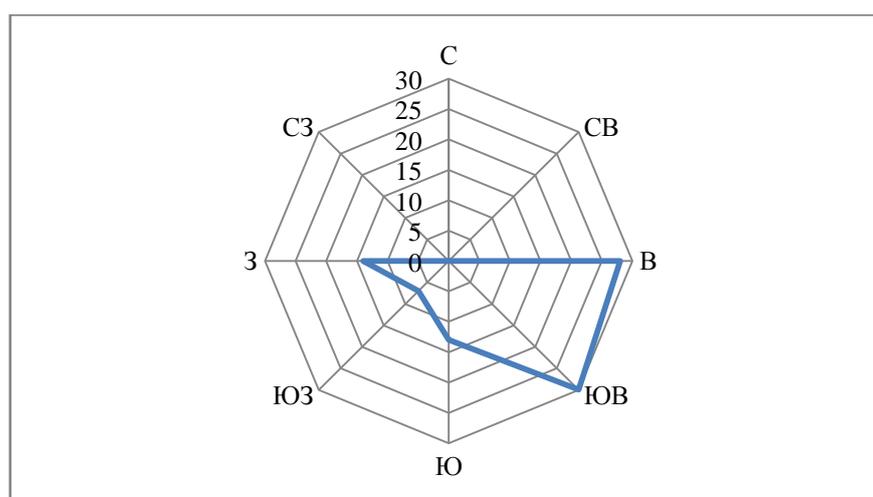


Рис. 7. Повторяемость ветров за весну 2014 года

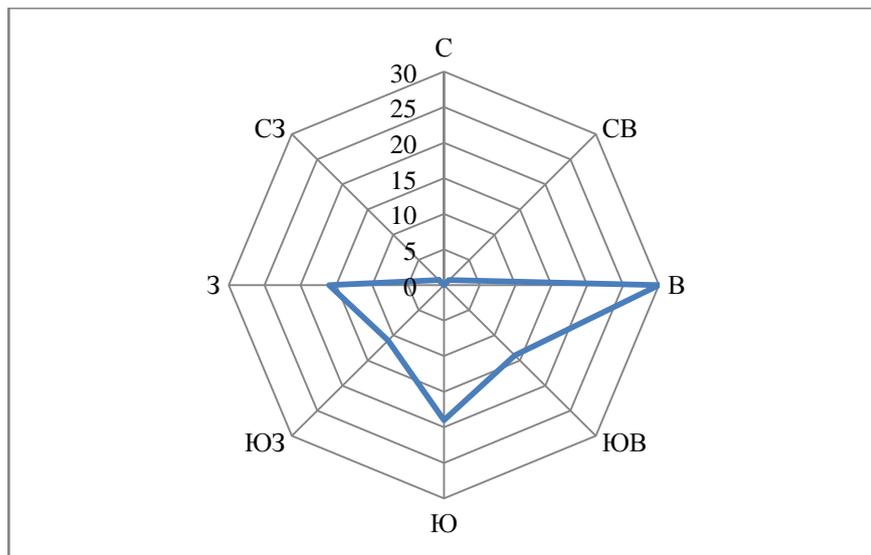


Рис. 8. Повторяемость ветров за лето 2014 года

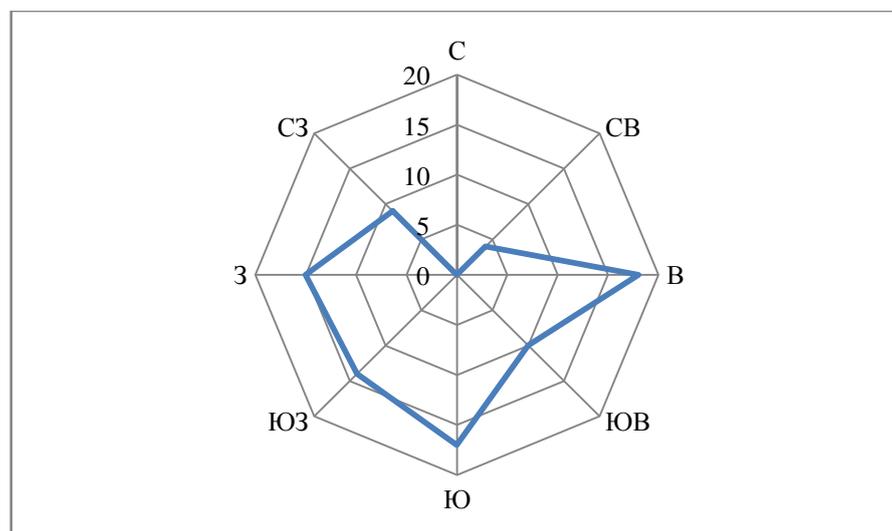


Рис. 9. Повторяемость ветров за осень 2014 года

По графикам сезонного распределения уровня загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города Архангельск, можно сделать вывод об общей загрязненности. Ход концентраций примесей сильно изменяется от времени года (температуры воздуха) и направления ветра. В ряде случаев, в которых направление ветра приносило примеси, попавшие в воздух над крупными предприятиями, были зафиксированы высокие показания концентраций загрязняющих веществ.

3.3 Анализ загрязнения атмосферного воздуха PM_{10} в 2014 году

Для анализа распределения пыли PM_{10} в течение года, рассмотрим рисунки 10, 11, 12 и 13, на которых в графическом виде представлен сезонный ход изменения уровня концентрации взвешенных частиц.

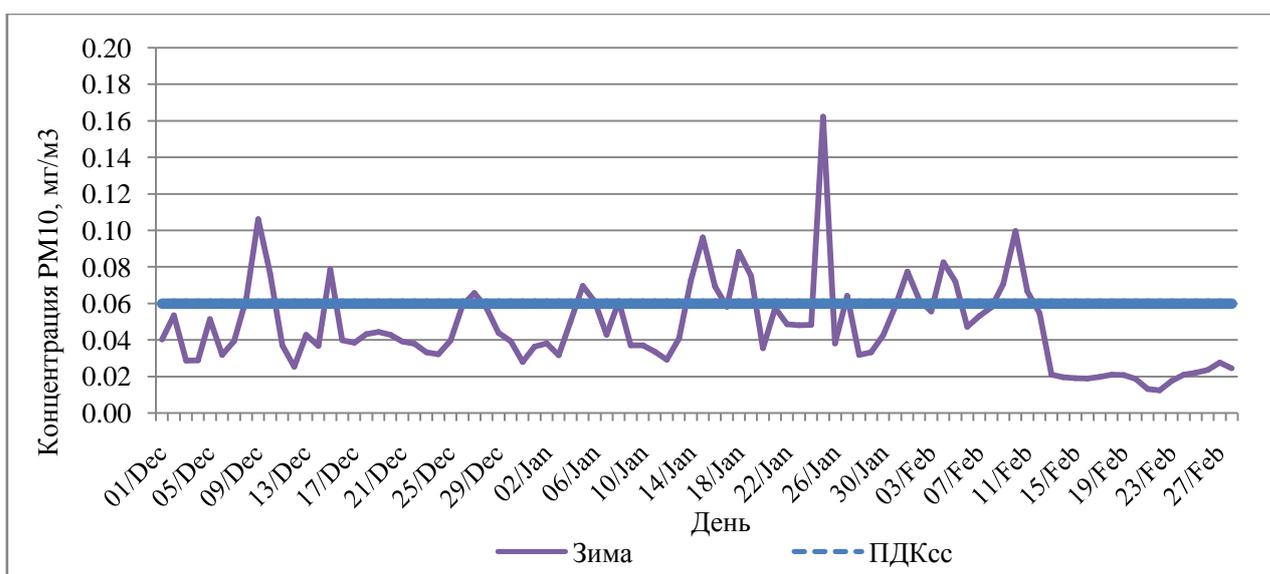


Рис. 10. Распределение концентрации PM_{10} зимой

В зимние месяцы (декабрь, январь и февраль) уровень ПДК был превышен в 10 случаях (днях). Наибольшие значения концентрации PM_{10} были зафиксированы 25 января, минимальные – 22 февраля.

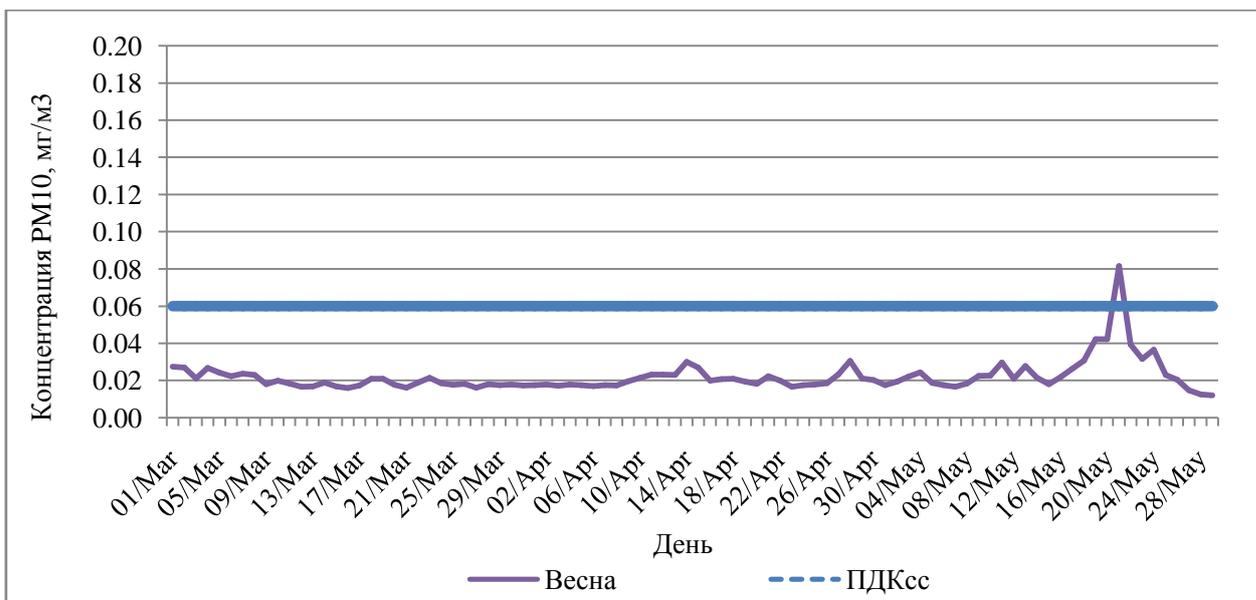


Рис. 11. Распределение концентрации PM_{10} весной

Весной (март, апрель, май) уровень ПДК был превышен в 1 случае (дне). Наибольшие показатели PM_{10} были зафиксированы 22 мая, минимальные – 28 февраля.

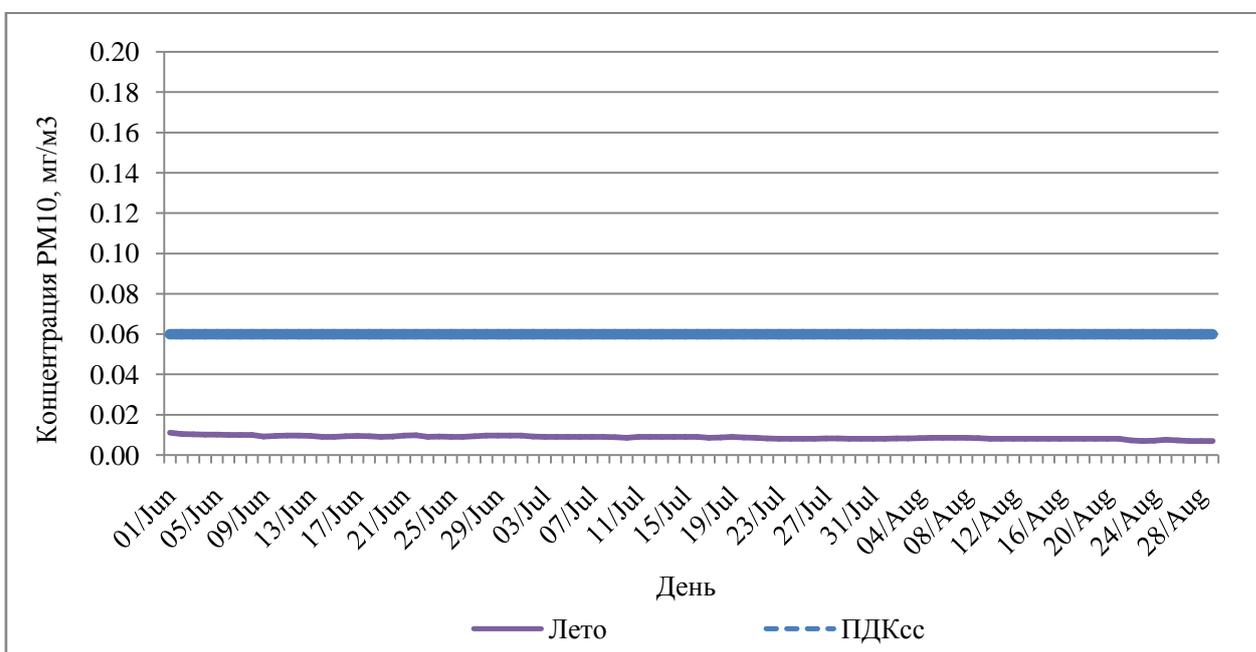


Рис. 12. Распределение концентрации PM_{10} летом

Летом (июнь, июль, август) уровень ПДК не был превышен. Наибольшие показатели PM_{10} были зафиксированы 3 июня, минимальные – 24 августа.

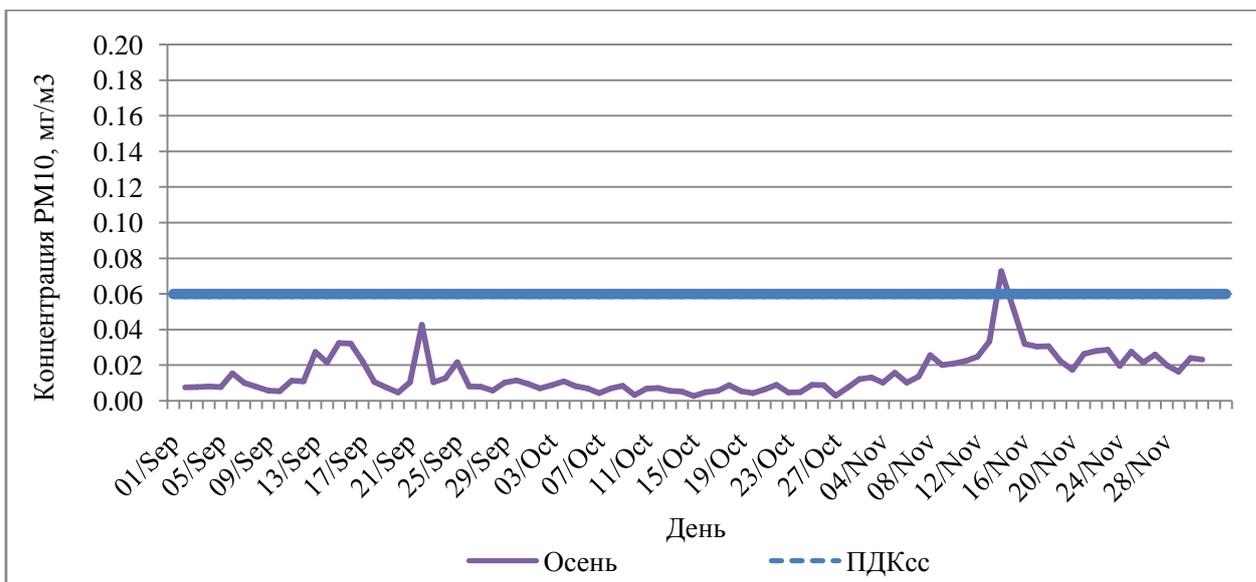


Рис. 13. Распределение концентрации PM_{10} осенью

В осеннем сезоне (сентябрь, октябрь, ноябрь) уровень ПДК был превышен в 1 случае (дне). Наибольшие показатели PM_{10} были зафиксированы 15 ноября, минимальные – 26 октября.

Для более наглядного представления распределения PM_{10} в течение всего года, рассмотрим рисунок 14. На данной диаграмме представлено распределения уровня концентрации PM_{10} в атмосферном воздухе в течение всего календарного года.

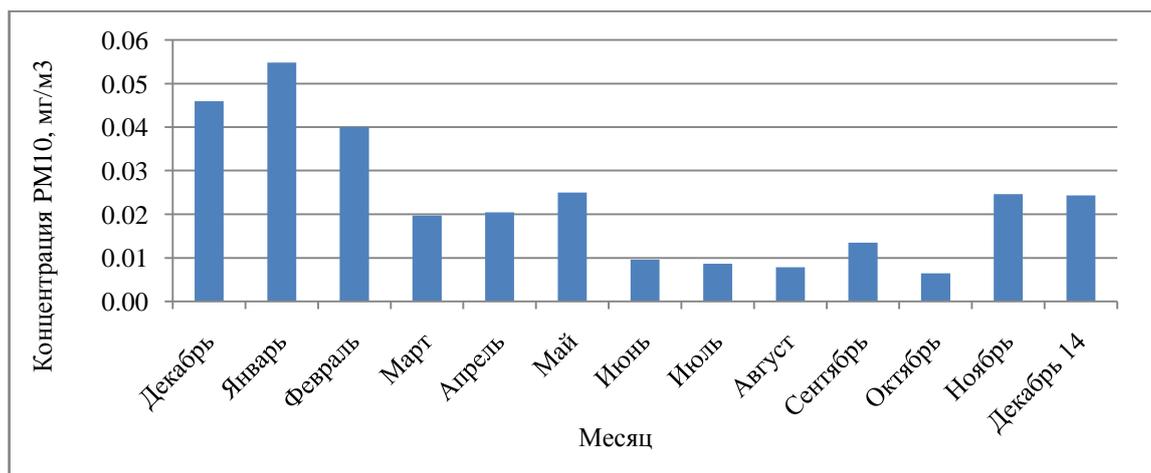


Рис. 14. Сезонное распределение PM_{10} по месяцам

Исходя из данной диаграммы, следует, что наибольшие концентрации вредной примеси приходятся на холодный период года (декабрь, январь,

февраль). А наименьшие значения приходятся на летние месяцы (июнь, июль и август), а так же на октябрь.

Для более детально сравнения холодного (декабрь, январь, февраль) и теплого (июнь, июль и август) периодов по концентрации загрязнений PM_{10} рассмотрим рисунок 15.

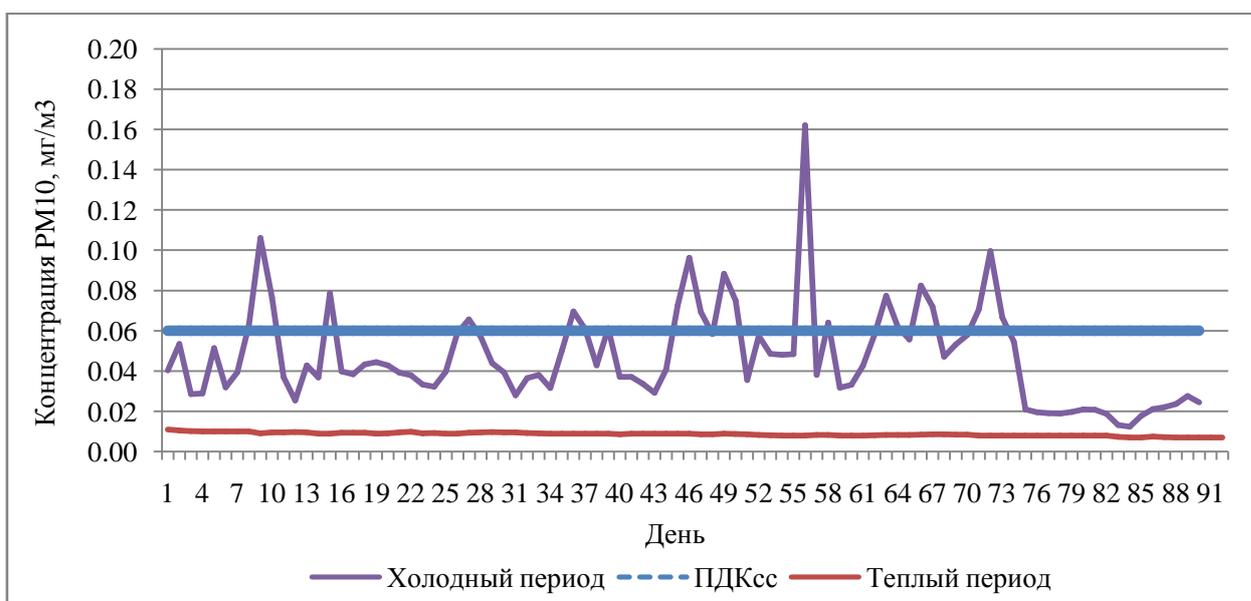


Рис. 15. Распределение концентрации PM_{10} в холодный и теплый периоды года.

На данном рисунке крайне заметна сильная разница между уровнем концентрации PM_{10} в холодный и теплый период. В более холодное время года уровень загрязненности атмосферного воздуха в разы выше, чем в теплое. Связано это с тем, что в холодное время года, количество выбросов от предприятий и автомобильного транспорта выше из-за более масштабной промышленной деятельности, связанной с обогревом города в холодное время.

На рисунке 16 изображен ход изменения среднесуточной температуры воздуха за холодные и теплые периоды года.

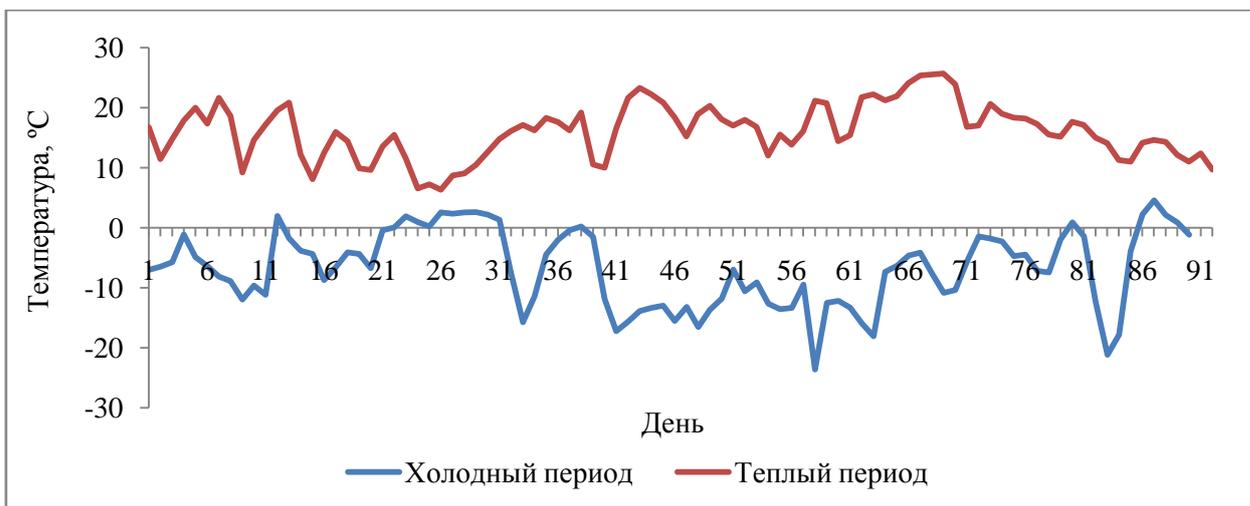


Рис. 16. Изменение температуры за холодный и теплый периоды

Выводом из данных графиком является то, что наблюдается зависимость изменения уровня концентрации аэрозоли PM_{10} от температуры. При более низких температурах концентрация ЗВ возрастает, что видно при сравнении хода графиков. С повышением температуры воздуха концентрация загрязняющего вещества уменьшается.

На рисунке 17 представлено графическое распределение скорости ветра за теплый и холодный периоды года.

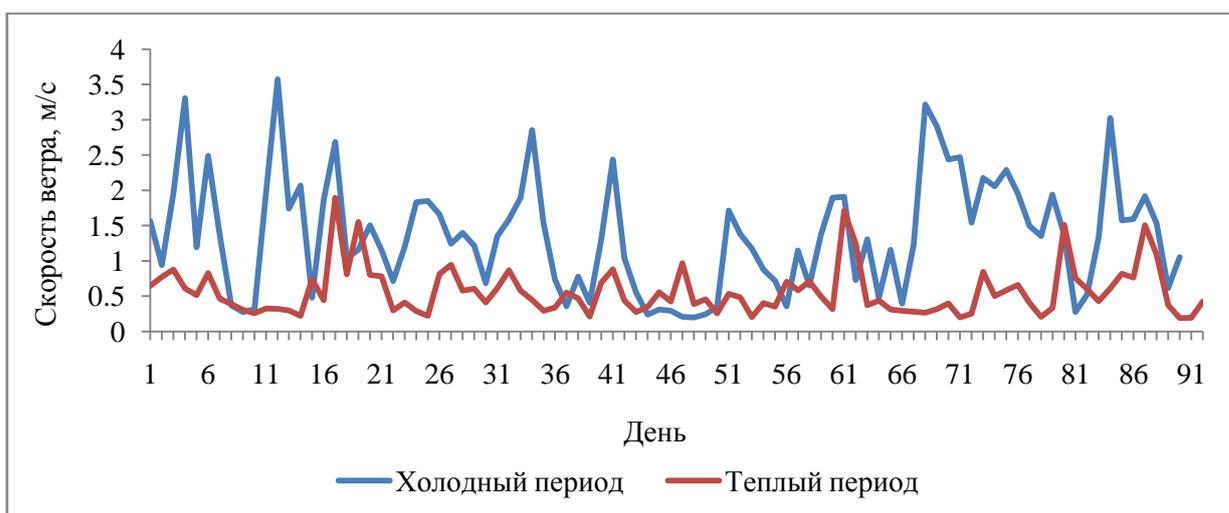


Рис. 17. Изменение скорости ветра за теплый и холодный периоды

Скорость ветра оказывает сильное влияние на концентрацию PM_{10} в атмосферном воздухе. С понижением скорости ветра, уровень концентрации

PM₁₀ уменьшает, т.к. при слабом ветре ослабевают турбулентные потоки в слое воздуха и происходит его застой. С усилением ветра связано более интенсивное перемешивание воздуха в приземной слое атмосферы, что приводит к выветриванию и перемещению загрязненного воздуха.

На рисунке 18 представлен ход влажности в холодный и теплые периоды года.

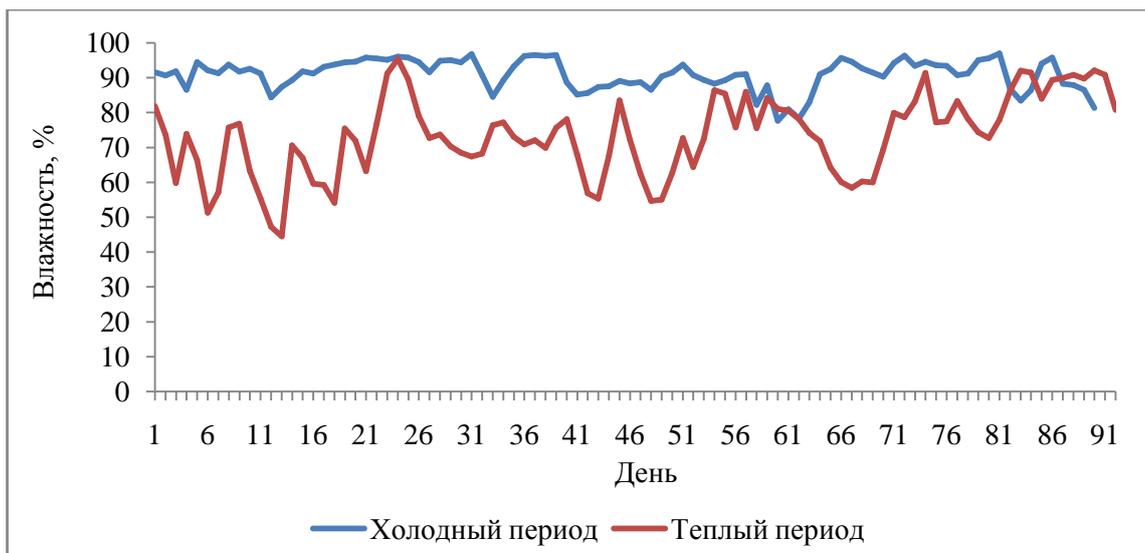


Рис. 18. Ход изменения влажности за холодный и теплый периоды

На рисунках 19 и 20 представлены годовой ход изменения суммарного количества атмосферных осадков и количество дней с осадками за каждый месяц с декабря 2013 г. до декабря 2014 г.

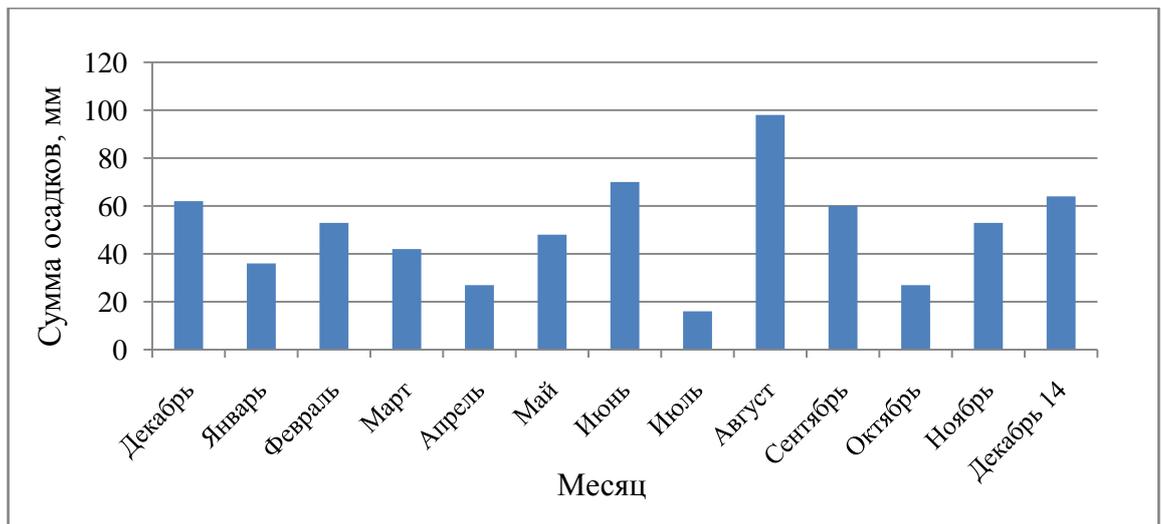


Рис. 19. Общее количество осадков по месяцам

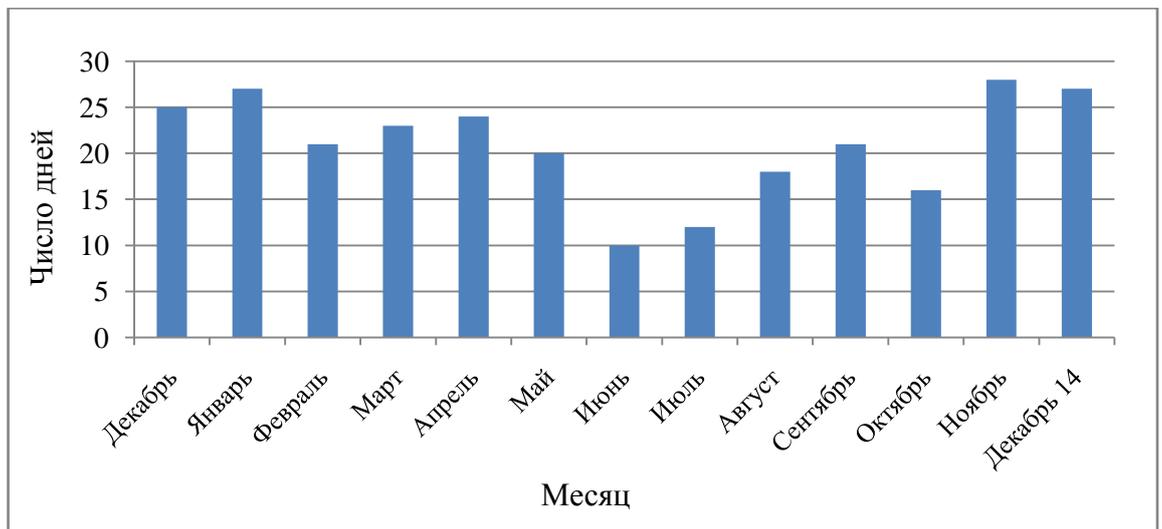


Рис. 20. Число дней с осадками по месяцам

Капли дождя или хлопья снега захватывают частицы пыли и несут их к поверхности земли. Процесс самоочищения происходит и в облаках, где облачные капли захватывают пылинки, частицы сажи и дыма, а также при прохождении дождевых капель и снежинок через слой атмосферы. Повышение концентрации примесей редко наблюдается после дождя. Чем больше количество выпавших осадков, тем чище атмосфера [14].

Наименьшее количество осадков выпадало в июле, а максимальное – в августе. Оба месяца приходятся на теплый период года. Наибольшее число дней с атмосферными осадками наблюдались в холодный период года (ноябрь и декабрь). Наименьшее количество дней с осадками было в июне и июле [25].

Так как, общая концентрация PM_{10} за теплый период была низкой, то наличие атмосферных осадков не оказало серьезного влияние на загрязненность атмосферного воздуха в теплый период.

Для более детального анализа влияния атмосферных осадков на уровень концентрации PM_{10} в холодный период года, рассмотрим рисунок 21.

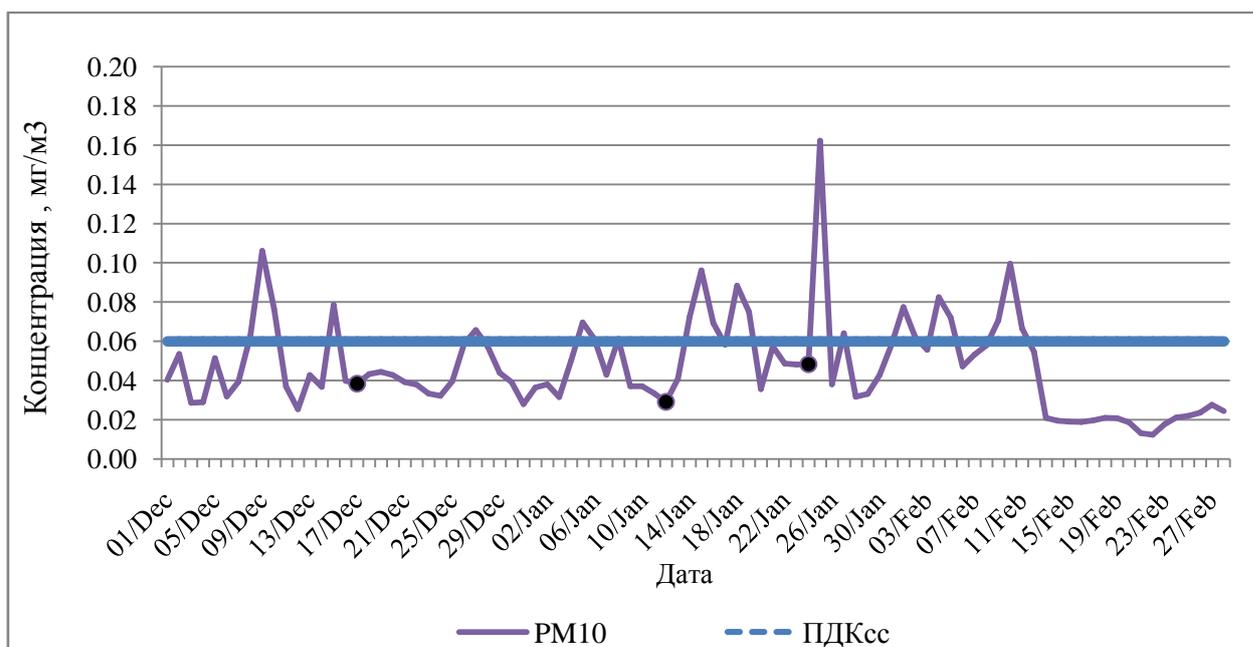


Рис 21. Распределение концентрации PM_{10} зимой

Для удобства, на представленном рисунке дни, в которые наблюдалось максимальное количество осадков, отмечены черным маркером [25]. Исходя из графика, следует, что при наибольших значениях атмосферных осадков, наблюдалась резкое падение концентрации PM_{10} , что полностью

соответствует вышеописанному процессу самоочищения атмосферы от примесей [14].

Заключение

Контроль уровень концентрации примеси PM_{10} в атмосферном воздухе является одним из важнейших критериев для обеспечения сохранности воздуха. Высокое содержание вредных примесей в воздухе способно нанести серьезный вред здоровью человека и окружающей природе в целом. По результатам обработки данных, которые были предоставлены “Центром природопользования и охраны окружающей среды” Архангельской области, была произведена оценка уровня концентрации PM_{10} в атмосферном воздухе на территории города Архангельск.

Было определено, что холодный период года оказался в разы грязнее, чем теплый период, что связано с количеством загрязняющих выбросов от предприятий и автомобильного транспорта выше в холодные время года. Это необходимо для отопления города в холодный сезон года. В зимнее время, концентрации PM_{10} многократно превышала допустимые нормы.

Общая экологическая обстановка в Архангельске и Архангельской области находится в плохом состоянии. В увеличении содержания вредных примесей участвуют как антропогенные, так и природные факторы. Скорость и направление ветра способствуют быстрому горизонтальному переносу загрязненных воздушных масс от мест крупного промышленно производства в черту города, что крайне негативно сказывается на чистоте воздуха.

Для значительного уменьшения уровня загрязнения атмосферного воздуха необходимо применять меры по регулированию строительства и местоположения промышленных объектов, а так же необходим жесткий контроль над их выбросами. Частично это можно решить благодаря более

корректным требованиям к застройщикам новых предприятий и применению очистные сооружения на уже функционирующих опасных промышленных объектов. Помимо этого, очень важен контроль над загрязнениями от автотранспорта. Переход на менее токсичное топливо может послужить небольшим шагом к улучшению общей экологии и чистоте данного района.

Список используемой литературы

1. Дроздов В.В. Общая экология. СПб.:РГГМУ. – 2011. – 412 с.
2. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды - Л.: Гидрометеиздат. - 1979. – 375 с.
3. Будыко М.И. Глобальная экология. М.: Мысль. - 1977. – 328 с.
4. Борис О.М. Химия окружающей среды /Под ред. Дж. О. М. Бориса, М.: Химия. - 1982. – 671 с.
5. Гусакова Н. В. Химия окружающей среды. Ростов-на-Дону: Феникс. - 2004. – 192 с.
6. Вронский В.А. Прикладная экология. Ростов-на-Дону: Феникс. -1996. – 512 с.
7. Григорьев Л.Н., Буренина Т.И. Химия окружающей среды (атмосфера, литосфера): Учебное пособие. Часть 1. СПб. - 2000. – 71 с.
8. Под ред. С.А. Брылова, К. Штропки. Охрана окружающей среды, М. - 1985. – 272 с.
9. Кулаков М.В., Технологические измерения и приборы для химических производств, М. - 1983. – 424 с.
10. Соколов В.А. Геохимия природных газов. – М.: Недра, -1971. - 336с.
11. Горбатенко, Ю. А., Аэрозоли и их основные физико-химические свойства. Екатеринбург. - 2014. -35 с.
12. Руководящий документ РД 52.04.830-2015 Массовая концентрация взвешенных частиц РМ10 и РМ2.5 в атмосферном воздухе. Методика измерений гравиметрическим методом. М. - 2015. – 30 с.
13. Еремкин А.И. Нормирование выбросов, загрязняющих веществ в атмосферу. М.: Ассоциации. -2000. – 176 с.
14. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. СПб.: НИИ Атмосфера. - 2002. – 82 с.

15. Ивлев Л.С., Довгалюк Ю.А. Физика атмосферных аэрозольных систем. СПб.: НИИХ СПбГУ. - 1999. – 194 с.
16. Межгосударственный стандарт ГОСТ 17.2.1.01-76 Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Классификация выбросов по составу (с изменением №1), М. - 2004. – 39 с.
17. Крюкова С.В. Контроль загрязнения природной среды: анализ данных загрязнения. Лабораторный практикум. — СПб.: РГГМУ, - 2015. – 45 с.
18. Новиков Г.В., Дударев А.Л. Санитарная охрана окружающей среды современного города. Л.: Медицина. - 1978. – 216 с.
19. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. М. - 2003. – 41 с.
20. Клименко А. П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли. М.: Химия, - 1978. – 208 с.
21. Павленко В.А. Газоанализаторы, М. -1965. – 296 с.
22. Дудкин Н. И., Козлов Д. Н. Проблемы контроля массовой концентрации аэрозолей. М.: Экология производства, - 2005. – 32 с.
23. Информационный портал о климатической сводке Архангельской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nesiditsa.ru/city/arkhangelsk> (дата обращения: 20.05.2018).
24. Расписание погоды [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rp5.ru> (дата обращения: 20.05.2018).

Приложение

Приложение А

Осредненные среднесуточные концентрации загрязняющих веществ за зимний период 2013-14 гг.

Дата	NO ₂	NO	CO	PM ₁₀	RH	Wd	Ws	T
01.дек	0,027	0,042	0,265	0,040	91,54	138,83	1,57	-7,03
02.дек	0,032	0,069	0,462	0,054	90,67	192,34	0,94	-6,49
03.дек	0,019	0,015	0,064	0,029	91,81	203,39	1,96	-5,73
04.дек	0,025	0,039	0,173	0,029	86,51	85,31	3,31	-1,14
05.дек	0,030	0,069	0,496	0,051	94,54	185,36	1,20	-4,90
06.дек	0,019	0,012	0,140	0,032	92,16	311,86	2,49	-6,38
07.дек	0,025	0,017	0,341	0,039	91,26	301,55	1,37	-8,17
08.дек	0,035	0,026	0,477	0,063	93,81	272,84	0,37	-8,89
09.дек	0,036	0,075	0,782	0,106	91,80	266,61	0,27	-12,00
10.дек	0,026	0,222	1,878	0,076	92,55	120,66	0,32	-9,66
11.дек	0,020	0,013	0,222	0,037	91,17	291,89	1,97	-11,17
12.дек	0,027	0,033	0,347	0,025	84,30	87,79	3,57	1,99
13.дек	0,031	0,035	0,481	0,043	87,36	110,20	1,74	-1,75
14.дек	0,015	0,003	0,052	0,037	89,27	124,63	2,07	-3,83
15.дек	0,039	0,042	0,608	0,079	91,87	183,27	0,48	-4,37
16.дек	0,023	0,011	0,267	0,040	91,23	288,36	1,86	-8,72
17.дек	0,016	0,013	0,346	0,038	93,16	277,91	2,69	-6,63
18.дек	0,026	0,023	0,311	0,043	93,76	196,36	1,04	-4,10
19.дек	0,047	0,077	0,743	0,044	94,39	142,64	1,16	-4,39
20.дек	0,031	0,021	0,298	0,043	94,63	244,71	1,51	-6,77
21.дек	0,029	0,046	0,540	0,039	95,74	194,78	1,15	-0,43
22.дек	0,030	0,031	0,455	0,038	95,53	191,67	0,71	0,07
23.дек	0,026	0,034	0,533	0,033	95,15	234,36	1,20	1,94
24.дек	0,026	0,054	0,624	0,032	96,09	125,75	1,83	0,95
25.дек	0,021	0,015	0,376	0,040	95,77	268,72	1,85	0,19
26.дек	0,023	0,034	0,538	0,059	94,54	182,55	1,66	2,56
27.дек	0,029	0,046	0,675	0,066	91,59	171,56	1,24	2,32
28.дек	0,022	0,049	0,722	0,057	94,88	156,85	1,40	2,56
29.дек	0,019	0,032	0,544	0,044	95,02	192,67	1,22	2,62
30.дек	0,025	0,085	0,884	0,039	94,38	53,02	0,68	2,17
31.дек	0,024	0,053	0,500	0,028	96,82	100,79	1,35	1,34
01.январь	0,007	0,007	0,126	0,036	90,71	264,17	1,59	-7,54
02.январь	0,018	0,006	0,259	0,038	84,49	262,13	1,89	-15,74
03.январь	0,012	0,007	0,118	0,032	89,28	273,45	2,85	-11,44
04.январь	0,021	0,010	0,262	0,050	93,20	297,76	1,55	-4,47
05.январь	0,019	0,027	0,456	0,070	96,29	309,52	0,74	-2,04
06.январь	0,013	0,084	0,765	0,061	96,51	37,14	0,36	-0,41

Дата	NO ₂	NO	CO	PM ₁₀	RH	Wd	Ws	T
07.январь	0,017	0,047	0,495	0,043	96,22	148,57	0,78	0,19
08.январь	0,026	0,038	0,604	0,061	96,48	284,70	0,41	-1,49
09.январь	0,012	0,012	0,200	0,037	88,68	253,77	1,31	-11,88
10.январь	0,009	0,007	0,277	0,037	85,14	258,50	2,44	-17,26
11.январь	0,010	0,014	0,166	0,034	85,64	221,69	1,04	-15,64
12.январь	0,019	0,024	0,219	0,029	87,39	194,65	0,56	-13,88
13.январь	0,025	0,026	0,422	0,041	87,55	217,08	0,24	-13,35
14.январь	0,034	0,051	0,747	0,073	89,06	150,43	0,31	-12,98
15.январь	0,042	0,037	0,849	0,096	88,40	139,51	0,29	-15,55
16.январь	0,033	0,054	0,669	0,069	88,72	154,59	0,21	-13,21
17.январь	0,035	0,032	0,659	0,058	86,56	160,94	0,20	-16,58
18.январь	0,048	0,076	1,063	0,088	90,41	133,01	0,25	-13,67
19.январь	0,050	0,091	1,062	0,075	91,47	86,73	0,35	-11,82
20.январь	0,027	0,033	0,498	0,036	93,81	93,53	1,71	-6,99
21.январь	0,038	0,084	0,994	0,058	90,73	80,17	1,38	-10,61
22.январь	0,038	0,073	0,855	0,049	89,35	77,22	1,18	-9,12
23.январь	0,034	0,022	0,571	0,048	88,32	201,54	0,88	-12,67
24.январь	0,039	0,055	0,902	0,048	89,26	186,72	0,72	-13,56
25.январь	0,044	0,093	1,570	0,162	90,82	55,08	0,36	-13,37
26.январь	0,027	0,028	0,438	0,038	91,01	122,91	1,15	-9,49
27.январь	0,035	0,031	0,714	0,064	82,26	205,61	0,65	-23,63
28.январь	0,031	0,031	0,465	0,032	87,78	99,25	1,38	-12,51
29.январь	0,035	0,044	0,458	0,033	77,70	69,17	1,90	-12,19
30.январь	0,036	0,066	0,689	0,043	81,00	73,52	1,91	-13,29
31.январь	0,039	0,085	0,884	0,058	78,30	79,25	0,73	-15,94
01.февраль	0,036	0,030	0,840	0,077	82,99	285,49	1,31	-18,12
02.февраль	0,045	0,049	0,958	0,062	91,01	113,00	0,48	-7,36
03.февраль	0,035	0,016	0,728	0,056	92,52	300,90	1,16	-6,36
04.февраль	0,036	0,079	1,246	0,083	95,67	47,00	0,39	-4,62
05.февраль	0,028	0,035	0,733	0,072	94,55	303,23	1,23	-4,17
06.февраль	0,022	0,026	0,274	0,047	92,65	304,61	3,22	-7,65
07.февраль	0,027	0,020	0,295	0,053	91,47	300,82	2,91	-10,84
08.февраль	0,027	0,020	0,511	0,058	90,30	297,66	2,44	-10,39
09.февраль	0,022	0,026	0,427	0,071	94,25	308,45	2,47	-5,54
10.февраль	0,007	0,090	0,787	0,100	96,37	313,93	1,54	-1,46
11.февраль	0,018	0,051	0,414	0,067	93,43	301,77	2,18	-1,83
12.февраль	0,027	0,044	0,517	0,055	94,60	308,80	2,06	-2,28
13.февраль	0,028	0,036	0,744	0,021	93,57	309,09	2,29	-4,75
14.февраль	0,025	0,057	0,967	0,020	93,42	307,53	1,96	-4,48
15.февраль	0,019	0,057	0,949	0,019	90,74	297,02	1,50	-7,19
16.февраль	0,019	0,062	0,853	0,019	91,18	300,81	1,36	-7,44
17.февраль	0,016	0,061	0,787	0,020	95,09	306,55	1,94	-1,99
18.февраль	0,016	0,077	0,837	0,021	95,64	295,01	1,38	0,90
19.февраль	0,004	0,148	0,997	0,021	97,01	149,36	0,28	-1,44
20.февраль	0,028	0,034	0,593	0,019	86,77	238,44	0,53	-12,31

Дата	NO ₂	NO	CO	PM ₁₀	RH	Wd	Ws	T
21.фев	0,036	0,022	0,763	0,013	83,41	262,77	1,34	-21,18
22.фев	0,029	0,016	0,339	0,012	86,47	278,90	3,02	-17,83
23.фев	0,022	0,043	0,568	0,018	94,02	310,03	1,57	-3,91
24.фев	0,019	0,077	0,576	0,021	95,74	212,41	1,59	2,21
25.фев	0,006	0,137	0,701	0,022	88,30	80,51	1,92	4,57
26.фев	0,029	0,106	0,866	0,024	87,95	76,27	1,53	2,12
27.фев	0,047	0,036	0,816	0,028	86,52	212,69	0,62	0,84
28.фев	0,039	0,027	0,652	0,024	81,30	255,33	1,05	-1,15

Приложение Б

Осредненные среднесуточные концентрации загрязняющих веществ за весенний период 2014 г.

Дата	NO ₂	NO	CO	PM ₁₀	RH	Wd	Ws	T
01.мар	0,043	0,041	0,776	0,027	82,53	170,21	0,68	-0,49
02.мар	0,042	0,008	0,656	0,027	69,42	278,33	1,30	-0,37
03.мар	0,036	0,005	0,523	0,021	79,25	272,35	1,88	-5,65
04.мар	0,038	0,011	0,729	0,027	91,71	287,52	1,19	-1,84
05.мар	0,035	0,043	0,836	0,024	93,66	124,35	1,32	0,06
06.мар	0,044	0,059	0,886	0,022	89,19	117,24	0,84	-0,68
07.мар	0,039	0,053	0,880	0,024	87,72	92,90	1,05	1,17
08.мар	0,025	0,019	0,507	0,023	89,42	157,12	1,37	2,64
09.мар	0,021	0,022	0,340	0,018	80,25	84,59	2,73	2,92
10.мар	0,031	0,038	0,571	0,020	82,16	82,44	1,79	4,16
11.мар	0,030	0,039	0,609	0,018	85,07	96,29	1,92	2,02
12.мар	0,026	0,026	0,645	0,017	91,62	135,11	1,84	-0,17
13.мар	0,031	0,024	0,562	0,017	89,59	99,87	2,00	0,57
14.мар	0,039	0,040	0,836	0,019	95,95	182,41	1,57	-0,05
15.мар	0,022	0,015	0,421	0,017	87,21	152,90	1,36	-2,05
16.мар	0,016	0,013	0,509	0,016	84,84	171,14	0,93	-5,68
17.мар	0,017	0,005	0,198	0,017	72,80	126,73	1,29	-5,77
18.мар	0,048	0,066	1,155	0,021	85,18	106,50	0,45	-6,74
19.мар	0,046	0,048	0,919	0,021	87,48	122,73	0,70	-7,83
20.мар	0,050	0,089	1,183	0,018	77,01	105,10	1,06	-7,34
21.мар	0,023	0,008	0,433	0,016	84,47	224,31	2,61	-5,65
22.мар	0,026	0,020	0,460	0,019	84,37	122,22	3,44	-2,35
23.мар	0,040	0,033	0,668	0,021	73,05	143,50	1,25	3,02
24.мар	0,033	0,037	0,743	0,018	86,97	133,89	2,20	2,77
25.мар	0,029	0,033	0,581	0,018	85,63	91,99	1,54	1,17
26.мар	0,033	0,032	0,641	0,018	81,98	97,42	2,10	-0,79
27.мар	0,019	0,015	0,365	0,016	80,47	98,98	3,47	0,22
28.мар	0,023	0,015	0,444	0,018	67,86	136,44	1,27	-3,50
29.мар	0,033	0,027	0,680	0,017	78,53	149,12	1,23	-4,41

Дата	NO ₂	NO	CO	PM ₁₀	RH	Wd	Ws	T
30.мар	0,016	0,011	0,321	0,018	87,18	124,02	1,84	-2,91
31.мар	0,024	0,025	0,513	0,017	88,72	103,39	1,53	-4,75
01.апр	0,035	0,053	0,747	0,017	88,35	96,83	1,51	-4,49
02.апр	0,037	0,046	0,626	0,018	78,49	91,51	1,15	-3,36
03.апр	0,023	0,029	0,476	0,017	87,89	105,61	2,55	-1,70
04.апр	0,022	0,027	0,502	0,018	81,89	107,48	2,13	-3,84
05.апр	0,033	0,035	0,561	0,017	76,78	78,65	1,78	-2,36
06.апр	0,012	0,013	0,251	0,017	79,64	102,25	3,37	-1,77
07.апр	0,020	0,034	0,520	0,017	81,98	100,25	2,31	-3,37
08.апр	0,015	0,012	0,286	0,017	79,84	112,71	2,42	-2,38
09.апр	0,029	0,020	0,427	0,020	72,41	171,12	0,87	-2,62
10.апр	0,042	0,070	1,027	0,021	60,28	160,09	0,57	-3,60
11.апр	0,039	0,038	0,678	0,023	54,36	80,42	1,42	1,86
12.апр	0,040	0,039	0,815	0,023	80,33	91,19	1,27	3,78
13.апр	0,023	0,014	0,424	0,023	76,31	216,66	1,49	5,68
14.апр	0,030	0,011	0,515	0,030	87,16	280,60	1,18	5,99
15.апр	0,039	0,051	1,183	0,027	95,31	222,86	0,70	3,76
16.апр	0,033	0,027	0,614	0,020	92,18	115,88	0,89	2,83
17.апр	0,035	0,038	0,701	0,021	67,73	131,84	0,98	4,77
18.апр	0,038	0,035	0,757	0,021	65,20	151,43	1,58	7,25
19.апр	0,031	0,035	0,674	0,019	76,20	79,12	2,01	7,40
20.апр	0,016	0,012	0,342	0,018	68,50	102,44	3,10	5,97
21.апр	0,051	0,021	0,624	0,022	63,95	185,50	1,34	4,21
22.апр	0,025	0,027	0,633	0,020	63,04	104,86	2,24	6,17
23.апр	0,013	0,012	0,341	0,017	73,10	112,77	3,29	1,01
24.апр	0,028	0,034	0,643	0,018	83,88	117,67	2,31	0,28
25.апр	0,018	0,010	0,309	0,018	78,20	133,33	1,53	-0,15
26.апр	0,026	0,024	0,548	0,018	82,58	105,21	1,24	-0,53
27.апр	0,042	0,026	0,851	0,023	85,46	143,27	0,42	1,57
28.апр	0,040	0,021	0,768	0,031	84,33	285,29	0,88	3,59
29.апр	0,029	0,026	0,649	0,021	82,00	117,62	1,60	2,92
30.апр	0,029	0,034	0,785	0,020	85,11	148,43	1,64	3,07
01.май	0,017	0,012	0,326	0,017	75,41	116,56	1,17	0,17
02.май	0,023	0,014	0,465	0,019	71,64	141,15	0,66	0,53
03.май	0,023	0,015	0,441	0,022	69,78	203,24	0,73	1,54
04.май	0,025	0,015	0,438	0,024	84,33	290,16	1,00	2,08
05.май	0,024	0,018	0,563	0,019	88,94	216,63	0,46	2,33
06.май	0,023	0,014	0,438	0,017	86,99	155,52	0,89	0,32
07.май	0,012	0,005	0,209	0,017	91,90	123,83	2,37	-1,32
08.май	0,025	0,025	0,550	0,018	69,07	104,91	1,83	0,84
09.май	0,026	0,010	0,558	0,022	77,65	211,43	1,27	1,55
10.май	0,027	0,014	0,573	0,023	95,12	292,35	1,61	3,02
11.май	0,027	0,017	0,659	0,030	90,75	284,28	1,25	9,83
12.май	0,022	0,022	0,621	0,021	91,25	135,45	1,92	7,34
13.май	0,022	0,010	0,639	0,028	82,98	269,88	1,43	12,49

Дата	NO ₂	NO	CO	PM ₁₀	RH	Wd	Ws	T
14.май	0,019	0,015	0,507	0,021	78,10	196,08	2,67	12,05
15.май	0,021	0,017	0,432	0,018	68,33	108,74	2,10	3,85
16.май	0,028	0,019	0,678	0,022	62,59	135,70	0,78	6,73
17.май	0,037	0,029	0,691	0,026	65,25	176,33	0,85	10,96
18.май	0,033	0,018	0,579	0,031	53,69	90,38	1,30	16,24
19.май	0,052	0,015	0,743	0,042	52,52	191,80	0,91	17,71
20.май	0,040	0,037	1,228	0,042	53,78	182,70	1,34	23,00
21.май	0,037	0,034	2,382	0,082	68,63	99,53	0,95	18,77
22.май	0,025	0,015	0,903	0,039	90,36	249,10	0,92	13,27
23.май	0,033	0,016	0,721	0,032	85,23	188,83	0,99	13,64
24.май	0,030	0,014	0,732	0,036	72,36	190,48	1,39	16,14
25.май	0,013	0,005	0,327	0,023	75,02	150,75	0,44	10,37
26.май	0,007	0,009	0,505	0,020	60,72	269,78	0,30	5,16
27.май	0,005	0,011	0,458	0,015	60,23	224,40	0,30	7,38
28.май	0,008	0,006	0,404	0,012	62,05	161,21	0,41	9,89
29.май	0,005	0,005	0,408	0,012	57,31	268,13	0,53	13,54
30.май	0,010	0,003	0,480	0,012	46,14	269,12	1,09	17,66
31.май	0,014	0,003	0,558	0,011	72,03	255,04	0,91	18,30

Приложение В

Осредненные среднесуточные концентрации загрязняющих веществ за летний период 2014 г.

Дата	NO ₂	NO	CO	PM ₁₀	RH	Wd	Ws	T
01.июн	0,021	0,010	0,524	0,011	81,88	80,82	0,65	16,77
02.июн	0,009	0,007	0,312	0,010	73,66	95,82	0,77	11,44
03.июн	0,012	0,004	0,630	0,010	59,80	276,23	0,88	14,80
04.июн	0,014	0,004	0,658	0,010	73,92	273,48	0,61	17,84
05.июн	0,011	0,008	0,561	0,010	66,41	195,78	0,52	19,98
06.июн	0,014	0,004	0,531	0,010	51,30	275,55	0,83	17,35
07.июн	0,017	0,005	0,639	0,010	57,20	168,15	0,46	21,67
08.июн	0,021	0,003	0,492	0,010	75,76	167,33	0,39	18,60
09.июн	0,006	0,006	0,367	0,009	76,82	247,31	0,31	9,18
10.июн	0,009	0,007	0,462	0,010	63,26	250,21	0,26	14,60
11.июн	0,009	0,003	0,385	0,010	55,43	198,12	0,33	17,19
12.июн	0,021	0,006	0,493	0,010	47,24	201,41	0,32	19,59
13.июн	0,039	0,005	0,470	0,010	44,52	228,22	0,30	20,83
14.июн	0,019	0,005	0,266	0,009	70,62	188,74	0,22	12,16
15.июн	0,012	0,002	0,102	0,009	67,05	195,53	0,74	8,07
16.июн	0,024	0,015	0,352	0,009	59,67	187,77	0,44	12,49
17.июн	0,019	0,005	0,314	0,009	59,29	270,44	1,90	15,93
18.июн	0,020	0,016	0,354	0,009	54,18	237,25	0,81	14,38
19.июн	0,014	0,011	0,288	0,009	75,44	147,71	1,55	9,85

Дата	NO ₂	NO	CO	PM ₁₀	RH	Wd	Ws	T
20.июн	0,020	0,028	0,476	0,009	72,03	120,65	0,80	9,61
21.июн	0,018	0,008	0,356	0,010	63,23	266,05	0,78	13,56
22.июн	0,020	0,010	0,446	0,010	76,77	262,74	0,30	15,48
23.июн	0,013	0,008	0,265	0,009	91,20	152,37	0,41	11,53
24.июн	0,019	0,014	0,316	0,009	95,42	198,76	0,29	6,49
25.июн	0,018	0,023	0,465	0,009	89,54	136,55	0,22	7,22
26.июн	0,003	0,003	0,135	0,009	79,00	124,40	0,81	6,30
27.июн	0,004	0,008	0,306	0,009	72,73	89,14	0,95	8,69
28.июн	0,005	0,007	0,286	0,010	73,69	85,15	0,58	9,00
29.июн	0,007	0,007	0,408	0,010	70,30	89,79	0,61	10,45
30.июн	0,010	0,009	0,466	0,010	68,49	116,37	0,41	12,63
01.июл	0,013	0,008	0,568	0,010	67,44	184,25	0,61	14,79
02.июл	0,010	0,008	0,630	0,009	68,23	268,32	0,87	16,09
03.июл	0,009	0,008	0,542	0,009	76,40	175,38	0,58	17,13
04.июл	0,014	0,013	0,800	0,009	77,20	124,67	0,45	16,23
05.июл	0,013	0,009	0,675	0,009	73,10	207,34	0,29	18,30
06.июл	0,005	0,003	0,303	0,009	70,93	117,47	0,34	17,59
07.июл	0,006	0,008	0,420	0,009	72,04	93,86	0,55	16,19
08.июл	0,009	0,011	0,553	0,009	69,84	80,98	0,47	19,22
09.июл	0,006	0,006	0,292	0,009	75,68	65,20	0,21	10,50
10.июл	0,004	0,007	0,272	0,009	78,10	87,53	0,69	9,98
11.июл	0,007	0,009	0,458	0,009	68,06	87,77	0,88	16,52
12.июл	0,010	0,007	0,504	0,009	56,90	85,32	0,44	21,64
13.июл	0,014	0,017	0,785	0,009	55,35	88,25	0,27	23,32
14.июл	0,016	0,010	0,836	0,009	67,61	87,11	0,35	22,25
15.июл	0,014	0,008	0,809	0,009	83,49	179,99	0,56	20,84
16.июл	0,008	0,006	0,493	0,009	72,36	179,62	0,43	18,32
17.июл	0,007	0,004	0,422	0,009	62,50	273,18	0,97	15,19
18.июл	0,011	0,008	0,511	0,009	54,65	275,44	0,39	18,91
19.июл	0,009	0,006	0,510	0,009	55,08	202,02	0,46	20,30
20.июл	0,008	0,003	0,332	0,009	62,70	82,49	0,26	18,07
21.июл	0,007	0,007	0,452	0,009	72,71	81,38	0,54	17,01
22.июл	0,009	0,008	0,479	0,008	64,41	84,74	0,49	17,97
23.июл	0,006	0,004	0,304	0,008	72,48	79,47	0,21	16,80
24.июл	0,006	0,009	0,505	0,008	86,46	79,80	0,40	12,01
25.июл	0,005	0,005	0,406	0,008	85,45	104,59	0,35	15,50
26.июл	0,005	0,004	0,285	0,008	75,73	90,71	0,70	13,79
27.июл	0,008	0,008	0,564	0,008	86,02	191,84	0,58	16,04
28.июл	0,009	0,007	0,572	0,008	75,60	253,96	0,71	21,17
29.июл	0,013	0,009	0,726	0,008	84,20	92,38	0,50	20,73
30.июл	0,006	0,008	0,415	0,008	81,05	124,68	0,32	14,42
31.июл	0,006	0,006	0,449	0,008	80,60	233,37	1,71	15,40
01.авг	0,012	0,007	0,718	0,008	78,14	211,67	1,24	21,77
02.авг	0,012	0,011	0,761	0,008	74,21	103,03	0,37	22,25
03.авг	0,007	0,007	0,458	0,008	71,81	95,93	0,44	21,22

Дата	NO ₂	NO	CO	PM ₁₀	RH	Wd	Ws	T
04.авг	0,013	0,015	0,784	0,008	64,23	93,02	0,31	21,91
05.авг	0,014	0,017	0,902	0,008	60,12	84,36	0,29	24,08
06.авг	0,013	0,020	0,909	0,009	58,42	81,88	0,28	25,37
07.авг	0,016	0,030	1,384	0,009	60,29	122,00	0,27	25,53
08.авг	0,017	0,021	1,173	0,008	60,03	131,38	0,31	25,70
09.авг	0,012	0,013	0,950	0,008	69,52	76,57	0,40	23,86
10.авг	0,005	0,004	0,403	0,008	79,98	190,99	0,20	16,81
11.авг	0,009	0,007	0,580	0,008	78,71	301,74	0,25	17,02
12.авг	0,009	0,003	0,673	0,008	83,15	286,13	0,84	20,61
13.авг	0,011	0,008	0,740	0,008	91,43	229,26	0,50	18,98
14.авг	0,011	0,011	0,642	0,008	77,22	77,80	0,58	18,32
15.авг	0,013	0,004	0,602	0,008	77,46	235,23	0,66	18,16
16.авг	0,012	0,009	0,660	0,008	83,34	134,02	0,41	17,26
17.авг	0,010	0,013	0,589	0,008	78,18	87,34	0,21	15,52
18.авг	0,010	0,029	0,979	0,008	74,38	87,76	0,33	15,16
19.авг	0,007	0,002	0,399	0,008	72,72	230,63	1,51	17,64
20.авг	0,009	0,007	0,525	0,008	77,97	199,06	0,75	17,12
21.авг	0,011	0,010	0,713	0,008	86,31	176,95	0,60	14,98
22.авг	0,010	0,010	0,692	0,007	92,01	122,10	0,43	14,09
23.авг	0,006	0,003	0,336	0,007	91,52	122,29	0,61	11,25
24.авг	0,008	0,007	0,622	0,007	84,00	231,78	0,82	10,98
25.авг	0,010	0,005	0,581	0,008	89,38	266,26	0,76	14,14
26.авг	0,006	0,002	0,465	0,007	89,96	274,93	1,51	14,61
27.авг	0,009	0,004	0,608	0,007	90,85	269,22	1,09	14,28
28.авг	0,006	0,007	0,688	0,007	89,75	253,30	0,38	12,12
29.авг	0,007	0,009	0,539	0,007	92,11	231,08	0,19	10,98
30.авг	0,006	0,006	0,394	0,007	90,86	176,06	0,19	12,39
31.авг	0,006	0,004	0,257	0,007	80,77	111,58	0,42	9,66

Приложение Г

Осредненные среднесуточные концентрации загрязняющих веществ за осенний период 2014 г.

Дата	NO ₂	NO	CO	PM ₁₀	RH	Wd	Ws	T
01.сен	0,010	0,015	0,657	0,007	81,52	74,59	0,47	10,77
02.сен	0,011	0,019	0,758	0,008	79,77	72,68	0,51	11,81
03.сен	0,010	0,022	0,877	0,008	83,33	78,41	0,27	12,83
04.сен	0,008	0,018	0,794	0,008	87,51	77,03	0,50	13,32
05.сен	0,008	0,013	0,707	0,015	89,26	85,27	0,80	13,22
06.сен	0,006	0,009	0,588	0,010	85,17	95,00	0,55	11,36
07.сен	0,008	0,011	0,691	0,008	86,25	90,25	0,37	11,05
08.сен	0,007	0,022	0,995	0,006	88,72	80,75	0,38	12,56

Дата	NO ₂	NO	CO	PM ₁₀	RH	Wd	Ws	T
09.сен	0,009	0,013	1,032	0,005	91,46	218,70	0,36	14,13
10.сен	0,011	0,018	1,029	0,011	81,48	200,52	0,35	15,69
11.сен	0,014	0,016	1,091	0,011	77,33	71,59	0,63	18,63
12.сен	0,010	0,013	0,902	0,027	92,35	75,58	0,44	13,79
13.сен	0,010	0,005	0,508	0,021	83,35	29,81	0,18	8,49
14.сен	0,006	0,007	0,559	0,032	79,96	78,85	0,63	9,69
15.сен	0,006	0,010	0,506	0,032	75,37	102,21	1,10	9,70
16.сен	0,007	0,003	0,424	0,022	74,35	129,03	0,30	7,39
17.сен	0,012	0,017	0,883	0,010	82,85	139,42	0,27	8,98
18.сен	0,007	0,021	0,930	0,008	90,02	160,24	0,31	10,49
19.сен	0,009	0,016	0,942	0,005	89,87	88,45	0,26	10,50
20.сен	0,010	0,009	0,736	0,010	94,66	137,17	0,33	9,41
21.сен	0,009	0,008	0,693	0,043	89,70	68,72	0,55	12,46
22.сен	0,011	0,014	0,882	0,010	95,03	64,04	0,24	8,83
23.сен	0,006	0,007	0,628	0,013	96,48	193,64	0,52	3,47
24.сен	0,009	0,003	0,640	0,022	84,99	270,82	1,33	9,63
25.сен	0,005	0,004	0,489	0,008	83,07	271,94	1,35	6,29
26.сен	0,009	0,006	0,609	0,008	81,05	242,49	0,93	9,26
27.сен	0,005	0,004	0,554	0,006	85,44	237,07	1,71	8,24
28.сен	0,005	0,009	0,558	0,010	88,45	146,84	0,86	8,82
29.сен	0,008	0,016	0,831	0,011	93,63	150,25	0,56	7,60
30.сен	0,007	0,006	0,501	0,010	88,89	117,01	0,29	5,97
01.окт	0,004	0,003	0,343	0,007	81,94	132,38	0,53	5,39
02.окт	0,011	0,007	0,652	0,009	79,16	197,98	0,29	4,86
03.окт	0,011	0,010	0,748	0,011	86,03	283,49	0,49	2,37
04.окт	0,009	0,005	0,476	0,008	81,55	159,58	0,23	4,37
05.окт	0,009	0,008	0,563	0,007	86,50	159,09	0,22	2,94
06.окт	0,008	0,017	0,785	0,004	88,11	93,75	0,79	4,06
07.окт	0,007	0,017	0,814	0,007	96,44	82,08	1,32	5,36
08.окт	0,007	0,022	0,834	0,008	92,71	70,09	0,77	4,55
09.окт	0,010	0,012	0,715	0,003	91,75	254,67	0,25	3,33
10.окт	0,010	0,023	1,074	0,007	86,70	231,10	0,28	2,47
11.окт	0,009	0,006	0,775	0,007	84,58	237,12	0,48	-0,14
12.окт	0,007	0,015	0,913	0,006	90,78	245,38	0,19	-3,06
13.окт	0,008	0,032	1,085	0,005	85,32	191,00	0,44	-0,48
14.окт	0,009	0,030	1,110	0,003	91,34	66,92	0,46	0,84
15.окт	0,007	0,010	0,558	0,005	87,22	98,52	0,64	-0,34
16.окт	0,010	0,085	2,268	0,006	84,68	134,12	0,18	-2,05
17.окт	0,012	0,014	0,989	0,009	92,36	219,41	0,49	-4,92
18.окт	0,012	0,019	1,142	0,005	89,75	272,43	0,41	-5,56
19.окт	0,005	0,004	0,597	0,004	87,19	274,88	2,02	-5,26
20.окт	0,009	0,004	0,745	0,006	87,35	266,01	1,31	-8,05
21.окт	0,008	0,010	0,921	0,009	82,48	258,44	0,28	-10,37
22.окт	0,010	0,011	0,728	0,005	81,28	276,09	0,20	-9,94
23.окт	0,007	0,004	0,506	0,005	85,55	151,81	1,29	-2,41

Дата	NO ₂	NO	CO	PM ₁₀	RH	Wd	Ws	T
24.окт	0,012	0,063	1,852	0,009	77,76	143,54	0,36	-6,99
25.окт	0,010	0,006	0,801	0,009	83,05	284,00	1,73	-5,91
26.окт	0,007	0,003	0,849	0,003	93,46	307,16	1,89	-2,37
27.окт	0,006	0,008	0,764	0,007	94,63	224,88	1,21	2,49
01.ноя	0,011	0,020	1,584	0,012	96,59	294,22	1,03	2,56
02.ноя	0,020	0,035	1,809	0,013	90,54	331,16	1,85	5,08
03.ноя	0,013	0,019	1,567	0,010	91,57	189,80	2,09	4,49
04.ноя	0,014	0,026	1,638	0,016	93,95	266,16	1,39	3,35
05.ноя	0,007	0,009	1,337	0,010	88,67	52,87	2,38	3,64
06.ноя	0,021	0,036	1,785	0,014	92,34	171,47	0,85	1,44
07.ноя	0,020	0,027	1,720	0,026	94,11	290,48	0,69	-0,86
08.ноя	0,007	0,008	1,416	0,020	86,76	180,39	2,50	-4,23
09.ноя	0,011	0,011	1,455	0,021	86,28	179,63	2,74	-7,39
10.ноя	0,010	0,012	1,455	0,022	84,61	177,47	2,58	-7,37
11.ноя	0,009	0,012	1,484	0,025	85,83	174,14	1,71	-8,42
12.ноя	0,010	0,017	1,697	0,033	84,93	171,28	0,57	-12,47
13.ноя	0,024	0,075	2,546	0,073	87,07	184,97	0,26	-14,51
14.ноя	0,019	0,025	1,886	0,052	89,06	197,38	1,76	-13,07
15.ноя	0,011	0,015	1,653	0,032	92,25	216,90	2,10	-7,93
16.ноя	0,012	0,017	1,690	0,030	91,54	215,00	1,88	-5,75
17.ноя	0,010	0,017	1,751	0,031	92,58	219,63	1,92	-5,82
18.ноя	0,006	0,010	1,600	0,022	92,43	218,65	3,11	-2,75
19.ноя	0,015	0,014	1,749	0,017	91,28	248,34	2,11	-0,50
20.ноя	0,016	0,026	1,965	0,026	94,80	279,90	0,97	-0,58
21.ноя	0,013	0,011	1,909	0,028	92,52	227,89	2,20	-2,98
22.ноя	0,017	0,014	1,906	0,029	92,40	202,35	1,44	-4,94
23.ноя	0,019	0,042	2,062	0,020	94,37	292,52	1,26	-1,82
24.ноя	0,025	0,052	2,221	0,028	94,49	330,76	0,79	-2,42
25.ноя	0,022	0,031	1,986	0,021	92,26	311,85	1,07	-1,62
26.ноя	0,019	0,033	2,013	0,026	92,50	311,27	1,14	1,04
27.ноя	0,014	0,022	1,811	0,020	90,22	294,57	2,20	0,83
28.ноя	0,018	0,032	2,008	0,016	94,81	328,27	1,24	4,24
29.ноя	0,015	0,020	1,820	0,024	88,74	268,03	1,31	2,40
30.ноя	0,012	0,011	1,705	0,023	93,44	218,01	2,13	-0,88

Условные обозначения:

NO₂ – диоксид азота (мг/м³),

NO – оксид азота (мг/м³),

CO - оксид углерода (мг/м³),

PM₁₀ – взвешенные частицы (мг/м³),

RH – относительная влажность (%),

Wd – направление ветра (градусы),

Ws – скорость ветра (м/с),

T – температура.