



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра Прикладной и системной экологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: Оценка и контроль рисков для здоровья населения
Санкт-Петербурга от воздействия загрязняющих веществ в атмосферном
воздухе

Исполнитель Сазонова Карина Дмитриевна

Руководитель кандидат географических наук
Колесникова Евгения Владимировна

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

кандидат географических наук, доцент

Алексеев Денис Константинович

«15» 06 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Оглавление

Список сокращений	4
Введение.....	5
Глава 1. Идентификация опасности здоровью населения	8
1.1 Геоэкономическое положение исследуемого района	8
1.2 Оценка тенденций заболеваемости населения Санкт-Петербурга	10
1.3 Источники загрязнения атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге.....	14
1.4 Мониторинг качества атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге.....	16
1.5 Характеристика выбрасываемых веществ.....	18
1.6 Выводы по главе.....	Ошибка! Закладка не определена.
Глава 2. Оценка экспозиции.....	22
2.1 Анализ долгосрочной динамики и трендов концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Санкт-Петербурга	22
2.2 Оценка внутригодовой динамики концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе за период с 2013 по 2023 гг.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.3 Выводы по главе.....	Ошибка! Закладка не определена.
Глава 3. Оценка зависимости «доза-ответ» для химических канцерогенов	26
3.1 Канцерогенный риск здоровью населения Санкт-Петербурга	26
3.1.1 Расчет и анализ индивидуального канцерогенного риска.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.1.2 Расчет и анализ хронического канцерогенного риска	Ошибка! Закладка не определена.
3.1.3 Расчет и анализ популяционного канцерогенного риска	Ошибка! Закладка не определена.
3.2 Выводы по главе.....	Ошибка! Закладка не определена.
Глава 4. Оценка зависимости «доза-ответ» для неканцерогенных веществ.....	27
4.1 Оценка неканцерогенных рисков краткосрочного воздействия	Ошибка! Закладка не определена.
4.2 Оценка неканцерогенных рисков долгосрочного воздействия.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.2.1 Оценка неканцерогенного риска	Ошибка! Закладка не определена.
4.2.2 Оценка хронического риска.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.3 Выводы по главе.....	Ошибка! Закладка не определена.
Глава 5. Характеристика риска	28

Результаты и выводы	28
Список литературы	29
Приложение А	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение Б	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение В	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение Г	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение Д	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение Е	Ошибка! Закладка не определена.

Список сокращений

- АВ – Атмосферный воздух
- АСМ-АВ – Автоматические станции мониторинга атмосферного воздуха
- БОД – Болезни органов дыхания
- ВЗВ – Взвешенные вещества
- ВМ – Воздушная масса
- ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения
- ЗВ – Загрязняющие вещества
- ОС – Окружающая среда
- ПДК – Предельно-допустимая концентрация
- ПДЗ – Предельно-допустимое значение
- СЗ УГМС – Северо-Западное межрегиональное территориальное управление по гидрометеорологии и мониторингу ОС

Введение

Санкт-Петербург является одним из крупнейших городов в Российской Федерации, в котором сосредоточены различные промышленные отрасли (нефтеперерабатывающая, пищевая, химическая, машиностроение, металлургия), которые способствуют выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух и возникновению негативных последствий для здоровья жителей. Особую роль в загрязнении атмосферного воздуха города играют топливно-энергетический комплекс и автотранспорт.

Исследование, принятие мер и контроль за качеством атмосферного воздуха является одной из важнейших задач в рамках охраны окружающей среды, поскольку от этого напрямую зависит здоровье людей.

Актуальность проведенных исследований определяется количеством онкобольных и людей, имеющих болезни органов дыхания, что является острой социально-экономической проблемой в Российской Федерации. Согласно статистике Росстата доля населения, имеющая респираторные патологии, составляет более 50%, поэтому в данной работе были оценены канцерогенный и неканцерогенный риски для взрослого населения Санкт-Петербурга.

Таким образом цель проведенных исследований заключалась в проведении оценки провести оценку рисков для здоровья населения Санкт-Петербурга от воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе за период с 2013 по 2023 г.

Задачи:

1. Провести идентификацию опасности заболеваний жителей Санкт-Петербурга от воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.
2. Сформировать базу данных и провести статистический анализ данных о концентрации приоритетных загрязняющих веществах в атмосферном

воздухе города, выявить внутригодовые и многолетние закономерности динамики качества воздуха.

3. Рассчитать и оценить индивидуальные, хронические и популяционные канцерогенные риски для здоровья населения за 11-летний период.

4. Оценить краткосрочные и долгосрочные неканцерогенные риски для здоровья граждан.

Объектом исследования является качество атмосферного воздуха в городе Санкт Петербурге.

Предметом исследования является концентрации канцерогенных и неканцерогенных загрязняющих веществ.

Исходные данные собраны из архивов организации «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (СЗУГМС). Они представляют собой усредненные ежемесячные значения концентраций загрязняющих веществ за период с 2013 по 2023 гг., полученные с 9 стационарных постов. Мониторинг на стационарных постах проводится 3 раза в сутки.

Новизна данной работы заключается в том, что были использованы самые последние данные, по которым не проводилась оценка канцерогенного и неканцерогенного рисков – период с 2013 по 2023 гг.

Оценка риска была произведена в 4 этапа: идентификация опасности, оценка экспозиции, оценка зависимости «доза-ответ» и характеристика риска.

Для оценки риска использована методика Р 2.1.10.3968-23 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

Подобное исследование проводилось в работе В.И. Курчанова, Т.Е. Лима, И.А. Воецкого и С.А. Головина «Актуальность оценки многосредового канцерогенного риска для здоровья населения от воздействия химических веществ, загрязняющих окружающую среду», которые дали оценку канцерогенному риску для здоровья населения от воздействия 19 химических

веществ, загрязняющих атмосферу за период с 2005 по 2012 гг. Стоит отметить, что авторы не указали весь перечень исследуемых веществ, однако, выделили мышьяк и бензол, который вносили наибольший вклад в канцерогенный риск. Результаты, полученные в ходе их работы, показали, что, суммарный канцерогенный риск для здоровья взрослого населения составил $3,21 \times 10^{-3}$, что неприемлемо для населения и требуется проведение оздоровительных мероприятий [1].

С другой стороны, говоря о неканцерогенном риске, то можно обратить внимание на работу В.Н. Мовчан, П. С. Зубкова, И. К. Калинина, М.А. Кузнецова, Н. А. Шейнера «Оценка и прогноз экологической ситуации в Санкт-Петербурге по показателям загрязнения атмосферного воздуха и изменения здоровья населения». В своем исследовании авторы провели анализ качества атмосферного воздуха за многолетний период (1982 – 2015 гг.), рассчитали индекс опасности (ИО), проанализировали показатели по легочным заболеваниям и рассмотрели стационарные и передвижные источники загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Было выявлено, что в Санкт-Петербурге уровень неканцерогенного риска за исследуемый период превышал свое предельно-допустимое значение, наибольший вклад внесли диоксид серы, оксид углерода и диоксид азота [2].

Апробация результатов: результаты работы были представлены на Международной конференции Российского государственного гидрометеорологического университета «Экогидромет» (устный доклад), а также на Большом географическом фестивале Санкт-Петербургского государственного университета (заочное участие).

Глава 1. Идентификация опасности здоровью населения

На этапе идентификации опасности были учтены и проанализированы географические особенности региона, в котором проводится исследование, с целью выявления благоприятных и неблагоприятных условий для человека, деятельность города, какие промышленные зоны есть, как они влияют на качество окружающей среды, какие выбросы совершают в атмосферный воздух и так далее.

Исходя из вышеперечисленного, в этой главе были рассмотрены геоэкономическое положение Санкт-Петербурга, какие есть источники загрязнения атмосферного воздуха, а также охарактеризовала загрязняющие вещества, на основании которых будет проводиться дальнейший анализ.

1.1 Геоэкономическое положение исследуемого района

Санкт-Петербург занимает выгодное геополитическое положение, находясь в северо-западной части России на берегах Балтийского моря [3].

Климат Санкт-Петербурга относится к умеренной зоне, то есть переходной от океанического к континентальному, с умеренно мягкой зимой и умеренно теплым летом.

Санкт-Петербург по своему географическому местоположению относится к зоне избыточного увлажнения. В течение года осадки выпадают практически неравномерно: большая их часть (67 %) приходится на теплый период (май-сентябрь) и 33 % – на холодный (октябрь-апрель). В среднем за год выпадает 667,7 мм осадков [4].

Основной особенностью климата здесь является непостоянство погоды, обусловленное частой сменой воздушных масс, которые, в зависимости от района формирования, подразделяются на морские, континентальные и арктические. Морские воздушные массы (ВМ) поступают с запада, юго-запада или северо-запада при перемещении через северо-западные районы России атлантических циклонов. Циклоны приносят пасмурную, ветреную погоду и осадки. Зимой они являются причиной резких потеплений, а летом несут прохладу. С востока, юга или юго-востока входит сухой континентальный воздух. В антициклонах, сформировавшихся в этих ВМ, устанавливается малооблачная и сухая погода, летом жаркая, а зимой холодная. С севера и северо-востока приходит сухой и всегда очень холодный арктический воздух, формирующийся над льдом. Вторжения арктических ВМ сопровождаются наступлением ясной погоды и резким понижением температуры воздуха. В областях повышенного давления, сформировавшихся в этих ВМ, даже летом наблюдаются заморозки, а зимой – наиболее сильные морозы. Средняя скорость ветра составляет 3-5 м/с, максимальные скорости (>15 м/с) отмечаются в холодный период года приблизительно с октября по март. Зимой и осенью в Санкт-Петербурге преобладают юго-западное и западное направление ветра, а весной и летом – западное и северо-западное.

Согласно данным СЗ УГМС самыми загрязненными районами являются Выборгский, Центральный, Адмиралтейский и Московский в силу активной промышленности и транспортной нагрузки, в то время, как Кронштадтский, Приморский, Курортный и Петродворцовый являются самыми чистыми в силу преобладания западных и северо-западных ветров [5].

Санкт-Петербург является крупным транспортным узлом не только между субъектами РФ, но для стран Европы, Индо-Китая и Японии.

От города отходят 12 железных дорог, главная из них – на Москву. Все дороги соединены кольцевой линией, позволяющей обеспечивать пропуск транзитных грузов, минуя город и минимизируя выбросы в атмосферный воздух.

Промышленность Санкт-Петербурга характеризуется значительной долей обрабатывающих производств (93,5%). В структуре отгруженных товаров обрабатывающих производств 45% занимает продукция производства кокса и нефтепродуктов (бензол, толуол, диоксид серы и диоксид азота), 20% - продукция машиностроительного комплекса Санкт-Петербурга (толуол, ксилолы, оксид углерода, диоксид азота), 13% - пищевые продукты, напитки и табак (аммиак), доли остальных видов составляют менее 10% [3].

Санкт-Петербург занимает второе место по численности населения РФ, по данным комитета по транспорту в городе 5,5 млн жителей города приходится 2,3 млн личного транспорта. Загруженные магистрали, в районах которых может быть повышенная концентрация диоксида азота, оксида углерода, бензола и взвешенных веществ (ВЗВ): центр Санкт-Петербурга (Невский проспект, Литейный проспект, Лиговский проспект), Мурманское шоссе, Петроградская сторона, Волхонское и Красносельское шоссе [6].

1.2 Оценка тенденций заболеваемости населения Санкт-Петербурга

Активное развитие транспортной и промышленной инфраструктуры города приводит к выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух, которые оказывают негативное влияние на здоровье населения [7].

По данным Росстата был построен график с самыми распространенными заболеваниями в Санкт-Петербурге на 2023 год и получены следующие результаты: на первом месте – заболевания дыхательных путей (49,7% с диагнозом, установленном впервые), что подтверждает актуальность темы исследований (рисунок (1.2.1)) [8].

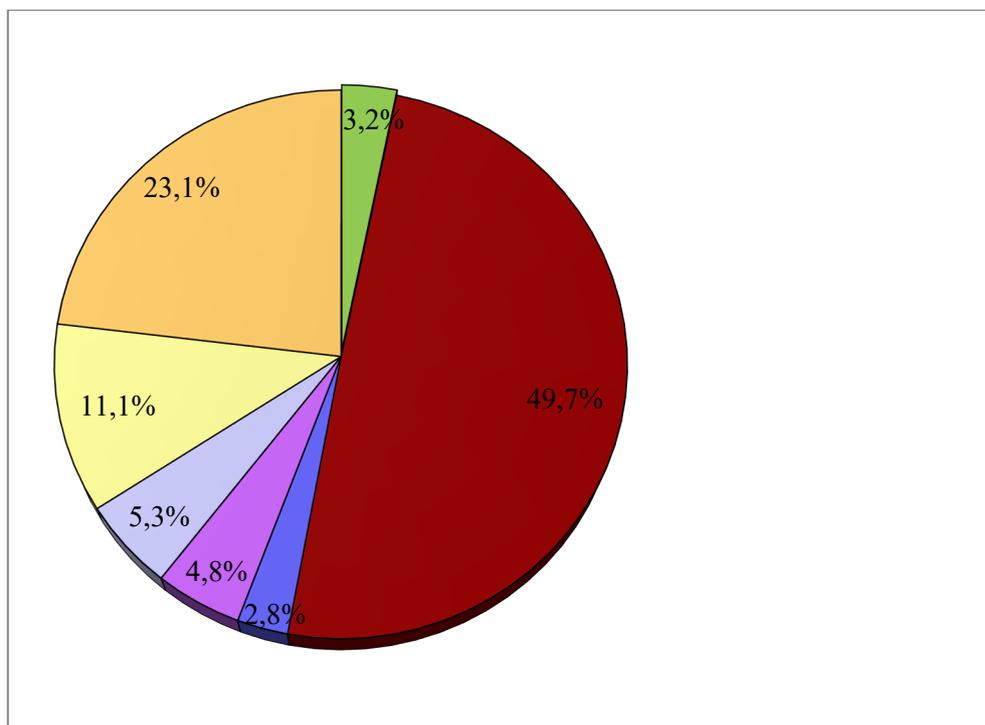


Рисунок 1.2.1 – Превалирующие заболевания в городе Санкт-Петербург на 2023 год

Ниже приведены самые распространенные виды дыхательных заболеваний в Санкт-Петербурге [9]:

1. Патологии органов дыхания и верхних дыхательных путей;
2. Пневмоконоизы (силикоз и пневмоконоизы от смешанных пылей);
3. Хронические бронхиты;
4. Бронхиальная астма;
5. Туберкулез легких.

Болезни органов дыхания (БОД) – это большая группа заболеваний, которые поражают органов, отвечающие за дыхание, относящиеся к одним из наиболее распространенных заболеваний среди населения. С начала 21 века заболеваемость БОД выросла с 317,2 на 100 тыс. населения в 2000 г. до 407,1 в 2021 гг. Относительное увеличение заболеваемости БОД составило 28,3%. Несмотря на то, что рост в 2000-2021 гг. заболеваемости БОД не был самым высоким среди основных классов болезней, болезни органов дыхания в настоящее время остаются самыми распространенными среди населения [10].

По данным Министерства Здравоохранения РФ [7] и Росстата [8] были построены 3 графика. Для анализа трендов первых двух графиков были подобраны полиномиальные модели второй степени, а для третьего – линейная модель.

На рисунке (1.2.2.а) тренды астматического статуса и других легочных заболеваний имеют параболическую форму с отрицательным коэффициентом наклона линии тренда (астма: $-0,17$; другие заболевания: $-0,24$). Это указывает на наличие пика заболеваемости в определенный промежуток (для астмы: 2020 год – 74,4 человека на 100 тысяч; для других легочных болезней: 2018 год – 79,2 человека) и дальнейшее снижение уровня заболевших. Также стоит заметить, что тренд по астме более достоверный, чем по другим легочным болезням ($R^2: 0,73 > 0,48$).

На рисунке (1.2.2.б) тренд хронического бронхита имеет параболическую форму с отрицательным коэффициентом наклона ($-2,64$). Данный факт указывает на наличие пика заболеваемости в определенный промежуток (2015 год – 523,4 человека) и дальнейшее снижение уровня заболевших; тренд имеет умеренную корреляцию ($R^2 = 0,5$).

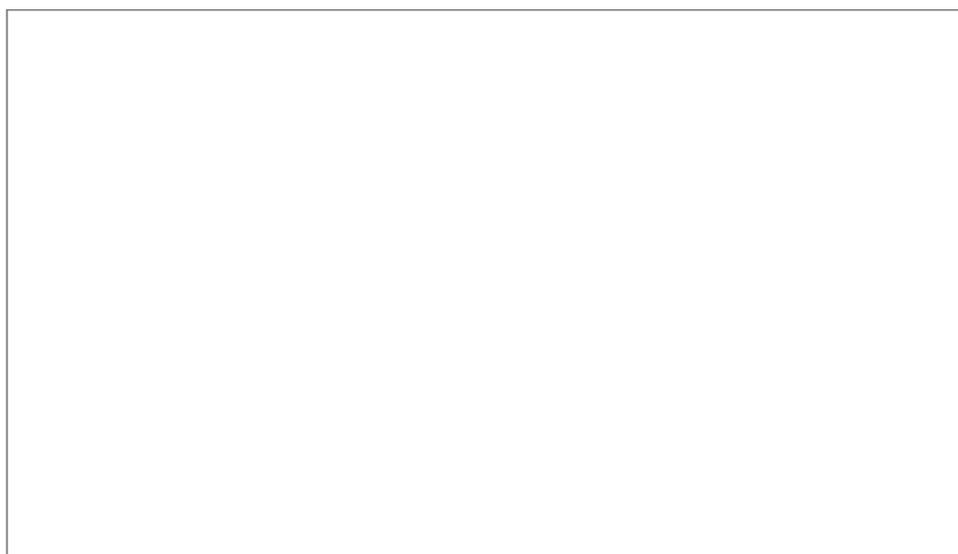


Рисунок 1.2.3 – Динамика новых случаев рака на 100 тыс. человек для взрослого населения в Санкт-Петербурге с 2013 по 2023 гг.

На рисунке (1.2.3) тренд новых онкологических случаев имеет положительный линейный тренд, то есть с каждым годом количество онкобольных увеличивается. Максимальное значение было зафиксировано в 2023 году и составило 700 человек с онкологией на 100 тыс. человек. Также стоит обратить внимание на высокую корреляцию ($R^2 = 0,99$), что говорит о достоверности тренда.

Согласно данным Росстата Санкт-Петербург занимает 2 место по удельной заболеваемости органов дыхания (33 тыс. чел) после Норильска (45 тыс. чел.), но опережает Москву (30 тыс. чел.). По удельному количеству онкологических случаев Санкт-Петербург занимает 3 место (530 чел.) после Севастополя (600 чел.) и Москвы (540 чел.) [8].

1.3 Источники загрязнения атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге

На территории Российской Федерации принято выделять две группы источников выбросов по типу объекта негативного воздействия: стационарные и передвижные.

Стационарным источником выброса загрязняющих веществ является объект производственной или иной хозяйственной деятельности, местоположение которого определено с применением единой государственной системы координат [11].

В свою очередь, стационарные источники выбросов делятся на организованные и неорганизованные. Организованные источники имеют конкретное сооружение, которое выводит загрязненные ВМ в атмосферу. Неорганизованный источник – любая промышленная территория, которая не имеет направленного выброса [12].

Передвижной источник выброса – транспортное средство, двигатель которого при его работе является источником выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух [11].

В работе проведены исследования статистических данных по выбросам загрязняющих веществ (ЗВ) от стационарных и передвижных источников в Санкт-Петербурге за период с 2013 по 2023 гг. [7]. Результаты исследований приведены на рисунке 1.3.1. Как можно видеть стационарные источники произвели самый большой выброс в 2017 году (87,3 тыс. тонн) ЗВ, а минимальное – в 2023 году (66,7 тыс. тонн). Передвижные источники имеют яркую динамику изменчивости. Наибольшее количество выбросов было в 2017 году (472,2 тыс. тонн) ЗВ, а наименьшее в 2021 году (131 тыс. тонн) ЗВ. Также можно заметить резкое уменьшение выбросов в атмосферный воздух в 2020 году, которое длилось на протяжении трех лет. Это можно объяснить сменой методики определения выбросов ЗВ в атмосферный воздух от передвижных

источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха.



Рисунок 1.3.1 – Динамика выбросов загрязняющих веществ (тыс. тонн) в атмосферный воздух Санкт-Петербурга за период с 2013 по 2023 гг.

Согласно данным комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности основной объем выбросов от суммарных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух вносит автотранспорт и составляет 67,8%, остальные 32,2% приходятся на стационарные источники (промышленность и теплоэнергетический комплекс) [13].

1.4 Мониторинг качества атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге

Мониторинг атмосферного воздуха – это систематическая, долгосрочная оценка уровней концентраций загрязняющих веществ путем измерения количества и типов определенных загрязняющих веществ в окружающем наружном воздухе. Осуществляется с использованием автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха (АСМ-АВ) и стационарных постов. В настоящее время в городе расположено 25 АСМ-АВ и 9 стационарных.

На рисунке (1.4.1) представлены стационарные и автоматические станции по мониторингу атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге. Зеленым цветом обозначены стационарные станции СЗУГМС, синим – автоматические Комитета по охране окружающей среды (ОС).

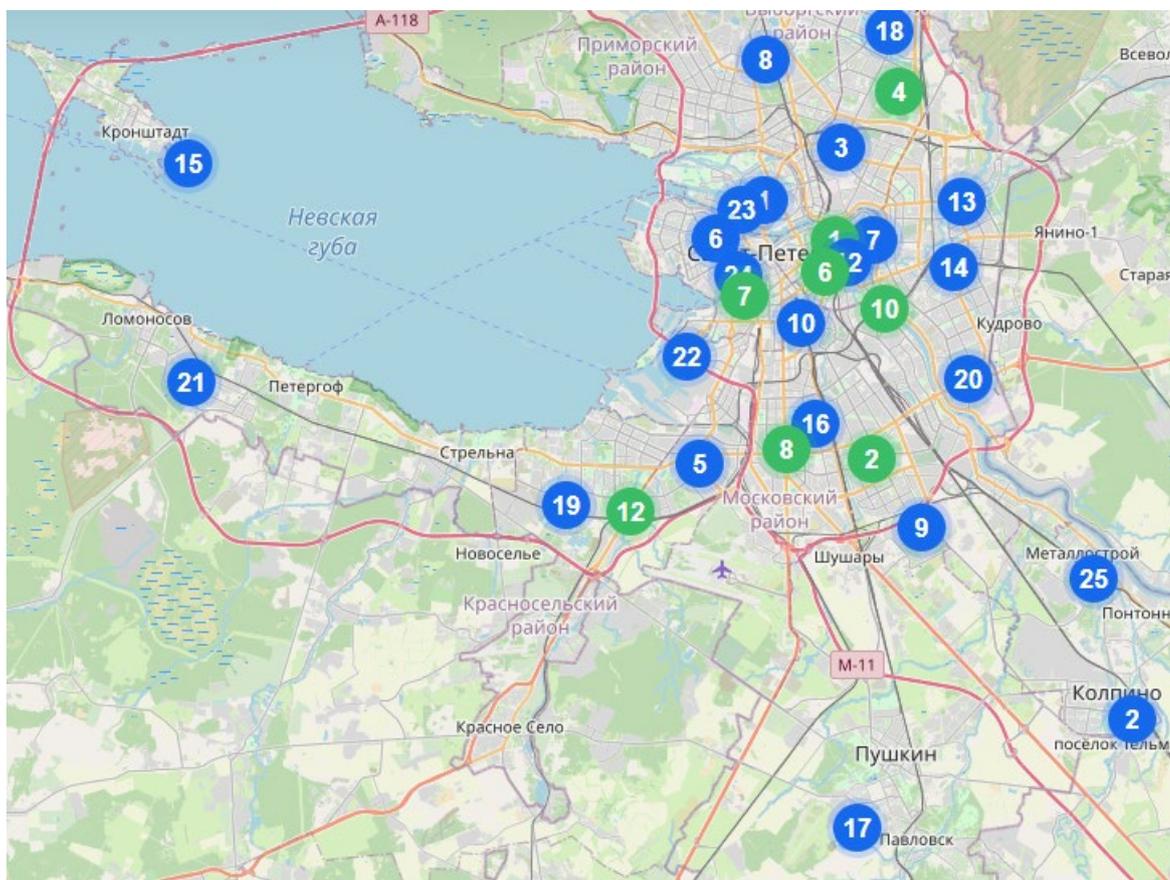


Рисунок 1.4.1 – Карта мониторинга качества атмосферного воздуха в городе Санкт-Петербурге [13]

На АСМ-АВ осуществляются автоматические измерения концентраций загрязняющих веществ каждые 20 минут по основным и приоритетным загрязняющим веществам: оксид азота, диоксид азота, оксид углерода, диоксид серы, частицы взвешенных веществ размером 10 мкм и менее и 2,5 мкм и менее, озон. Кроме того, на станциях, оборудованных хроматографами, осуществляются измерения концентраций бензола, толуола, этилбензола, ксилола, фенола и бенз(а)пирена.

Чтобы получить объективную и достоверную информацию о загрязнении воздуха, стационарные пункты размещаются в разных функциональных зонах. Всего в городе 9 стационарных постов. Измерения проводятся 3 раза в сутки.

Отбор проб воздуха производится на высоте 2 метров от уровня земли. Для химического анализа воздуха используются следующие методы: газовая хроматография для определения летучих органических соединений, масс-спектрометрия и спектрофотометрия для определения озона, диоксида азота и формальдегида [14].

1.5 Характеристика выбрасываемых веществ

Согласно классификации всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) существуют две группы загрязняющих веществ: канцерогены и неканцерогены.

Канцерогены - вещества, имеющие свойство повреждать генетический код клеток, воздействие на организм которых способствует развитию злокачественных новообразований [15].

Следовательно, неканцерогены – вещества, которые не обладают способностью вызывать рак или существенно влиять на его развитие.

В работе рассматривались следующие канцерогенные загрязняющие вещества: бензол, формальдегид и этилбензол.

Бензол – простейший ароматический углеводород, образуется при сжигании моторного топлива, горении дерева, мусора и других органических отходов. При длительном вдыхании бензол действует, как яд, вызывающий головокружение, рвоту и потерю сознания. При хроническом действии он вызывает повреждение костного мозга, печени, почек, может быть причиной лейкемии. Среднесуточная ПДК составляет $0,1 \text{ мг/м}^3$ [17].

Источниками формальдегида являются автомобильный транспорт, фотохимические реакции, процессы трансформации органических соединений, продукты сгорания бытового газа, строительные материалы и так далее. Загрязняющее вещество оказывает токсическое действие на организм, раздражает слизистую оболочку глаз, горла, дыхательных путей, вызывает головную боль и тошноту. Среднесуточная ПДК составляет $0,01 \text{ мг/м}^3$ [18].

Этилбензол используется в химической и топливной промышленности. При остром отравлении наблюдаются следующие симптомы: слезотечение, першение в горле, кашель, нарушение ритма дыхания; в больших концентрациях – нарушение координации движений, клонико-тонические судороги, снижение болевой чувствительности, снижение температуры тела, урежение частоты

дыхания и сердечной деятельности. Среднесуточная ПДК составляет $0,02 \text{ мг/м}^3$ [19].

К веществам неканцерогенам относятся: взвешенные вещества, фенол, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, хлористый водород, аммиак, озон, толуол и ксилолы.

Источниками поступления взвешенных веществ (ВЗВ) в АВ являются промышленные и энергетические объекты, транспорт. ВЗВ способствуют возникновению различных эффектов: понижению защитно-приспособительных сил организма, повышению уровня заболеваемости, прежде всего легочными, сердечно-сосудистыми и аллергическими болезнями, злокачественными новообразованиями. Среднесуточная ПДК составляет $0,15 \text{ мг/м}^3$ [20].

Главным источником выброса фенола в АВ является машиностроение и нефтеперерабатывающая промышленность. При отравлении фенолом могут быть следующие симптомы: нарушение дыхательных процессов, ожоги слизистой оболочки, развитие сердечно-легочной недостаточности, пониженное артериальное давление. Среднегодовая ПДК предложена на уровне $0,002 \text{ мг/м}^3$, максимально разовая – $0,04 \text{ мг/м}^3$, среднесуточная ПДК = $0,003 \text{ мг/м}^3$ [21].

Основными источниками выбросов диоксида серы являются сжигание ископаемого топлива и естественная вулканическая активность. Диоксид серы раздражает кожу и слизистые оболочки глаз, носа, горла и легких, вызывать воспаление и раздражение дыхательной системы, особенно при интенсивной физической нагрузке. Среднесуточная ПДК составляет $0,05 \text{ мг/м}^3$ [22].

Оксид углерода (угарный газ) образуется в результате неполного сгорания углеродсодержащих веществ. Он широко распространен в местах с высокой концентрацией автомобильного транспорта и промышленного производства. Симптомами токсического действия угарного газа являются: развитие гипоксии, нарушение центральной нервной и сердечно-сосудистой систем. Среднесуточная ПДК составляет 3 мг/м^3 [23].

Воздействие диоксида азота при высоких концентрациях может привести к асфиксии из-за отека в горле. Вдыхание газа и пара может вызвать отек

легких. Источниками диоксида азота в атмосфере могут быть пожары и сжигание органического топлива. Среднесуточная ПДК составляет 0,04 мг/м³ [24].

В АВ хлористый водород поступает с промышленными выбросами при производстве титана, магния, взрывчатых и красящих веществ. При влиянии на организм человека раздражает его слизистую оболочку, а также способен негативно влиять на центральную нервную систему. Среднесуточная ПДК составляет 0,1 мг/м³ [25].

Аммиак является исходным веществом для производства азотной кислоты и ее солей, солей аммония, азотных удобрений, взрывчатых веществ, красителей. Симптомы при остром отравлении аммиаком: поражение слизистой оболочки глаз и дыхательных путей, одышка и воспаление легких. Хроническое отравление – расстройство пищеварения, катары верхних дыхательных путей и ослабление слуха. Среднесуточная ПДК составляет 0,04 мг/м³ [26].

Основными источниками озона в АВ являются: автомобильный транспорт, промышленность, сжигание топлива. Попадая в организм человека, он вызывает раздражение слизистых оболочек дыхательных путей и глаз, обострение заболеваний легких и сердечных заболеваний. Воздействуя на организм в течение нескольких часов, озон в повышенных концентрациях способен вызвать необратимый процесс старения органов дыхания. Среднесуточная ПДК составляет 0,03 мг/м³ [27].

В АВ толуол попадает в составе выбросов предприятий химической промышленности. Длительное воздействие на организм приводит к поражению центральной нервной системы и нарушению кровеносной функции. Кратковременное вдыхание паров вызывает заторможенность реакций, тошноту, головокружение. Среднесуточная ПДК составляет 0,6 мг/м³ [28].

Основным источником ксилолов в АВ является химическая промышленность. Симптомами острого отравления данного вещества являются раздражение кожи, конъюнктивиты глаз, нарушения центральной нервной

системы, репродуктивной системы, поражение печени и почек, желудочно-кишечное расстройство. Среднесуточная ПДК составляет 0,02 мг/м³ [29].

Глава 2. Оценка экспозиции

Экспозиция (воздействие) - контакт организма (рецептора) с химическим, физическим или биологическим агентом. Оценка экспозиции заключается в измерении или определении (качественном и количественном) выраженности, частоты, продолжительности и путей воздействия химических соединений, находящихся в окружающей среде [32].

2.1 Анализ долгосрочной динамики и трендов концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Санкт-Петербурга

Чтобы определить динамику и тренды концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города Санкт-Петербурга, в работе были проведены статистические исследования рядов концентраций загрязняющих веществ: рассчитаны числовые характеристики (положения и рассеивания) и исследованы взаимосвязи этих рядов.

Числовые характеристики положения: математическое ожидание случайной величины (m_x), мода (M), медиана (M_e); показывают расположение определенных характеристик распределения на оси абсцисс.

Мода – значение, имеющее наибольшую плотность вероятности. Медиана – это такое значение, для которого вероятность превышения и не превышения одинакова и равна 50%.

Оценкой математического ожидания является среднеарифметическое значение, формула (2.1.1):

$$m_x = \frac{\sum x_i}{n} \quad (2.1.1)$$

Числовые характеристики рассеивания характеризуют степень и форму рассеивания возможных значений относительно математического ожидания.

Дисперсия (2.1.2) и среднее квадратическое (2.1.3) отклонение служат мерой разбросанности значений случайной величины около ее математического ожидания.

$$Dx = \frac{(xi-xcp)^2}{n-1}, \quad (2.1.2)$$

$$\sigma x = \sqrt{Dx}. \quad (2.1.3)$$

Коэффициент вариации (Cv) может быть использован для сопоставления изменчивости различных рядов наблюдений, так как не зависит от среднего значения. Расчет данного коэффициента проводится по формуле (2.1.4):

$$Cv = \frac{\sigma x}{mx}. \quad (2.1.4)$$

Коэффициент асимметрии C_s является характеристикой положения и показывает соотношение (положение на оси) Mo , Me и mx в исследуемом ряду. Расчет C_s для выборочных рядов производится по формуле (2.1.5):

$$C_s = \frac{\sum(xi-xcp)^3}{(n-1) \times \sigma x^3}. \quad (2.1.5)$$

Загрязнение от формальдегида только в июле 2018 года достигло своего предельно-допустимого значения (рисунок Б.2). Концентрации таких веществ как бензол и этилбензол, напротив, не превышались за исследуемый период (рисунки Б.1, Б.3).

Как можно видеть в приложении В (рисунок В.1), концентрации ВЗВ превышают предельно-допустимое значение почти в 1,5 раза. Также можно отметить сезонность превышения ПДК в весенне-летний период.

В основном с апреля по июнь (рисунок В.1) наблюдаются максимальные превышения ПДК (до 1,5ПДК). Концентрации таких веществ как диоксид серы, оксид углерода, хлористый водород, толуол и ксилолы не превышают предельно-допустимые значения за исследуемый промежуток времени (рисунки В.2, В.3, В.5, В.9, В.10).

Динамика же диоксида азота, аммиака и озона превышает свое ПДК в несколько раз (рисунки В.4, В.6, В.7). Также для этих веществ характерна весенне-летняя цикличность (именно в этот промежуток наблюдаются самые высокие значения и превышения).

Концентрации фенола в июне 2017 года достигла максимума и превысила ПДК, в августе 2018 года достигла своего ПДЗ.

Расчет коэффициента корреляции

Для оценки характера и тесноты связи рядов концентраций ЗВ в работе были рассчитаны коэффициенты парной линейной корреляции (r).

Коэффициент корреляции позволяет оценить характер и тесноту связи. Расчет данной характеристики произведен в таблицах (Г.3.а, Г.3.б), также была найдена связь между неканцерогенными веществами и количеством людей, имеющих легочные заболевания (таблица Г.4) (приложение Г).

Также был рассчитан ранговый критерий Спирмена по формуле (2.1.10), чтобы найти зависимость между концентрациями исследуемых загрязняющих веществ от времени [33]:

$$\rho = 1 - \frac{6 \times \sum_{i=1}^n d_i^2}{(n^3 - n)}, \quad (2.1.10)$$

где d_i – разность между порядковым номером значения и его рангом.

Результаты представлены в приложении Г (таблицы Г.5.а и Г.5.б).

Как видно из таблицы (Г.1.а) (приложение Г), коэффициент асимметрии бензола (C_s) > 0 (0,23), что говорит о слабой положительной (правосторонней) асимметрии. Соотношение математического ожидания (m_x) бензола (0,005), оно равно значению медианы ($Me = 0,005$) и меньше значения моды ($M = 0,002$),

следовательно, есть небольшой сдвиг вправо, что согласуется с коэффициентом асимметрии.

Однако, так как мода меньше математического ожидания, можно сделать вывод, что пик распределения концентраций смещен влево. Коэффициент вариации $(Cv) = 0,56$ свидетельствует о высокой изменчивости значений концентраций вокруг среднего значения (математического ожидания). Также среднее значение бензола $= 0,005 \text{ мг/м}^3$, однако, оно может сильно отклоняться ($\sigma = 0,0031$).

Глава 3. Оценка зависимости «доза-ответ» для химических канцерогенов

Этап оценки риска здоровью зависимости «доза-ответ» представляет процесс установления связи между воздействующей дозой загрязняющего вещества и случаями негативных эффектов в экспонируемой популяции.

Канцерогенные эффекты способны возникать при любой дозе химического канцерогена и негативно влиять на генетический материал человека.

В данной главе произведена оценка беспороговой зависимости канцерогенного риска для населения Санкт-Петербурга за период с 2013 по 2023 гг.

3.1 Канцерогенный риск здоровью населения Санкт-Петербурга

Далее будут представлены получившиеся значения индивидуального, суммарного, хронического и популяционного канцерогенного рисков за период с 2013 по 2023 гг., а также методика их расчета.

Глава 4. Оценка зависимости «доза-ответ» для неканцерогенных веществ

Как было сказано ранее характеристика «доза – ответ» показывает зависимость между концентрацией загрязняющего вещества и случаями вредных эффектов.

В главе 3 была рассмотрена беспороговая зависимость (при любых концентрациях будет негативное воздействие). В данной части работы я произвела оценку пороговой зависимости (для ряда неканцерогенных веществ) «доза – ответ», то есть оценку влияния минимальной концентрации загрязняющих веществ на здоровье населения Санкт-Петербурга за период с 2013 по 2023 гг.

Глава 5. Характеристика риска

Для оценки рисков для здоровья населения Санкт-Петербурга были рассчитаны канцерогенный и неканцерогенный риск.

Канцерогенный риск отражает вероятность развития злокачественных новообразований в результате длительного воздействия.

Неканцерогенный риск оценивался с помощью коэффициента опасности (HQ), характеризующий вероятность возникновения негативных эффектов при превышении предельно-допустимого значения.

Начнем с характеристики канцерогенного риска в Санкт-Петербурге за период с 2013 по 2023 гг. (от следующих ЗВ: формальдегид, бензол и этилбензол).

Список литературы

1. Курчанов В. И. Актуальность оценки многосредового канцерогенного риска для здоровья населения от воздействия химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Электронный ресурс]/ В. И. Курчанов, Т. Е. Лим, И. А. Воецкий, С. А. Головин // Вопросы управления и социальной гигиены. - №7. – С. 8-12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnost-otsenki-mnogosredovogo-kantserogenного-riska-dlya-zdorovya-naseleniya-ot-vozdeystviya-himicheskikh-veschestv/viewer>
2. Мовчан В.Н. Оценка и прогноз экологической ситуации в Санкт-Петербурге по показателям загрязнения атмосферного воздуха и изменения здоровья населения [Электронный ресурс]/ Мовчан В.Н., Зубкова П. С., Калинина И. К., Кузнецова М.А., Шейнера Н. А.// Вестник СПбГУ. - №2. – С. 178 – 193. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-i-prognoz-ekologicheskoy-situatsii-v-sankt-peterburge-po-pokazatelyam-zagryazneniya-atmosfernogo-vozduha-i-izmeneniya-zdorovya/viewer>
3. Экономико-географическое положение [Электронный ресурс]: URL: http://www.gorod.infopiter.ru/obschie_svedeniya/ekonomikogeograficheskoe-polozhenie/ (дата обращения 16.10.2024)
4. Климат Санкт-Петербурга и Ленинградской области [Электронный ресурс]: URL: <http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=2> (дата обращения 12.02.2025)
5. Климат и природные ресурсы [Электронный ресурс]: URL: [https://www.gov.spb.ru/helper/day/klimat/#:~:text=Самая%20высокая%20температура%2C%20отмеченная%20в,\(11%20января%201883%20года\)](https://www.gov.spb.ru/helper/day/klimat/#:~:text=Самая%20высокая%20температура%2C%20отмеченная%20в,(11%20января%201883%20года)) (дата обращения 12.02.2025)

6. Комитет по транспорту Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]: URL: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_transport/ (дата обращения 02.04.2025)
7. Министерство здравоохранения Российской Федерации [Электронный ресурс]: URL: <https://minzdrav.gov.ru/> (дата обращения 12.02.2025)
8. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]: URL: <https://rosstat.gov.ru/?/> (дата обращения 02.04.2025)
9. Эпидемиологические данные о профессиональных заболеваниях дыхательной системы в Ленинграде — Санкт-Петербурге [Электронный ресурс]: URL: <https://journal.pulmonology.ru/pulm/article/view/3148> (дата обращения 12.02.2025)
10. Журнал «Медицина» № 3, 2023 [Электронный ресурс]: URL: <https://fsmj.ru/download/43/01.pdf> (дата обращения 12.02.2025)
11. Росприроднадзор. О нормировании выбросов вредных (загрязняющих) веществ [Электронный ресурс]: URL: https://rpn.gov.ru/regions/52/news/o_normirovanii_vybrosov_vrednykh_zagryaznyayushchikh_veshchestv-73992.html (дата обращения 16.10.2024)
12. Стационарные источники выбросов в атмосферы [Электронный ресурс]: URL: <https://izmerenia.by/blog/statsionarnyye-istochniki/> (дата обращения 16.10.2024)
13. Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности [Электронный ресурс]: URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/statistic/development/> (дата обращения 28.03.2025)
14. Система мониторинга атмосферного воздуха Санкт – Петербурга [Электронный ресурс]: URL: <https://ecopeterburg.ru/2017/03/02/система-мониторинга-атмосферного-во/> (дата обращения 16.10.2024)
15. Канцерогены как одна из причина возникновения рака [Электронный ресурс]: URL: <https://onco-life.ru/ob->

onkologii/profilactica/factory-riska/vneshnie-factory/post/kancerogennye-veshestva (дата обращения 16.10.2024)

16. IARC – International agency for research on cancer [Электронный ресурс]: URL: <https://www.iarc.who.int/> (дата обращения 16.10.2024)

17. Е. В. Печенникова, В. В. Вашкова, Е. А. Можаяев, Е. Г. Ротова. Бензол как канцерогенный загрязнитель воздуха [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/benzol-kak-kantserogennyu-zagryaznitel-vozduha-obzor/viewer> (дата обращения 17.02.2025)

18. В. Б. Дорогова, Н. А. Тараненко, О. А. Рычагова. Формальдегид в окружающей среде и его влияние на организм [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formaldegid-v-okruzhayuschey-srede-i-ego-vliyanie-na-organizm-obzor/viewer> (дата обращения 17.02.2025)

19. Федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ [Электронный ресурс]: URL: <https://rpo hv.ru/online/detail.html?id=237> (дата обращения 17.02.2025)

20. С.Б. Петров. Эколого-эпидемиологическая оценка влияния взвешенных веществ в атмосферном воздухе на развитие болезней системы кровообращения [Электронный ресурс]: URL: <https://search.app/Zbe3yAEqZtFSRqHf7> (дата обращения 17.02.2025)

21. Т. И. Киселева. К обоснованию характера комбинированного действия фенола и стирола в атмосферном воздухе [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-obosnovaniyu-haraktera-kombinirovannogo-deystviya-fenola-i-stirola-v-atmosfernom-vozdruhe/viewer> (дата обращения 17.02.2025)

22. Sulfur Dioxide Effects on Health [Электронный ресурс]: URL: <https://www.nps.gov/subjects/air/humanhealth-sulfur.htm> (дата обращения 16.10.2024)

23. А. Н. Гребенюк, В. Н. Быков. Оксид углерода: современные подходы к лечению острых отравлений [Электронный ресурс]: URL:

https://www.toxreview.ru/jour/article/view/529?locale=ru_RU (дата обращения 17.02.2025)

24. International Chemical Safety Cards 0930 – Диоксид азота [Электронный ресурс]: URL: https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=0930&p_version=1&p_lang=ru#:~:text=Вещество%20разъедает%20глаза%2C%20кожу%20и,может%20привести%20к%20смертельному%20исходу (дата обращения 17.02.2025)

25. Е. В. Елфимова. Материалы к обоснованию предельно-допустимой разовой концентрации аэрозоля соляной кислоты (хлористого водорода) в атмосферном воздухе [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/materialy-k-obosnovaniyu-predelno-dopustimoy-razovoy-kontsentratsii-aerolya-solyanoy-kisloty-hloristogo-vodoroda-v-atmosfernom/viewer> (дата обращения 17.02.2025)

26. Какарека, С. В.. Аммиак в атмосферном воздухе: источники поступления, уровни содержания, регулирование/ С. В. Какарека, А. М. Мальчихина. – Минск: Беларуская навука , 2016. – 253 с. – ISBN 978-985-08-2083-9: https://books.google.ru/books?hl=ru&lr=&id=HjQqDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=аммиак+в+атмосферном+воздухе&ots=uWGpPKKqwq&sig=1q0NSH1TVF_ee5BszBwx5ROg6v0&redir_esc=y#v=onepage&q=аммиак%20в%20атмосферном%20воздухе&f=false (дата обращения 17.02.2025)

27. Угроза озоновых дыр для человеческого здоровья, польза и вред озона [Электронный ресурс]: URL: https://elar.rsvpu.ru/bitstream/123456789/40841/1/978-5-9907908-1-0_2022_016.pdf (дата обращения 16.10.2024)

28. Н. А. Фролова. Использование модифицированной системы нетермического плазменного катализа для контроля содержания толуола в воздухе [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-modifitsirovannoy-sistemy->

netermicheskogo-plazmennogo-kataliza-dlya-kontrolya-soderzhaniya-toluola-v-vozdue/viewer (дата обращения 17.02.2025)

29. Н. Н. Егорова, Т. Р. Зилькарнаев, И. Г. Кулагина, В. А. Власюк. Гигиеническая оценка загрязнения атмосферного воздуха изомерами ксилола [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gigienicheskaya-otsenka-zagryazneniya-atmosfernogo-vozduha-izomerami-ksilola/viewer> (дата обращения 17.02.2025)

30. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293740/4293740240.pdf> (дата обращения 14.11.2024)

31. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Электронный ресурс]: URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/cb0/4293853015.pdf> (дата обращения 30.11.2024)

32. Методы обработки и анализа геоэкологической информации [Электронный ресурс]: URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_3e9ca9969cd0442db2b6d937a5684674.pdf (дата обращения 16.11.2024)

33. Оценка риска здоровью городского населения с использованием фоновых долгопериодных средних концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе [Электронный ресурс]: URL: <https://zniso.fcgie.ru/jour/article/view/855> (дата обращения 30.11.2024)

34. Оценка риска для жизни и здоровья населения от воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Гигиенические показатели уровня загрязнения атмосферы [Электронный ресурс]: URL: <https://rep.bsmu.by/bitstream/handle/BSMU/24804/Оценка%20риска.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата обращения 30.11.2024)