



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 канцерогенного риска для здоровья населения г. Санкт-Петербурга от воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Исполнитель Репина Дарья Александровна

Руководитель кандидат географических наук
Колесникова Евгения Владимировна

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

кандидат географических наук, доцент

Алексеев Денис Константинович

«10» 06 2022 г.

Санкт-Петербург

2022

Оглавление	
Введение	3
Глава 1. Система мониторинга воздушной среды Санкт-Петербурга	5
1.1 Стационарные и передвижные пункты наблюдений	5
1.2 Автоматизированная система мониторинга	6
1.3 Система расчетного мониторинга	8
Глава 2. Идентификация опасности	10
2.1 Экономико-географическое положение исследуемого региона	10
2.2 Анализ динамики заболеваемости населения Санкт-Петербурга	11
2.3 Источники загрязнения атмосферного воздуха в г. Санкт-Петербурге	16
2.4 Характеристика стационарных источников выбросов и их влияние на атмосферу	17
2.5 Характеристика передвижных источников и их влияние на атмосферу ...	18
2.6 Характеристика выбрасываемых веществ	19
3 Оценка экспозиции	21
3.1 Оценка многолетней динамики значений концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе СПб	21
3.2 Оценка внутригодовой динамики концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе за 2021 год	25
4 Оценка зависимости «доза - ответ» и характеристика опасности	28
4.1 Индивидуальный канцерогенный риск	28
4.2 Популяционный канцерогенный риск	41
4.3 Хронический канцерогенный риск	43
5 Характеристика риска	44
Заключение	55
Список использованных источников	58
Приложение А	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение Б	Ошибка! Закладка не определена.

Введение

Санкт-Петербург является одним из крупнейших промышленных городов в Российской Федерации. Территория города характеризуется высокой техногенной нагрузкой на окружающую среду. Промышленные предприятия занимают более 40% от общей площади Санкт-Петербурга. Главными загрязнителями являются предприятия топливно-энергетического комплекса, металлургии и металлообработки, а также автотранспорт.

Исследование и решение проблемы загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий и др. является одной из задач, которые необходимо решать в рамках общих аспектов охраны окружающей среды. Важным классом задач, которые требуют первоочередного решения, является разработка средств оценки техногенной нагрузки, связанной с загрязнением атмосферного воздуха, особенно канцерогенными веществами.

Актуальность работы определяется стремительным ростом числа онкологических заболеваний населения г. Санкт-Петербурга, который сопровождается увеличением выбросов загрязняющих веществ. Взаимосвязь качества атмосферного воздуха и здоровья населения установлена и методически обеспечена рискологической концепцией. Особое внимание сейчас уделяется контролю канцерогенного риска для здоровья населения.

Таким образом, *целью* данной работы стала оценка канцерогенного риска для здоровья населения г. Санкт-Петербурга от воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Для достижения цели были поставлены следующие *задачи*:

1. Проанализировать систему мониторинга атмосферного воздуха г. Санкт-Петербурга и охарактеризовать основные источники загрязнения воздушной среды;
2. Составить базу данных и оценить многолетнюю и внутригодовую динамику концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города;

3. Провести анализ динамики заболеваемости населения г. Санкт-Петербурга;
4. Рассчитать индивидуальный, суммарный, популяционный и хронический риски для здоровья населения.

Исходные данные для выполнения исследований были собраны из информационных порталов организации «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (СЗУГМС), которая осуществляет мониторинг атмосферного воздуха г. Санкт-Петербурга.

В работе применялся антропоцентрический подход и задействованы *методы* расчёта и оценки канцерогенного риска по беспороговой концепции. Кроме того, использованы методы статистической обработки информации и литературного анализа. Все расчёты риска проведены в пакете Microsoft Excel (2010).

Новизна работы заключается в том, что впервые проводится анализ данных по мониторингу атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург за современный период (с 2016 по 2021гг.). Кроме того, впервые за данный период рассчитан и оценён индивидуальный, популяционный и хронический канцерогенный риск отдельно для детского и взрослого населения.

Практическая значимость исследований связана с возможностью формулирования обоснованных рекомендаций по снижению канцерогенного риска для населения г. Санкт-Петербурга.

Личный вклад автора заключается в сборе и обработке первичной информации, анализе заболеваемости населения г. Санкт-Петербург, проведении расчётов всех видов канцерогенного риска для здоровья и составлении рекомендаций по его снижению.

Глава 1. Система мониторинга воздушной среды Санкт-Петербурга

1.1 Стационарные и передвижные пункты наблюдений

В крупных районах Санкт-Петербург степень загрязнения атмосферного воздуха может существенно превышать действующие санитарно-гигиенические нормативы. Характер временных и пространственных изменений содержания вредных веществ и их концентраций в атмосферном воздухе определяется целым рядом разнообразных факторов. Основой для выявления закономерностей служит наблюдение за состоянием загрязнения воздушного бассейна.

Служба наблюдений и контроля за состоянием атмосферного воздуха состоит, как правило, из двух составных частей:

1) система контроля, за источниками загрязнения она регулирует выбросы вредных веществ в атмосферу. Это позволяет оценить степень загрязнения атмосферного воздуха в городе или любом другом населенном пункте, где есть стационарные и передвижные источники выбросов, определенного загрязняющего вещества;

2) система наблюдений (мониторинга) за качеством атмосферного воздуха в городах, населенных пунктах и территориях, которые находятся вне зоны влияния конкретных источников загрязнения [1].

При размещении постов наблюдений предпочтение отдают районам жилой застройки, где возможны случаи превышения установленных предельных значений гигиенических показателей ПДК, особенно, с наибольшей плотностью населения. Наблюдения проводятся по всем показателям, уровни которых превышают ПДК. В обязательном порядке измеряются основные загрязняющие вещества, наиболее часто встречающиеся: пыль, оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы. Выбор других веществ, которые требуют контроля, определяется спецификой конкретного производства на данной местности, а также частотой превышения ПДК.

Сеть наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха в населенных пунктах включает посты ручного отбора проб воздуха и автоматизированные системы наблюдений и контроля окружающей среды. Посты наблюдений за загрязнением разделяют на: стационарные, автоматизированные и передвижные [2].

1.2 Автоматизированная система мониторинга

Методы мониторинга атмосферного воздуха для локальных территорий основываются на информации, полученной системами мониторинга. Для этого необходимо создание локальных автоматизированных систем по измерению, накоплению данных о параметрах окружающей среды и атмосферном воздухе. Этот комплекс реализован на современной элементной базе с модульной организацией, которая является автономной, работает в реальном режиме времени и позволяет пополнять базу данных состояния атмосферного воздуха определенной локальной местности.

Автономную систему устанавливают на открытом воздухе, она обеспечивает измерение, обработку и передачу данных.

В Санкт-Петербурге осуществляется мониторинг атмосферного воздуха с использованием Автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга (АСМ-АВ). АСМ-АВ представляет собой комплекс взаимодействующих технических и программных средств, организационных процедур и услуг по обеспечению функционирования технических и программных средств, необходимых для осуществления государственного экологического мониторинга атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге.

Автоматизированная система мониторинга была создана Администрацией Санкт-Петербурга на основании технического задания «Автоматизированная система контроля и управления качеством атмосферного воздуха Санкт-Петербурга» 1996 года с первоначально присвоенным наименованием, которое действовало до 2006 года – Автоматизированная

система контроля и управления качеством атмосферного воздуха Санкт-Петербурга (система УКВ) [3].

После 1996 г. система мониторинга атмосферного воздуха активно развивалась, росло число установленных станций. Так, если в 1999 г. в системе функционировало только 4 станции, то в настоящее время в состав АСМ-АВ входит 25 автоматических станций, расположенных во всех районах города. Формирование и обеспечение функционирования АСМ-АВ осуществляется Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности [3].

Карта мониторинга качества воздуха в Санкт-Петербурге представлена на рисунке 1.2:

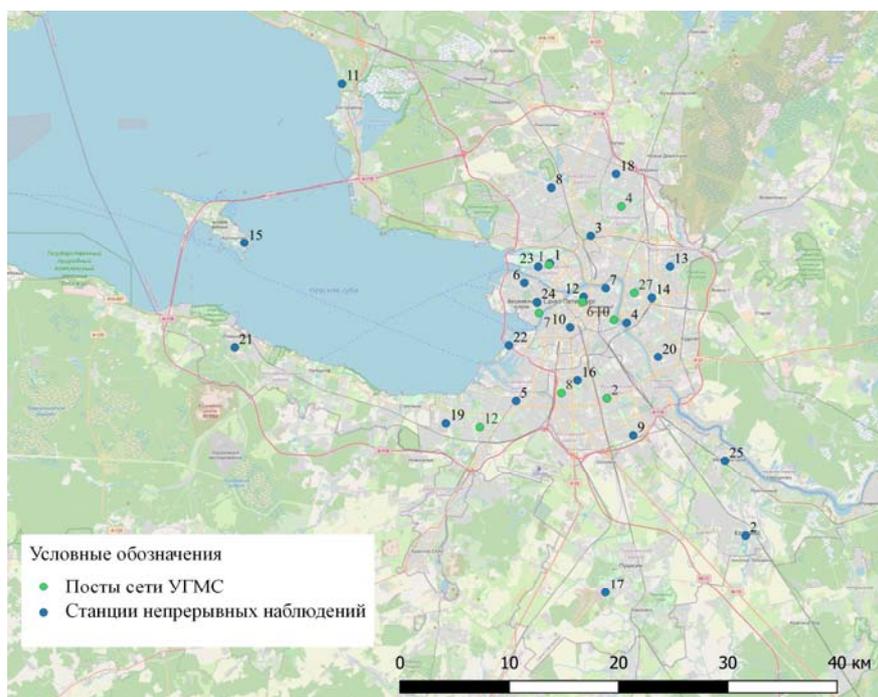


Рисунок 1.2 – Карта мониторинга качества воздуха в Санкт-Петербурге

Для автоматических анализаторов и активных пробоотборников необходимо, чтобы концентрации примесей не изменялись в процессе прохождения от воздухозаборника до инструментальной ячейки. В Санкт-Петербурге при построении системы мониторинга атмосферного воздуха были

решена основная задача – для приоритетных загрязняющих веществ выбраны технологии измерений, имеющие такое разрешение по времени, которое соответствует времени негативного воздействия на здоровье с целью учета, как возможных краткосрочных острых воздействий, так и долгосрочных хронических воздействий.

Измерения на станциях для приоритетных загрязняющих веществ осуществляются ежедневно, круглосуточно и непрерывно (72 измерения в сутки для каждого загрязняющего вещества, 26280 измерений в год) при в 20-минутном осреднении и обеспечивают регулярное получение оперативной информации об уровне загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга основными примесями, а также накопление и анализ полученных данных [3].

В настоящее время в состав АСМ-АВ входят: испытательная лаборатория, 25 автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха (22 станции павильонного типа и 3 беспавильонные станции), 2 стационарных поста наблюдений (СПН), 3 автоматические метеорологические станции, 3 передвижные лаборатории мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, передвижная метрологическая лаборатория, 2 передвижные технические лаборатории) [3].

1.3 Система расчетного мониторинга

Индекс качества воздуха – является инструментом, который используется для того, чтобы донести до населения текущее состояние атмосферного воздуха, т.к. сами по себе показатели мониторинга атмосферного воздуха оказываются непонятными для людей, то такой показатель показывает связь между данными наблюдений и последствиями для здоровья населения.

Поскольку возможные последствия для здоровья устанавливаются эпидемиологическими исследованиями на базе национальных научно-исследовательских учреждений, а показатели качества воздуха варьируются от географического положения, различные страны руководствуются различными

национальными стандартами при определении индекса качества воздуха. Но при этом, все индексы имеют схожие структурные элементы:

- расчет индекса качества воздуха производится на основе средних значений концентрации загрязняющих веществ за отдельный период, в который они были получены из данных мониторинга атмосферного воздуха или моделирования атмосферной дисперсии;

- в качестве уровня загрязняющих веществ в воздухе принимается концентрация и время фиксации этой концентрации;

- индекс качества воздуха объединяется в диапазоны. Каждому диапазону присваивается идентификатор, код цвета и рекомендации для населения по здравоохранения;

- индекс строится в порядке, при котором предполагается, что увеличение индекса будет показывать, что значительная часть населения столкнется с серьезными последствиями для здоровья [4].

Глава 2. Идентификация опасности

2.1 Экономико-географическое положение исследуемого региона

Санкт-Петербург находится в северной части Европы. По отношению к России он расположен в северо-западной части страны, с прямым выходом в акваторию Балтийского моря, и является административным центром Ленинградской области. Основан Петербург в 1703 г.

Санкт-Петербург расположен на берегу Финского залива и занимает прилегающие к устью реки Невы земли. Абсолютные отметки высот меняются от 0 метров на побережье до 25-30 метров в северных районах города.

Климат Петербурга – умеренный, переходный от умеренно-континентального к умеренно-морскому. Такой тип климата объясняется географическим положением и атмосферной циркуляцией, характерной для Ленинградской области. Это обуславливается сравнительно небольшим количеством поступающего на земную поверхность и в атмосферу солнечного тепла.

Для города характерна частая смена воздушных масс, обусловленная в значительной степени циклонической деятельностью. Летом преобладают западные и северо-западные ветры, зимой – западные и юго-западные. Петербургские метеостанции располагают данными с 1722 года. Самая высокая температура, отмеченная в Санкт-Петербурге за весь период наблюдений – +37,1 °С, а самая низкая – 35,9 °С [5].

Основа промышленности Санкт-Петербурга – тяжелая индустрия, в том числе энергетическое машиностроение. Развита черная и цветная металлургия, химическая, легкая, полиграфическая промышленность. Развито транспортное машиностроение. В сфере военного и гражданского судостроения и судоремонта работают многие заводы. Также развито приборостроение, производство оптики, электроприборов и электронной техники, производство электрооборудования среднего и низкого напряжения. Значительный объем промышленного производства формируется предприятиями отрасли производства вооружений [6].

Промышленность Санкт-Петербурга характеризуется значительной долей обрабатывающих производств (93,5%). В структуре отгруженных товаров обрабатывающих производств 45% занимает продукция производства кокса и нефтепродуктов, 20% – продукция машиностроительного комплекса Санкт-Петербурга, 13% – пищевые продукты, напитки и табак, доли остальных видов составляют менее 10% [5].

2.2 Анализ динамики заболеваемости населения Санкт-Петербурга

В работе рассматривалась заболеваемость детского и взрослого населения по разным группам заболеваний, такие как: общая заболеваемость, возникновение новообразований, болезни органов дыхания и врожденные аномалии. Период исследований 2016-2019 год по Санкт-Петербургу, Ленинградской области и Российской Федерации.

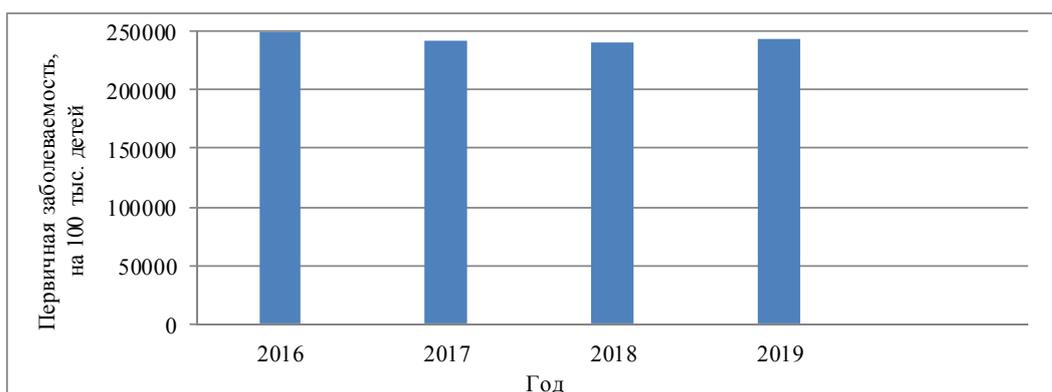


Рисунок 2.2.1 – Динамика показателей первичной заболеваемости детского населения. Санкт-Петербург, 2016-2019 гг.

В 2016 г. отмечаются наибольшие значения показателя первичной заболеваемости (249611 случая на 100 тысяч детей). В 2019 г. отмечаются наименьшие значения показателя детской первичной заболеваемости (243664 на 100 тысяч детей).

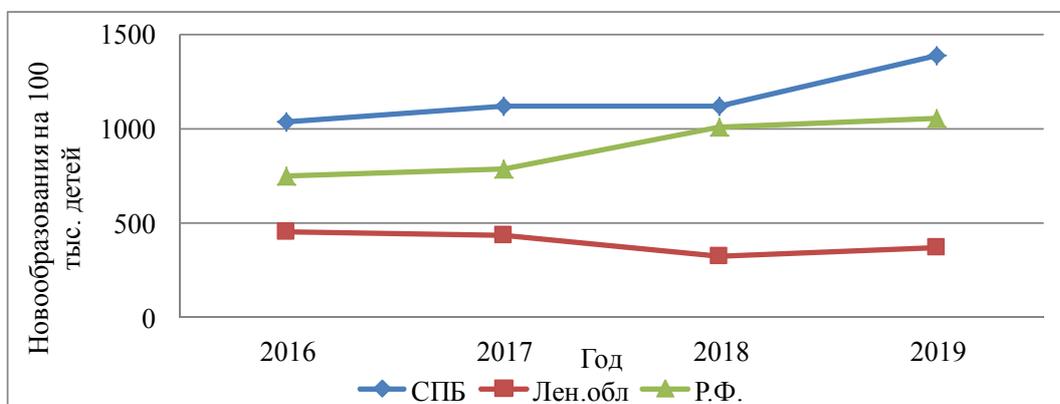


Рисунок 2.2.2 – Динамика показателей первичной заболеваемости новообразованиями у детского населения. Санкт-Петербург, 2016-2019 гг.

Из рисунка 2.2.2 видно, что наибольшие показатели заболеваемости новообразованиями у детского населения преобладают в Санкт-Петербурге. Российская Федерация в 2018 г. приближена значениями к Санкт-Петербургу. В Ленинградской области с 2016 по 2018 гг. наблюдается уменьшение количества детей, у которых имеется заболевание.

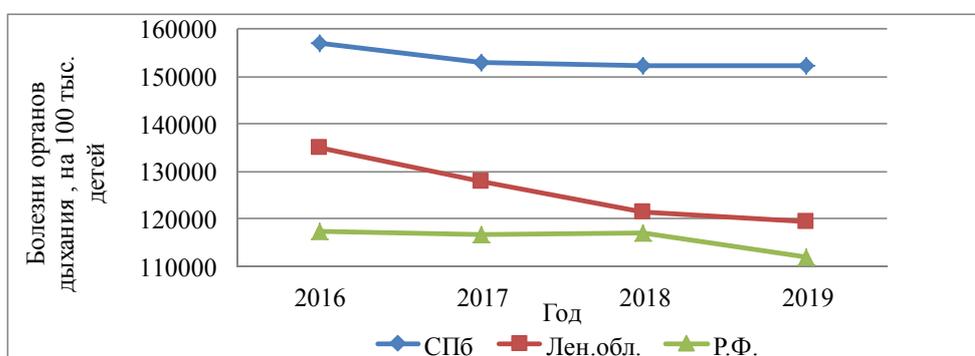


Рисунок 2.2.3 – Динамика показателей первичной заболеваемости болезнями органов дыхания детского населения. Санкт-Петербург, 2016-2019 гг.

Наибольшие показатели первичной заболеваемости болезнями органов дыхания по Санкт-Петербургу составил в 2016 году. С 2016 по 2019 гг. наблюдается уменьшение количество возникновений первичной заболеваемости. Также отмечается в Ленинградской области тенденция на снижение возникновения первичной заболеваемостью с 2016 по 2019 гг. В

Российской Федерации с 2016 по 2018 гг. отмечается увеличение возникновений первичной заболеваемости, затем в 2019 году снижение роста.

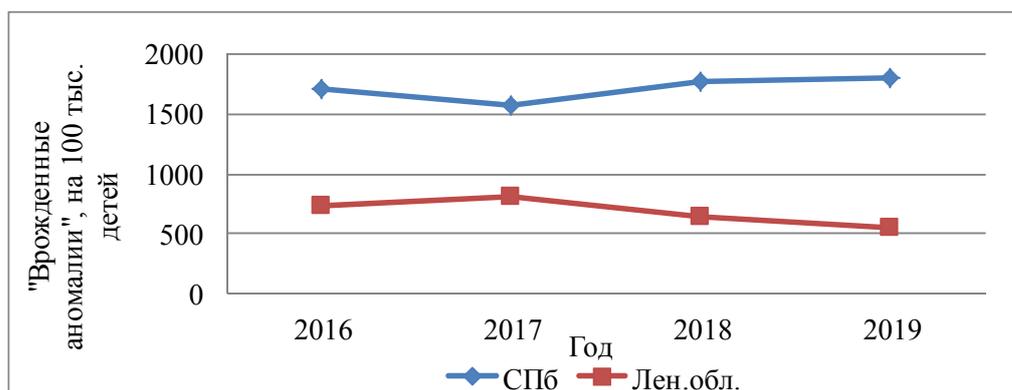


Рисунок 2.2.4 – Динамика показателей первичной регистрации врожденных аномалий у детского населения. Санкт-Петербург, 2016-2019 гг.

С 2016 по 2017 гг. отмечается уменьшение возникновений первичных регистраций врожденных аномалий, с 2018 по 2019 гг. наблюдается увеличение. С 2016 по 2017 гг. наблюдается увеличение число возникновений первичных регистраций врожденных аномалий, с 2018 по 2019 гг. отмечается спад.

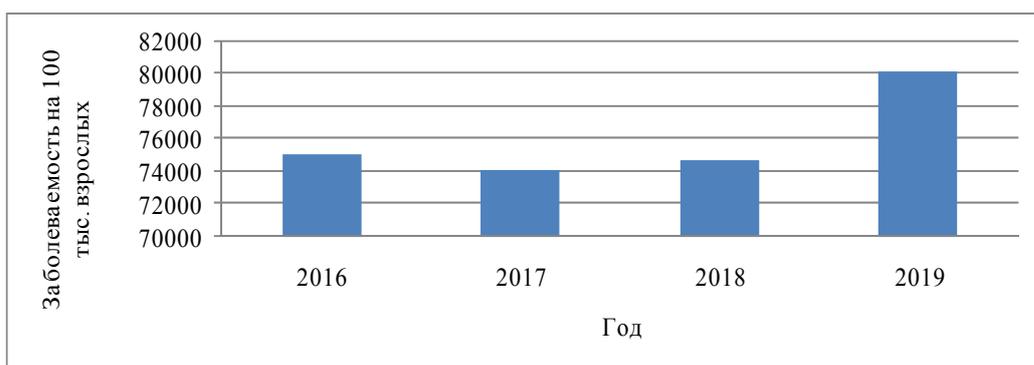


Рисунок 2.2.5 – Динамика показателей первичной заболеваемости взрослого населения. Санкт-Петербург, 2016-2019 гг.

С 2016 по 2017 гг. у взрослого население отмечается спад возникновений первичных заболеваемости, в 2018 г. наблюдается небольшой прирост показателей первичной заболеваемости, в 2019 г. отмечается рост заболеваемости.

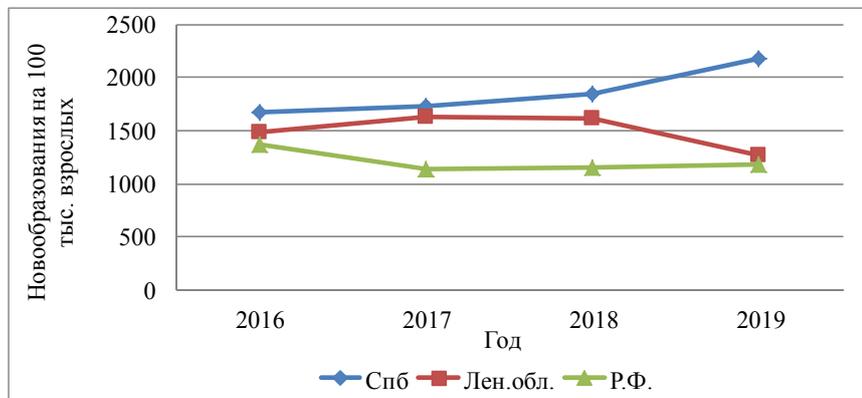


Рисунок 2.2.6 – Динамика показателей первичной заболеваемости новообразованиями у взрослого населения. Санкт-Петербург, 2016-2019 гг.

В Санкт-Петербурге с 2016 по 2019 гг. отмечается уверенный рост показателей первичной заболеваемости новообразованиями. В Ленинградской области с 2017 г. наблюдается уменьшение возникновения показателей первичной заболеваемости. В Российской Федерации с 2016 по 2017 гг. происходит спад, а далее в последующие года наблюдается небольшой прирост.

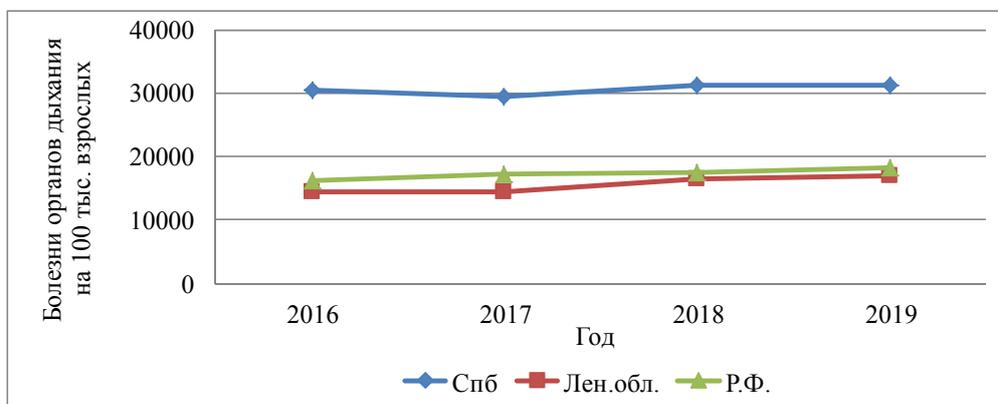


Рисунок 2.2.7 – Динамика показателей первичной заболеваемости болезнями органов дыхания взрослого населения. Санкт-Петербург, 2016-2019 гг.

В Санкт-Петербурге с 2016 по 2017 гг. наблюдается спад показателей заболеваемости болезнями органов дыхания, затем с 2017 по 2019 гг. отмечается прирост. Ленинградская область в 2018 и 2019 году приближается значениями к Российской Федерации. Данные первичной заболеваемости населения в Российской Федерации свидетельствуют о приросте показателей в период с 2016 по 2019 гг.

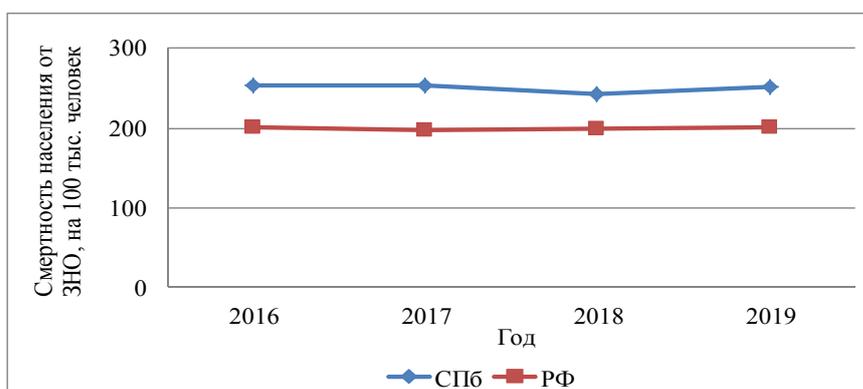


Рисунок 2.2.8 – Динамика показателей смертности населения от злокачественных новообразований в 2016-2019 гг.

В Санкт-Петербурге с 2016-2017 год смертность увеличивалась, в 2018 году уменьшилась, а в 2019 году снова увеличилась. В Российской Федерации

наблюдается незначительный прирост по годам. Санкт-Петербург находится на первом месте по смертности населения от злокачественных новообразований, нежели Российская Федерация.

По всем категориям болезней Санкт-Петербург лидирует в России количеством заболевших среди детского и взрослого населения. Связано это с тем, что в северной столице тяжёлый для здоровья климат. Однако это не объясняет, почему заболеваемость в Санкт-Петербурге выше, чем в Ленинградской области. Такая статистика может объясняться высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха в мегаполисе и высоким темпом жизни, связанным с психологическими стрессами.

2.3 Источники загрязнения атмосферного воздуха в г. Санкт-Петербурге

Анализ загрязнения воздуха является одной из самых сложных задач, поскольку воздух является подвижной системой, состав которой постоянно меняется, а одна проба может содержать десятки и сотни органических и неорганических соединений.

По особенностям строения и воздействия различают следующие виды антропогенных загрязнителей:

- 1) механические – выбросы цементных заводов, дым, сажа и др.;
- 2) химические – газообразные вещества, что способны вступать в реакции с компонентами воздуха, например CO, CO₂, SO₂, NO_x [7].

В антропогенном загрязнении атмосферы наиболее значительную роль играют производственные и бытовые процессы. Основными источниками антропогенного загрязнения атмосферы Санкт-Петербурга выступают: объекты теплоэнергетики, промышленные предприятия, автотранспорт и строительные площадки [7].

Плотность выбросов на душу населения 134,9 кг в год, на км² 434,5 т. 85,9% всех выбросов дает транспорт. Выбросы автотранспорта опасны, поскольку происходят в непосредственной близости от тротуаров в зоне активного пешеходного движения [8].

Следует отметить, что в Санкт-Петербурге, концентрация вредных веществ от выбросов находится в допустимых пределах, признанными в РФ. Однако ПДК превышена по диоксиду азота и *бензолу*, если рассматривать нормативы Евросоюза. *Бензол* является сильным канцерогеном, в частности, вызывает онкологию и патологии плода. В связи с этим, можно сделать вывод, что выбросы вредных веществ в атмосферу требуют грамотного подхода и тщательного контроля для сохранения здоровья населения.

Почти 90% от общего объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками в Санкт-Петербурге создают предприятия тепловой энергетики, черной металлургии, угольной, цементной промышленности. В разрезе отраслей экономики наибольшая доля выбросов загрязняющих веществ – 41,3 % приходится на электроэнергетику, газу, воде, в частности, мощные теплоэлектростанции (ТЭС), которые работают на низкосортном, пылевидном сжигании топлива, в воздух выбрасываются газообразные продукты [8].

2.4 Характеристика стационарных источников выбросов и их влияние на атмосферу

При анализе процессов загрязнения атмосферы г. Санкт-Петербурга довольно существенным является различие между загрязнениями, произведенными стационарными и мобильными источниками. В результате деятельности предприятий г. Санкт-Петербурга в воздух выбрасывается более 60 видов загрязнителей, среди которых кроме *взвешенных веществ*, есть жидкости и газообразные соединения, проблема идентификации уровня которых до сих пор является нерешенной.

Общий объем выбросов в атмосферный воздух города осуществляется более 7 000 стационарными источниками загрязнения, из которых 6 200 (89%) – организованы. На долю 8 крупнейших предприятий города, выбросы, в атмосферу которых превышают 1000 т за год, приходится около 97,5% от общего объема выбросов предприятий в атмосферу [8].

В Санкт-Петербурге ежегодно власти находят не меньше 1 000 незаконных свалок разных масштабов. Именно рядом с нашим городом находится один из самых опасных полигонов с токсичными отходами «Красный бор» размером в 100 футбольных полей и глубиной с семиэтажный дом. На прием он уже закрыт, но как его рекультивировать (и возможно ли вообще это сделать), до сих пор неизвестно. Загрязняют среду заводы, объекты энергетики и электростанции. Все эти предприятия сжигают ископаемое топливо – это насыщает атмосферу *фенолом*, *пылью* и др. веществами [8].

Согласно данным статистики, за последние годы общий объем выбросов имеет тенденцию к сокращению. Этому способствовало изменение структуры автотранспортного потока: количество большегрузных автотранспортных средств уменьшилось в городской зоне. Транзитные потоки были выведены на объездные автодороги. [8].

В целом экологическая ситуация в г. Санкт-Петербурге сложна тем, что выбросы в атмосферу осуществляются неравномерно и преимущественно – в промышленных зонах с большой концентрацией предприятий металлургической, машиностроительной, химической и других отраслей промышленности.

2.5 Характеристика передвижных источников и их влияние на атмосферу

Как правило, с увеличением размера города доля мобильных источников загрязнения (в основном автотранспорта) в общем загрязнении атмосферы растет, достигая 60 и даже 70% [8].

В отличие от стационарных источников, загрязнение воздушного бассейна автотранспортом происходит на небольшой высоте и практически всегда имеет локальный характер. Концентрации загрязнений, производимых автомобильным транспортом, быстро уменьшаются по мере отдаления от транспортной магистрали, а при наличии высоких препятствий (например, в закрытых дворах домов) могут снижаться более чем в 10 раз.

Автомобильный транспорт представляет собой основной источник загрязнения воздушной среды г. Санкт-Петербург. Потребляя атмосферный кислород, он выбрасывает в воздушную среду продукты окисления топлива, ухудшая качество атмосферного воздуха [3].

Среди них следует выделить соединения тяжелых металлов и некоторые углеводороды, особенно бенз(а)пирен, что обладает выраженным канцерогенным эффектом.

Одним из основных факторов, который влияет на уровень загрязнения атмосферного воздуха, является качество горючего. Доля выбросов загрязняющих веществ от использования бензина в общих объемах выбросов в 2020 году в Санкт-Петербурге составила 67,7%. А самым приемлемым с экологической точки зрения видом топлива является сжатый газ [3].

Среди передвижных источников, которые больше всего загрязняют атмосферный воздух в Санкт-Петербурге, наибольший процент занимает автотранспорт [3].

2.6 Характеристика выбрасываемых веществ

При анализе структуры выбросов от передвижных и стационарных источников приоритетным направлением всех профилактических и природоохранных мероприятий является здоровье населения. Оно относится к системообразующим факторам общественно экономической политики государства. Научно-технический прогресс формирует новую окружающую среду. Характер воздействия на организм вредных выбросов остается не до конца выясненным, что является преградой во время решения вопросов управления, которые связаны с разработкой современных методов государственной оценки факторов окружающей среды.

Среднегодовые концентрации фенола, бензола и толуола значительно увеличились, *взвешенных веществ, бенз(а)пирена, суммы ксилолов и этилбензола* – снизились, а *формальдегида* – не изменились за период с 2018 по 2020 г. [5].

Согласно результатам гигиенического мониторинга атмосферного воздуха установлено, что основная часть превышений гигиенических нормативов (в 65% случаев), оказывающих влияние на загрязнение, была зарегистрирована в центральной части города: Адмиралтейском, Василеостровском и Центральном районах. Приоритетными загрязнителями атмосферного воздуха в исследуемых районах явились: бенз(а)пирен, и взвешенные вещества. Известно, что критическими органами (системами) при хроническом ингаляционном воздействии загрязнителями атмосферного воздуха являются органы дыхания.

Расчетные значения канцерогенного риска указывают на отсутствие или наличие проблем со здоровьем населения, а также на приоритетность тех или иных загрязняющих веществ, обладающих канцерогенными свойствами.

В связи с большим вкладом *формальдегида* в канцерогенный риск для здоровья населения города следует отметить, что это вещество не только обладает существенными канцерогенными свойствами, но и является сильным токсикантом (поражает центральную нервную систему, печень, почки и желудочно – кишечный тракт) [5].

Источники *формальдегида* – это транспорт и промышленные предприятия. Вдыхание воздуха, загрязненного формальдегидом поражает органы дыхания и приводит к развитию сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний.

3 Оценка экспозиции

Оценка экспозиции – является третьим этапом оценки риска здоровья, на котором проводится оценка воздействия ЗВ на разные группы населения. Экспозиция зависит от концентраций ЗВ в атмосферном воздухе, их класса опасности. Как было указано выше, для анализа канцерогенного риска здоровью были задействованы данные по концентрациям ЗВ разных классов опасности: взвешенные вещества – 3 класс, бензол – 2 класс, этилбензол – 3 класс, формальдегид – 2 класс, бенз(а)пирен – 1 класс, фенол – 2 класс, ксилол – 3 класс, толуол – 3 класс.

Кроме того, экспозиция зависит от времени и частоты воздействия ЗВ на экспонируемую популяцию. Использованные параметры для расчета дозы: концентрация вещества в атмосферном воздухе, скорость поступления атмосферного воздуха в организм, число дней в году, когда происходит воздействие исследуемого компонента окружающей среды на индивидуума.

Так же в работе учитывались физиологические характеристики исследуемых групп: детей и взрослого населения. Согласно принятым данным, масса детей принимается равной 15 кг, а масса взрослого населения 70 кг. Учтён и разный объём лёгких у данных групп населения.

Оценка экспозиции (воздействия), проводилась за имеющийся период наблюдений 2016-2021 гг. в Санкт-Петербурге.

3.1 Оценка многолетней динамики значений концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе СПб

Для анализа оценки загрязнения атмосферного воздуха были построены графики, где представлена многолетняя динамика изменений значений концентраций загрязняющих веществ.

Анализ многолетней динамики концентраций взвешенных веществ с 2016 по 2021 гг., представленный на рисунке 3.1.1 показал, что превышения ПДК взвешенных веществ отмечается в 2021 г., превышает на $0,5 \text{ мг/м}^3$. Самая низкая концентрация отмечается в 2019 г. и составляет $0,5 \text{ мг/м}^3$.

Анализ многолетний динамики концентраций бензола за период с 2016 по 2021 гг. показал, что наибольшее значение концентрации бензола было зафиксировано в 2016 г. и составило $0,2\text{мг/м}^3$. С 2017 по 2021 гг. изменения не наблюдались (рисунок 3.1.2).

Анализ многолетний динамики концентраций этилбензола за период с 2016 по 2021 гг. показал, что в 2016, 2020, 2021 гг. концентрации составили 1мг/м^3 . Также в период с 2017-2019 изменения не прослеживалось (рисунок 3.1.3).

Анализ многолетний динамики концентраций формальдегида за период с 2016 по 2021 гг. показал, что с 2016 по 2019 гг. изменений концентрации не наблюдалось, что составляет $0,6\text{мг/м}^3$. В 2020 г. концентрация уменьшилась вдвое, которая равна $0,3\text{мг/м}^3$. Далее 2021 г. концентрация и составила $0,7\text{мг/м}^3$ (рисунок 3.1.4).

Анализ многолетний динамики концентраций бенз(а)пирена за период с 2016 по 2021 гг. показал, что с 2016 по 2017 гг. и 2019 по 2020 гг. изменения не наблюдалось, концентрация в эти периоды составила $0,3\text{ мг/м}^3$. В 2018 г. увеличилась концентрация бенз(а)пирена, равная $0,4\text{мг/м}^3$. Наименьшая концентрация выявлена в 2021 г., которая составила $0,2\text{мг/м}^3$ (рисунок 3.1.5).

Анализ многолетний динамики концентраций фенола за период с 2016 по 2021 гг. показал, что в 2018 г. отмечалась самая высокая концентрация, которая равна $0,3\text{ мг/м}^3$. Самые наименьшие концентрации выявлены в 2020 г. и 2021 г. и составила $0,1\text{ мг/м}^3$. В 2016 г., 2017 г., 2019 г. концентрации без изменений (рисунок 3.1.6).

Анализ многолетний динамики концентраций ксилола за период с 2016 по 2021 гг. показал, что наибольшее значение концентрации было зафиксировано в 2020 г. и 2021 г. и составило $0,3\text{ мг/м}^3$. С 2017 по 2019 гг. изменения не наблюдались, концентрация была равна $0,1\text{ мг/м}^3$. В 2016 г. концентрация составила $0,2\text{ мг/м}^3$ (рисунок 3.1.7).

Анализ многолетней динамики концентраций толуола за период с 2016 по 2021 гг. показал, что с 2016 по 2021 гг. концентрация не изменялась и составляла $0,1 \text{ мг/м}^3$ (рисунок 3.1.8).

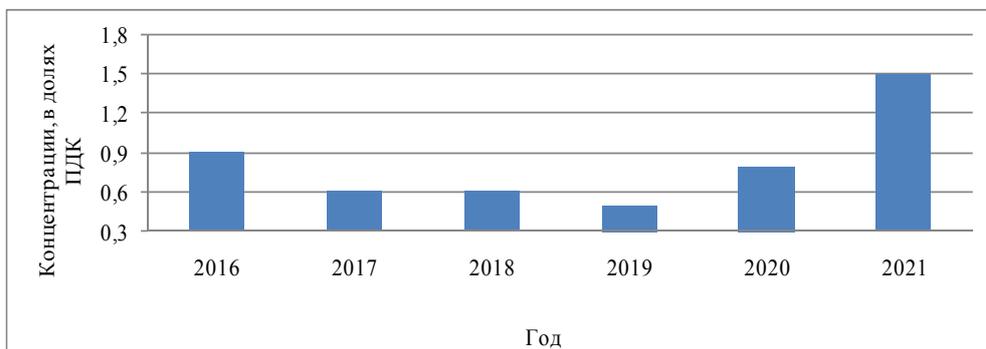


Рисунок 3.1.1 – График изменений значений концентраций взвешенных веществ в атмосферном воздухе. Санкт-Петербург, 2016 по 2021 гг.

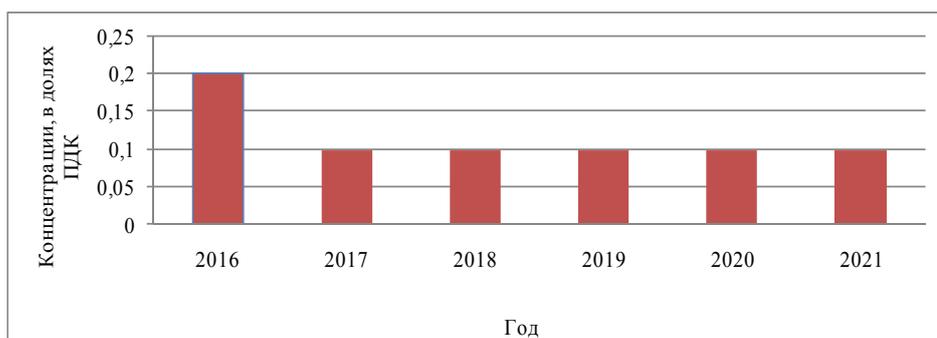


Рисунок 3.1.2 – График изменений значений концентраций бензола в атмосферном воздухе. Санкт-Петербург, 2016 по 2021 гг.

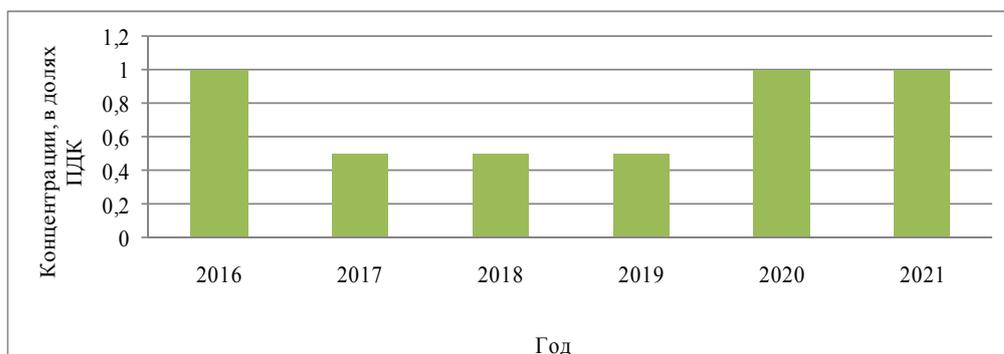


Рисунок 3.1.3 – График изменений значений концентраций этилбензола в атмосферном воздухе. Санкт-Петербург, 2016 по 2021 гг.

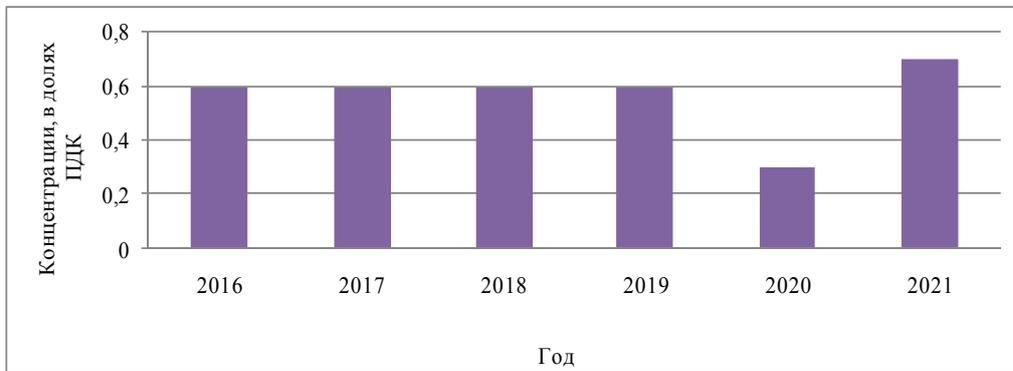


Рисунок 3.1.4 – График изменений значений концентраций формальдегида в атмосферном воздухе. Санкт-Петербург, 2016 по 2021 гг.

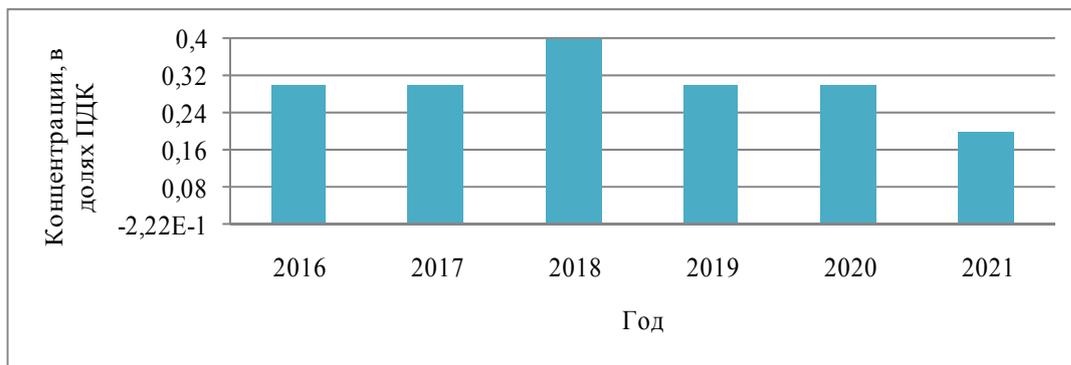


Рисунок 3.1.5 – График изменений значений концентраций бенз(а)пирена в атмосферном воздухе. Санкт-Петербург, 2016 по 2021 гг.

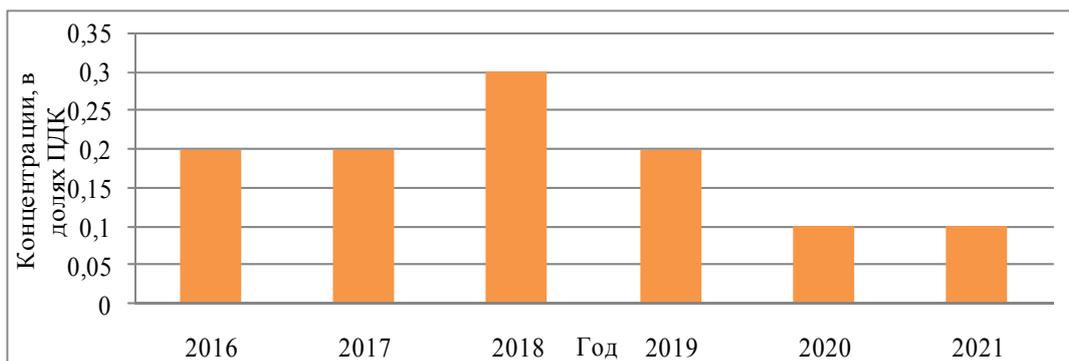


Рисунок 3.1.6 – График изменений значений концентраций фенола в атмосферном воздухе. Санкт-Петербург, 2016 по 2021 гг.

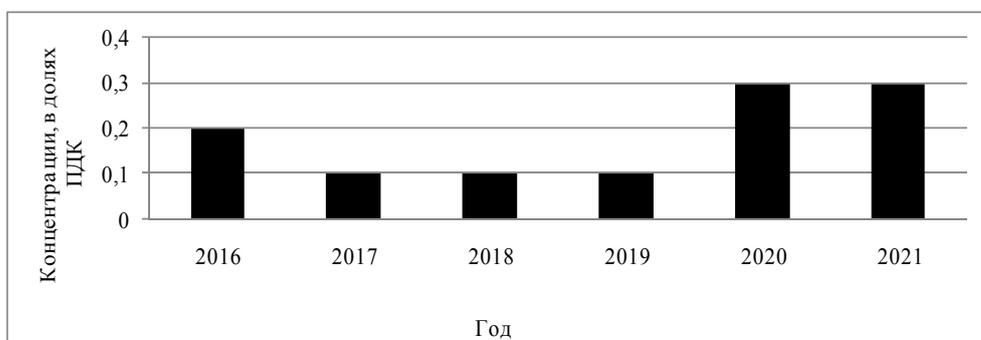


Рисунок 3.1.7 – График изменений значений концентраций ксилола в атмосферном воздухе. Санкт-Петербург, 2016 по 2021 гг.

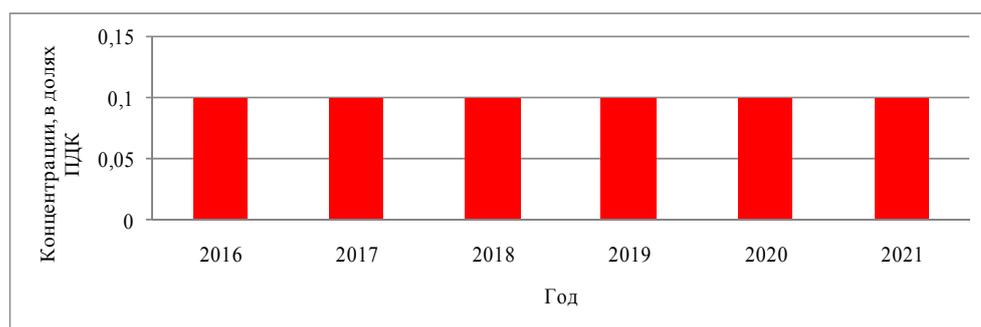


Рисунок 3.1.8 – График изменений значений концентраций толуола в атмосферном воздухе. Санкт-Петербург, 2016 по 2021 гг.

3.2 Оценка внутригодовой динамики концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе за 2021 год

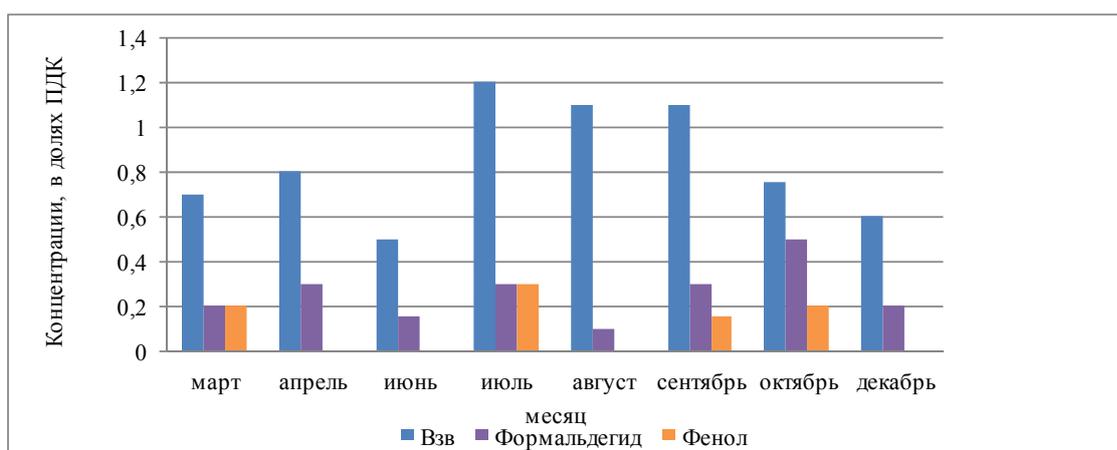


Рисунок 3.2.1 – Динамика средних концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Санкт-Петербург, 2021 г.

В марте 2021 года концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе составляли взвешенные вещества (0,7), фенол и формальдегид (0,2), соответственно равны. В апреле концентрация взвешенных веществ увеличилась и составила (0,8), как и формальдегида (0,3). В июне концентрация взвешенных веществ снизилась (0,5), также произошло с формальдегидом, концентрация снизилась вдвое (0,15). В июле отмечалось превышение ПДК (1,2), формальдегид и фенол оказались равны (0,3). В августе зафиксировано превышение по взвешенным веществам (1,1), концентрация формальдегида уменьшилась (0,1). В сентябре превышение концентрации взвешенных веществ не изменилась с августа (1,1), концентрация формальдегида увеличилась (0,3), а концентрация фенола в сравнении с июлем вдвое уменьшилась (0,15). В октябре концентрация взвешенных веществ уменьшается (0,75), концентрация формальдегида возрастает (0,5), как и фенола (0,2). В декабре концентрация взвешенных веществ уменьшается, по сравнению с октябрем (0,6), как и формальдегид (0,2).

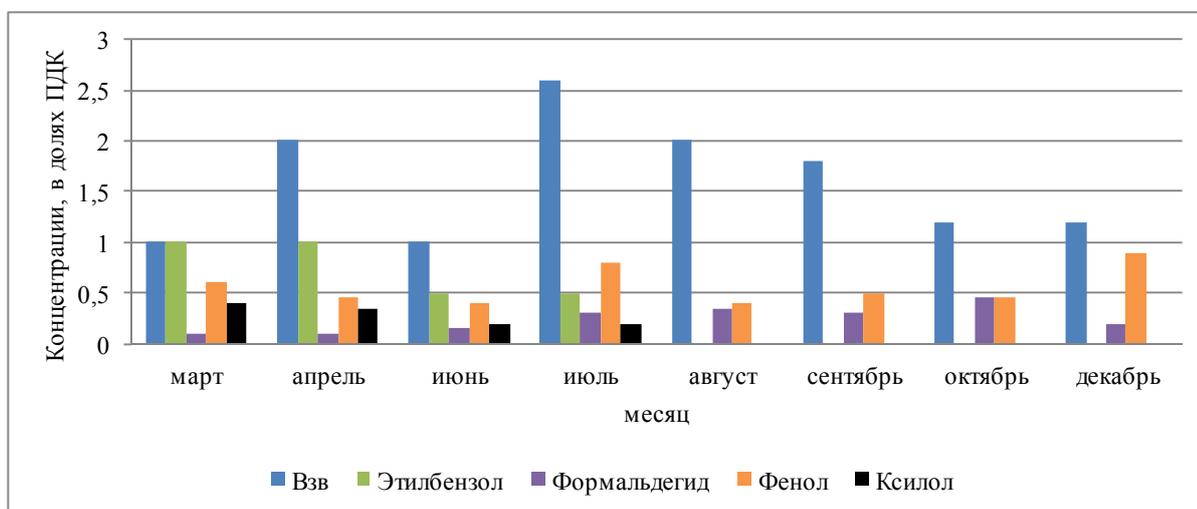


Рисунок 3.2.2 – Динамика максимальных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Санкт-Петербург, 2021 г.

В марте концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе соответствовали значениям взвешенные вещества (1), что находится в границе

превышения, формальдегид (0,1), фенол (0,6). В апреле отмечалась превышение концентраций у взвешенных веществ (2), концентрация формальдегида (0,1) без изменений, концентрация фенола (0,45) снизилась. В июне концентрация взвешенных веществ (1) снизилась, но еще находилась в границе превышения, концентрация формальдегида (0,15) возрастает, концентрация фенола (0,4) снижается. В июле отмечается превышение концентрации взвешенных веществ (2,6), концентрация этилбензола (1) находится в границе превышения, концентрация формальдегида возрастает (0,3) в два раза, по сравнению, с июнем, соответственно, как и фенол (0,8), концентрация ксилола составляет (0,4). В августе концентрация взвешенных веществ (2) уменьшается, но еще является превышающей, концентрация этилбензола (1) без изменений, концентрация формальдегида (0,35) увеличивается, а концентрация фенола (0,4) вдвое уменьшается, в сравнении с июлем, концентрация ксилола уменьшается (0,35). В сентябре концентрация взвешенных веществ (1,8) по-прежнему является превышающей, концентрация этилбензола (0,5) уменьшается вдвое, концентрация формальдегида (0,3) уменьшается, концентрация фенола (0,5) увеличивается, концентрация ксилола (0,2) уменьшается. В октябре наблюдается снижение концентрации взвешенных веществ (1,2), концентрация этилбензола (0,5) без изменений, концентрация формальдегида (0,45) возрастает и за год в этом месяце отмечается максимальной, концентрация фенола (0,45) снижается, концентрация ксилола (0,2) без изменений. В декабре концентрация взвешенных веществ (1,2) не изменилась, концентрация формальдегида (0,2) снизилась, концентрация фенола (0,9) увеличилась вдвое, в сравнении с октябрём.

4 Оценка зависимости «доза - ответ» и характеристика опасности

4.1 Индивидуальный канцерогенный риск

Индивидуальный риск – вероятность поражения отдельного индивидуума в результате воздействия неблагоприятных факторов[9].

В данной работе расчет индивидуального канцерогенного риска для каждого канцерогенного вещества, поступающего в организм человека производился на основе годовых концентраций восьми загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Санкт-Петербурга: взвешенные вещества, бензол, этилбензол, формальдегид, бенз(а)пирен, фенол, ксилол и толуол.

Формула 4.1.1 для расчета индивидуального канцерогенного риска:

$$CR = LADD \times SF \quad (4.1.1)$$

где, LADD – среднесуточная доза в течение жизни, мг/(кг×день);

SF – фактор наклона, (мг/ (кг×день))⁻¹[10].

Для расчета оценки канцерогенных рисков здоровью были использованы годовые дозы (LADD), усредненные с учетом средней продолжительности жизни человека (70 лет).

Формула 4.1.2 для расчета LADD имеет следующий вид:

$$LADD = [C \times CR \times ED \times EF] / [BW \times AT \times 365] \quad (4.1.2)$$

где, LADD – среднесуточная доза в течение жизни, мг/(кг×день);

C – концентрация вещества в загрязненной среде, мг/м³;

CR – скорость поступления воздействующей среды, м³/день;

ED – продолжительность воздействия, лет;

EF – частота воздействия, дней/год;

BW – масса тела человека, кг;

AT – период усреднения экспозиции, 70 лет;

365 – число дней в году.

При характеристике риска для здоровья населения, обусловленного воздействием химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, используют классификацию уровней риска.

Первый диапазон риска (индивидуальный риск в течение всей жизни, равный или меньший 1×10^{-6} , что соответствует одному дополнительному случаю серьезного заболевания или смерти на 1 млн экспонированных лиц) характеризует такие уровни риска, которые воспринимаются всеми людьми, как пренебрежимо малые, не отличающиеся от обычных, повседневных рисков. Подобные риски не требуют дополнительных мероприятий, а только периодический контроль.

Второй диапазон риска (индивидуальный риск в течение всей жизни более 1×10^{-6} , но менее 1×10^{-4}) соответствует предельно допустимому риску, т.е. максимальный уровень приемлемого риска. Именно на этом уровне установлено большинство зарубежных и рекомендуемых международными организациями гигиенических нормативов для населения в целом (например, для питьевой воды ВОЗ в качестве допустимого риска используют величину 1×10^{-5} , для атмосферного воздуха 1×10^{-4}). Данные уровни риска в отдельных случаях могут проводиться мероприятия по их снижению.

Третий диапазон риска (индивидуальный риск в течение всей жизни более 1×10^{-4} , но менее 1×10^{-3}) приемлем для профессиональных групп и не приемлем для населения в целом. Планирование мероприятий по снижению рисков в этом случае должно основываться на результатах более углубленной оценке различных аспектов существующих проблем и установлении степени их приоритетности по отношению к другим гигиеническим, экологическим, социальным, и экономическим проблемам на данной территории.

Четвертый диапазон риска (индивидуальный риск в течение всей жизни, равный или более 1×10^{-3}) неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп. При достижении такого диапазона необходимо давать рекомендации для лиц, принимающих решения о проведении экстренных оздоровительных мероприятий по снижению риска [11].

На основе расчетов индивидуального канцерогенного риска были построены графики по девяти исследуемым постам в разных районах города, показатели по ВЗВ самые высокие и для удобства представления приведены на графиках с множителем 10^{-1} .

Адреса постов представлены в приложении А.

На рисунке 4.1.1 представлены результаты расчета индивидуального канцерогенного риска в Петроградском районе.

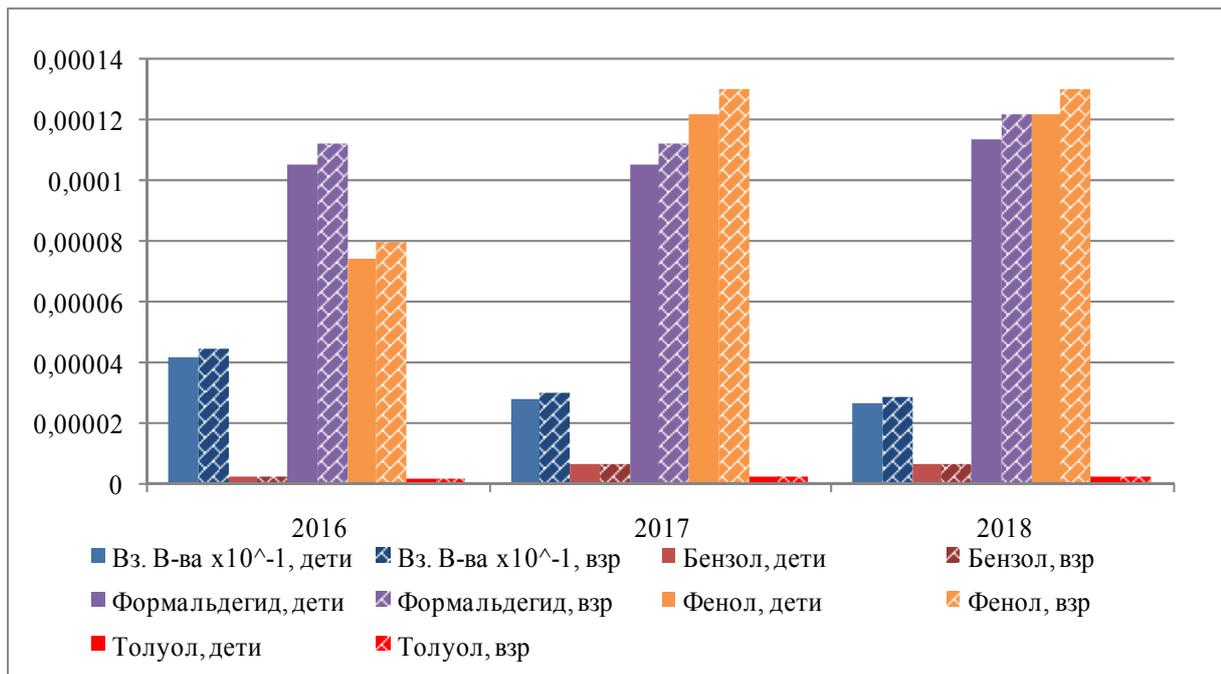


Рисунок 4.1.1 – Индивидуальный канцерогенный риск в Петроградском районе. Санкт-Петербург, 2016 по 2018 гг.

В 2016 г. наибольшие показатели индивидуального канцерогенного риска в Петроградском районе составили: формальдегид, воздействие на детское население (0,0001) и на взрослое население (0,00011). Наименьшие показатели: бензол, воздействие на детское население (0,0000021), толуол, воздействие на детское население (0,0000027).

В 2017 г. наибольшие показатели индивидуального канцерогенного риска составили: фенол, оказывающие воздействие на взрослое население (0,00013) и

на детское население (0,00012). Наименьшие показатели у толуола, оказывающие воздействие на детское население (0,0000015).

В 2018 г. наибольший и наименьший показатель без изменений.

На рисунке 4.1.2 представлены результаты расчета индивидуального канцерогенного риска во Фрунзенском районе.

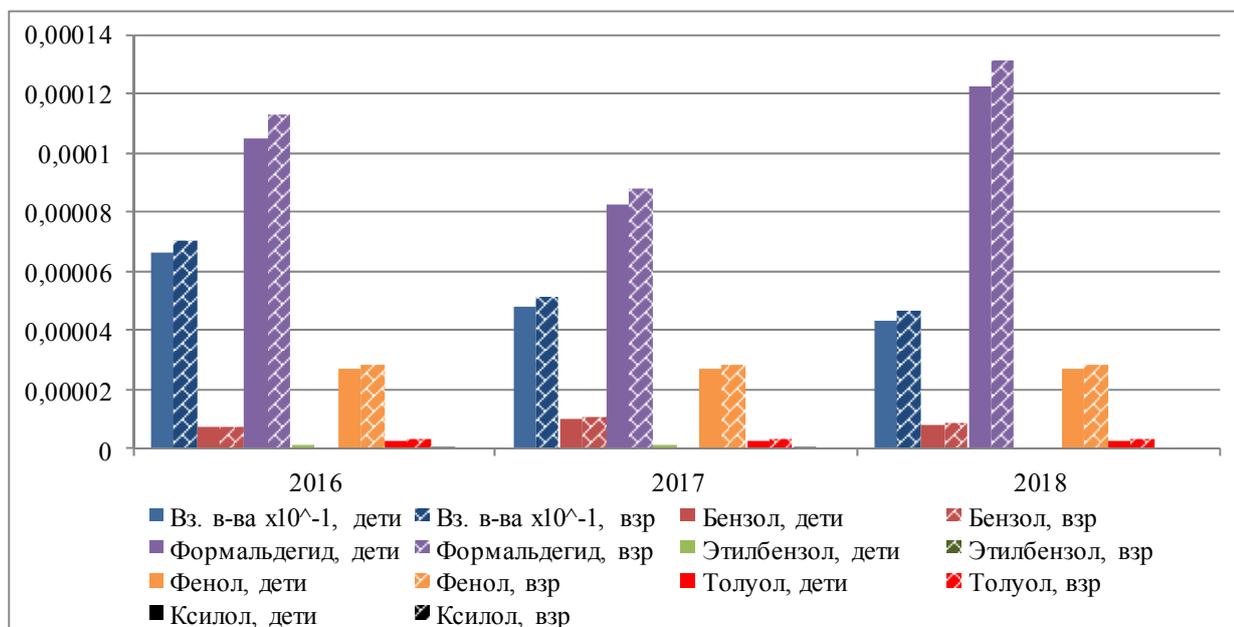


Рисунок 4.1.2 - Индивидуальный канцерогенный риск во Фрунзенском районе. Санкт-Петербург, 2016 по 2018 гг.

В 2016 г. наибольшие показатели индивидуального канцерогенного риска во Фрунзенском районе составили: формальдегид, оказывающие воздействие на взрослое (0,00011) и на детское население (0,0001), наименьшие показатели у ксилола, оказывающие влияние на взрослое (0,00000008) и на детское население (0,00000007).

В 2017 г. наибольшие показатели индивидуального канцерогенного риска составили: формальдегид, оказывающие воздействие на взрослое (0,000088) и детское население (0,000082). Наименьшие показатели у ксилола без изменений.

В 2018 г. наибольшие показатели индивидуального канцерогенного риска составили: формальдегида, оказывающие воздействие на взрослое (0,00013) и детское население (0,00012). Наименьшие показатели у толуола, оказывающие воздействие на взрослое (0,0000032) и детское население (0,000003).

На рисунке 4.1.3 представлены результаты расчета индивидуального канцерогенного риска в Калининском районе.

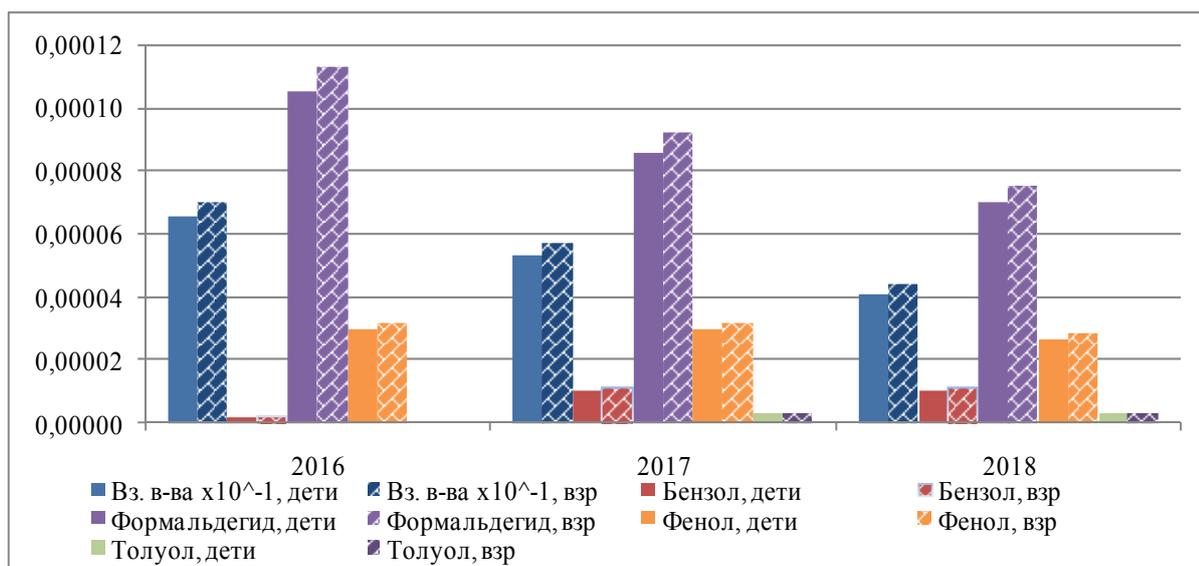


Рисунок 4.1.3 - Индивидуальный канцерогенный риск в Калининском районе. Санкт-Петербург, 2016-2018 гг.

В 2016 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенного риска в Калининском районе являлся: формальдегид, оказывающий воздействие на взрослое (0,00011) и детское население (0,0001). Наименьший показатель был бензол, оказывающий воздействие на взрослое (0,0000022) и детское население (0,000002).

В 2017 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенно риска являлся: формальдегид, оказывающие влияния на взрослое (0,00009) и детское население (0,000086). Наименьшим показателем был толуол, который

оказывает негативное воздействие на взрослое (0,000003) и детское население (0,000002).

В 2018 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенно риска являлся: формальдегид, оказывающий воздействие на взрослое (0,000075) и детское население (0,00007). Наименьшим показателем без изменений.

На рисунке 4.1.4 представлены результаты расчета индивидуального канцерогенного риска в Центральном районе (пост №6).

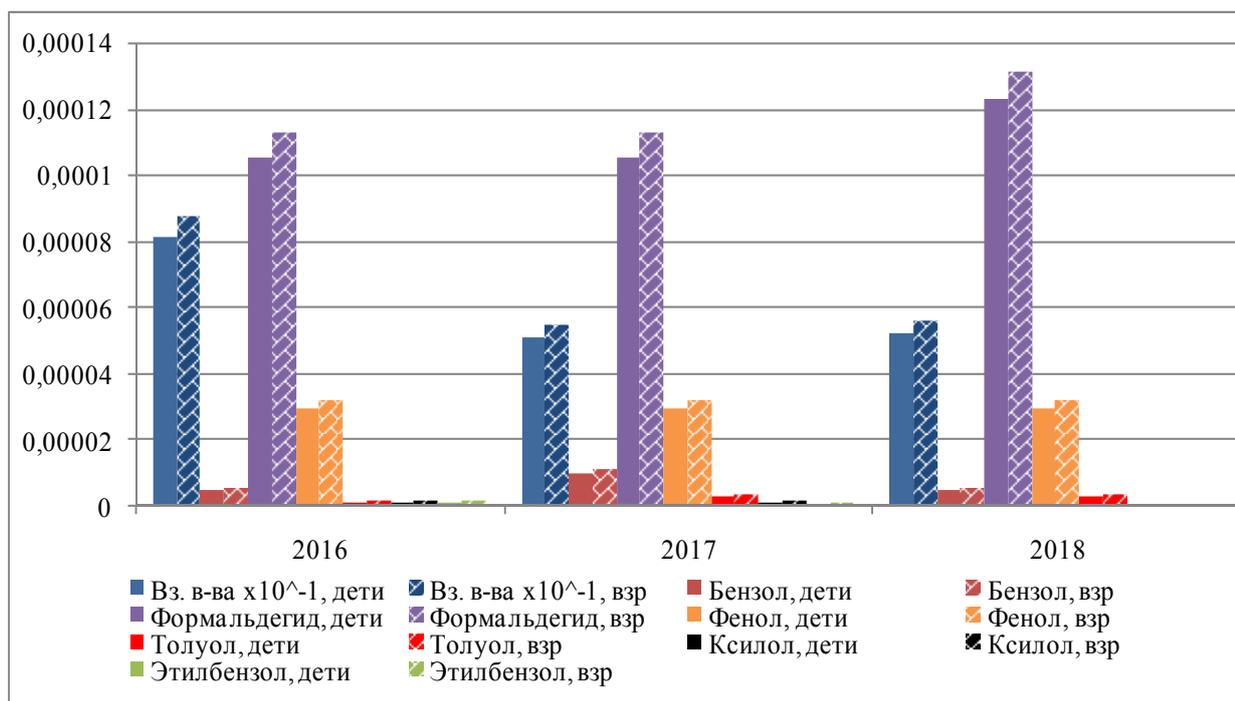


Рисунок 4.1.4 - Индивидуальный канцерогенный риск в Центральном районе (пост №6). Санкт-Петербург, 2016 по 2018 гг.

В 2016 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенного риска в Калининском районе являлся: формальдегид, оказывающий влияние на взрослое (0,00011) и детское население (0,0001). Наименьший показатель был толуол, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,0000016) и детское население (0,0000015), этилбензол, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,0000015) и детское население (0,0000014), ксилол,

оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,0000016) и детское население (0,0000015).

В 2017 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенно риска являлся: формальдегид, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,00011) и детское население (0,0001). Наименьший показатель был толуол, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,00000032) и детское население (0,0000003), этилбензол, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,00000079) и детское население (0,00000073), ксилол, оказывающий негативное влияние на взрослое (0,0000016) и детское население (0,0000015).

В 2018 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенно риска являлся: формальдегид, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,00013) и детское население (0,00011). Наименьшим показателем являлся толуол, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,0000032) и детское население (0,000003).

На рисунке 4.1.5 представлены результаты расчета индивидуального канцерогенного риска в Василеостровском районе.

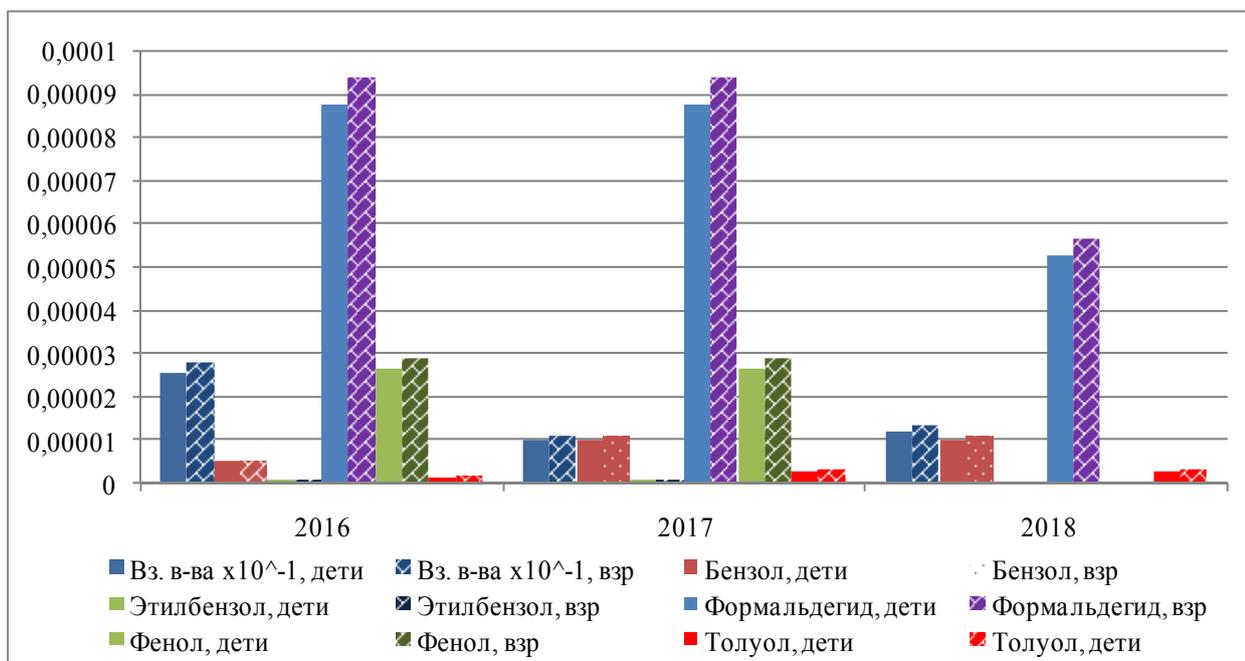


Рисунок 4.1.5 - Индивидуальный канцерогенный риск в Василеостровском районе. Санкт-Петербург, 2016 по 2018 гг.

В 2016 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенного риска в Василеостровском районе являлся: формальдегид, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,000094) и детское население (0,000088). Наименьший показатель был толуол, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,0000016) и детское население (0,0000015), этилбензол, оказывающий негативное влияние на взрослое (0,00000073) и детское население (0,00000079).

В 2017 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенно риска являлся: формальдегид, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,000094) и детское население (0,000088). Наименьший показатель был толуол, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,00000032) и детское население (0,0000003), этилбензол, оказывающий негативное влияние на взрослое (0,00000079) и детское население (0,00000073).

В 2018 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенно риска являлся: формальдегид, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,000056) и детское население (0,000053). Наименьшим показателем являлся

толуол, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,0000032) и детское население (0,000003).

На рисунке 4.1.6 представлены результаты расчета индивидуального канцерогенного риска в Московском районе.

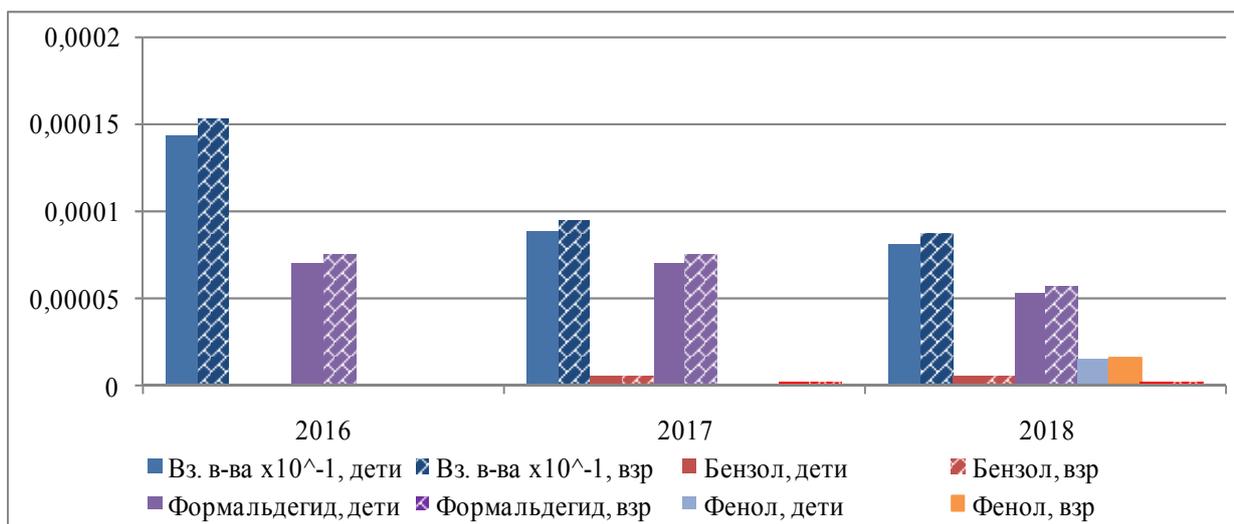


Рисунок 4.1.6 - Индивидуальный канцерогенный риск в Московском районе. Санкт-Петербург, 2016 по 2018 гг.

В 2016 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенного риска в Московском районе являлся: взвешенные вещества, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,00015) и детское население (0,00014). Наименьший показатель был формальдегид, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,000075) и детское население (0,00007).

В 2017 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенно риска являлись: взвешенные вещества, оказывающие негативное воздействие на взрослое (0,000094) и детское население (0,000088). Наименьший показатель был толуол, оказывающий негативное влияние на взрослое (0,0000016) и детское население (0,0000015).

В 2018 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенно риска являлись: взвешенные вещества, оказывающие негативное воздействие на взрослое (0,000087) и детское население (0,000081). Наименьшим показателем являлся толуол, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,0000016) и детское население (0,0000015).

На рисунке 4.1.7 представлены результаты расчета индивидуального канцерогенного риска в Центральном районе (пост №10).

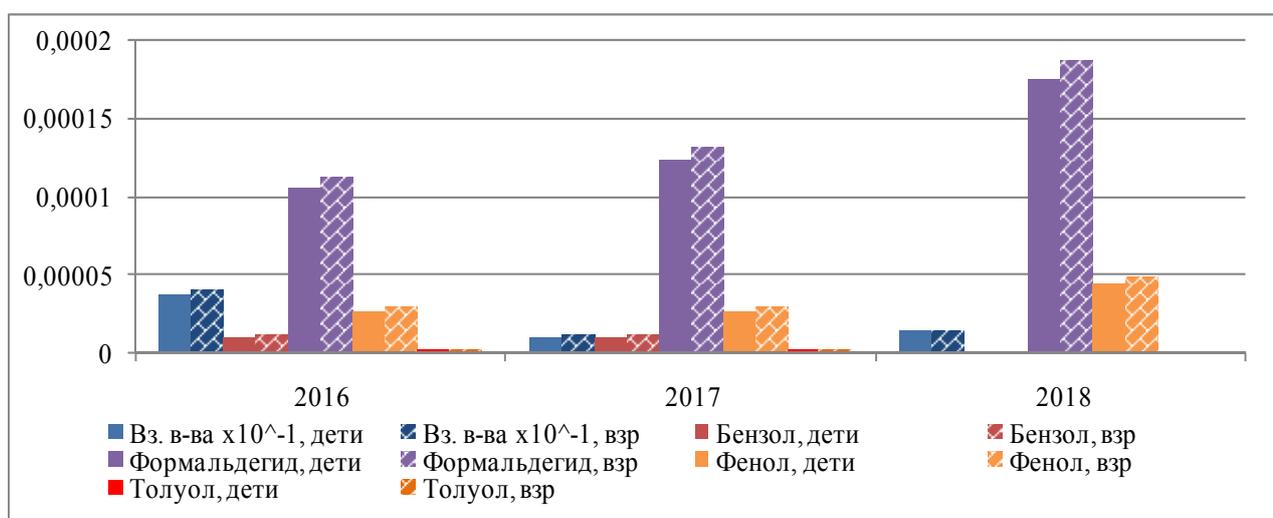


Рисунок 4.1.7 - Индивидуальный канцерогенный риск в Центральном районе (пост №10). Санкт-Петербург, 2016 по 2018 гг.

В 2016 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенного риска в Центральном районе являлся: формальдегид, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,00011) и детское население (0,0001). Наименьший показатель был толуол, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,0000016) и детское население (0,0000015).

В 2017 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенно риска являлись: формальдегид, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,00013) и детское население (0,00012). Наименьший показатель был толуол,

оказывающий негативное влияние на взрослое (0,0000016) и детское население (0,0000015).

В 2018 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенно риска являлись: взвешенные вещества, оказывающие негативное воздействие на взрослое (0,00018) и детское население (0,00017). Наименьшим показателем являлись взвешенные вещества, оказывающие негативное воздействие на взрослое (0,000014) и детское население (0,000013).

На рисунке 4.1.8 представлены результаты расчета индивидуального канцерогенного риска в Красносельском районе.

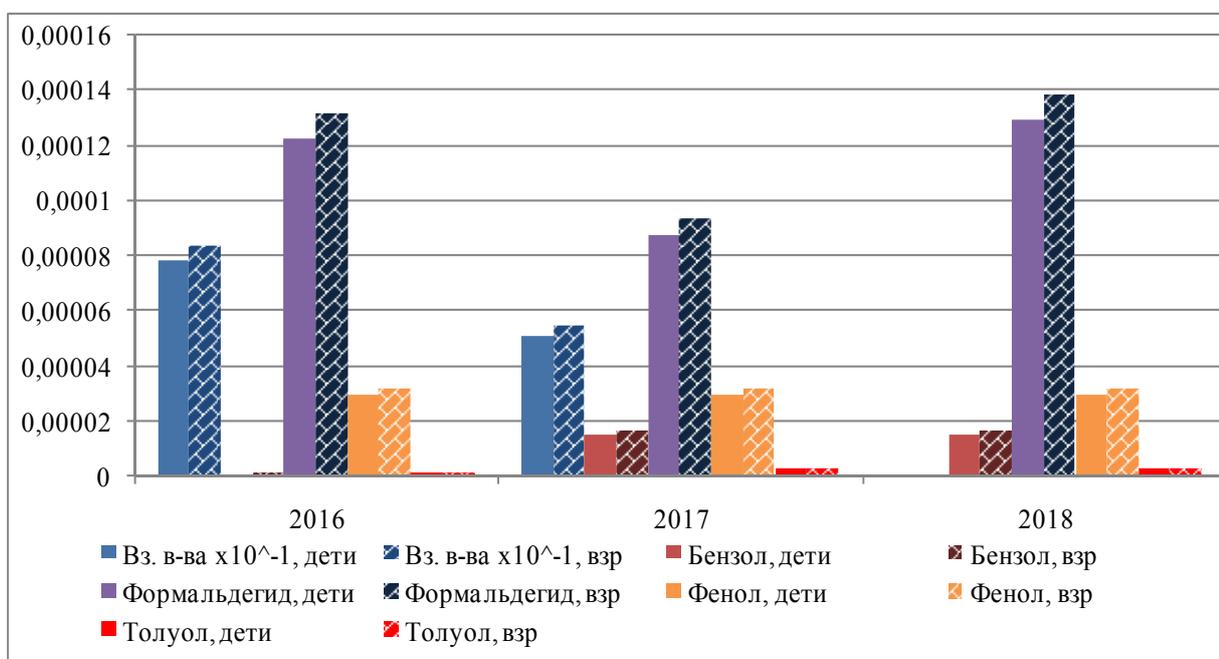


Рисунок 4.1.8 - Индивидуальный канцерогенный риск в Красносельском районе. Санкт-Петербург, 2016 по 2018 гг.

В 2016 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенного риска в Центральном районе являлся: формальдегид, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,00013) и детское население (0,00012). Наименьший

показатель был бензол, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,0000011) и детское население (0,000001).

В 2017 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенно риска являлись: формальдегид, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,000093) и детское население (0,000087). Наименьший показатель был толуол, оказывающий негативное влияние на взрослое (0,0000032) и детское население (0,000003).

В 2018 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенно риска являлись: взвешенные вещества, оказывающие негативное воздействие на взрослое (0,000138) и детское население (0,000129). Наименьшим показателем являлся толуол, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,0000032) и детское население (0,000003).

На рисунке 4.1.9 представлены результаты расчета индивидуального канцерогенного риска в Красногвардейском районе.

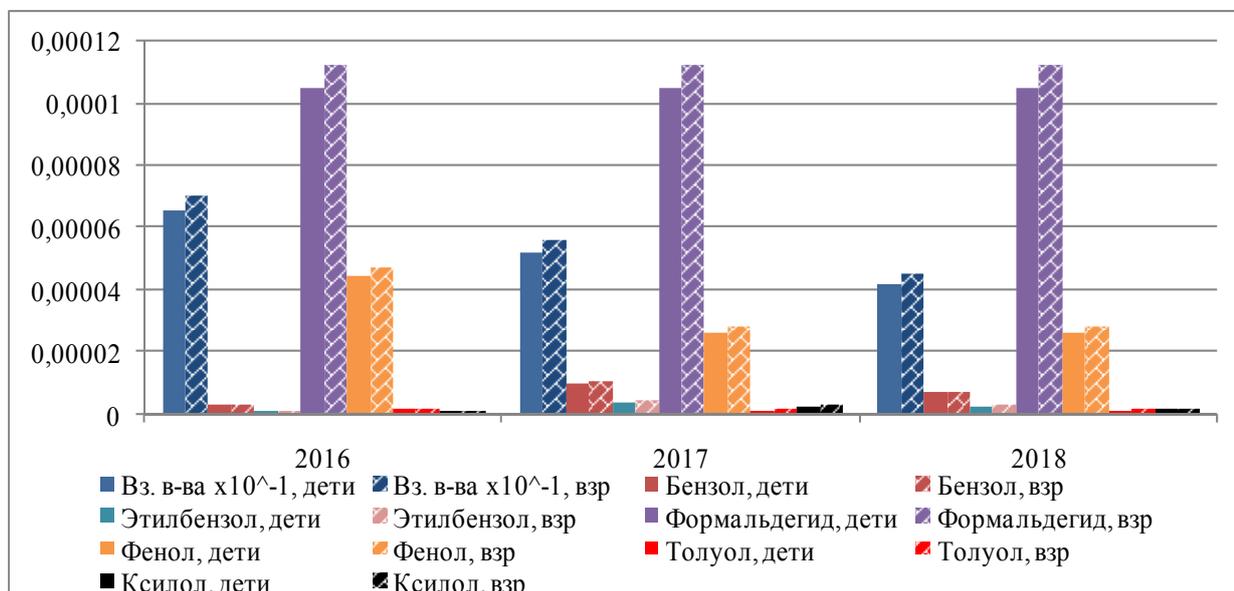


Рисунок 4.1.9 - Индивидуальный канцерогенный риск в Красногвардейском районе. Санкт-Петербург, 2016 по 2018 гг.

В 2016 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенного риска в Центральном районе являлся: формальдегид, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,0001) и детское население (0,0001). Наименьший показатель был этилбензол, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,0000011) и детское население (0,000001).

В 2017 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенно риска являлись: формальдегид, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,00011) и детское население (0,0001). Наименьший показатель был толуол, оказывающий негативное влияние на взрослое (0,0000024) и детское население (0,0000011).

В 2018 г. наибольшим показателем индивидуального канцерогенно риска являлись: взвешенные вещества, оказывающие негативное воздействие на взрослое (0,00011) и детское население (0,0001). Наименьшим показателем являлся толуол, оказывающий негативное воздействие на взрослое (0,0000024) и детское население (0,0000011).

При воздействии нескольких канцерогенов суммарный канцерогенный риск для данного пути поступления (перорального или ингаляционного) рассчитывается по формуле 4.1.3:

$$CR_T = \sum CR_j \quad (4.1.3)$$

где, CR_T — общий канцерогенный риск для пути поступления T ;

CR_j —канцерогенный риск для j -го канцерогенного вещества[12].

Расчет суммарного канцерогенного риска производился в период 2016-2021 годов по г. Санкт-Петербургу.

Из графика 4.1.10 видно, что с 2016 по 2018 гг. суммарный канцерогенный риск снижался, с 2019 г. начал возрастать и составило: (0,00008 или 8×10^{-5}), что соответствует второму диапазону риска (индивидуальный риск в течение всей жизни $1 \times 10^{-6} < CR_T < 1 \times 10^{-4}$) соответствует предельно допустимому риску. В 2020 г. суммарный

канцерогенный риск составил ($0,00013$ или 13×10^{-5}), также соответствует второму диапазону риска. В 2021 г. суммарный канцерогенный риск ($0,00021$ или 21×10^{-5}) находится в третьем диапазоне риска (индивидуальный риск в течение всей жизни $1 \times 10^{-4} < CR_T < 1 \times 10^{-3}$) приемлем для профессиональных групп и не приемлем для населения в целом.

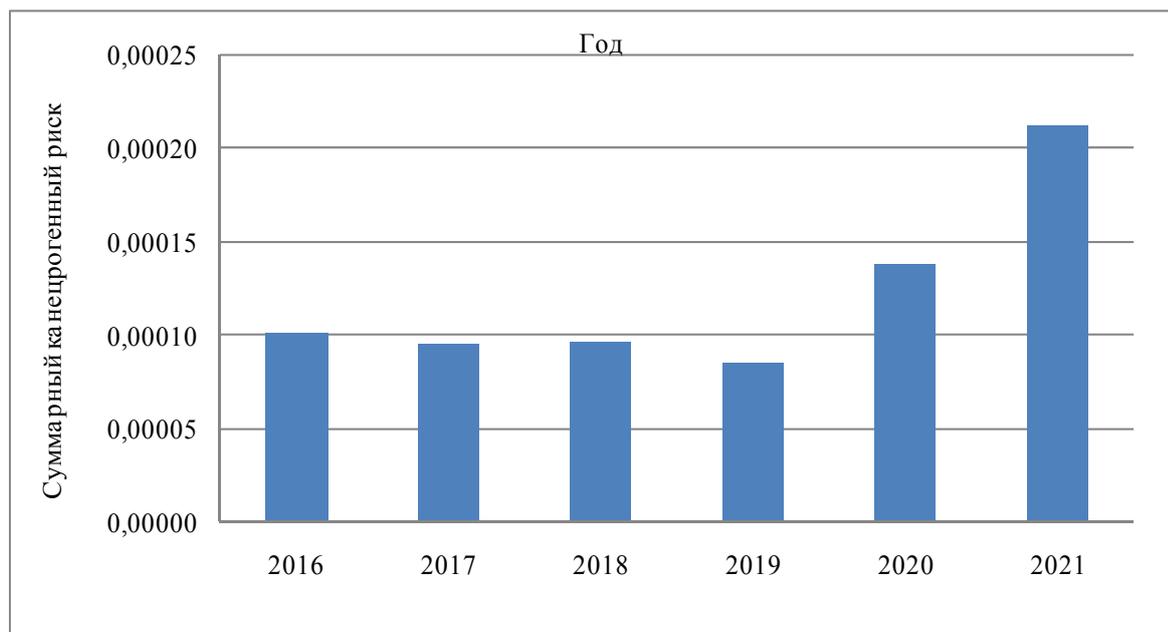


Рисунок 4.1.10 – Суммарный канцерогенный риск. Санкт-Петербург, 2016 по 2021 гг.

4.2 Популяционный канцерогенный риск

Определение величин популяционных канцерогенных рисков (PCR), отражающих дополнительное к фоновому число случаев злокачественных новообразований, способных возникнуть на протяжении жизни вследствие воздействия исследуемого фактора, проводится по формуле 4.2:

$$PCR = CR \times POP \quad (4.2)$$

где, CR – индивидуальный канцерогенный риск;

POP – численность исследуемой популяции, чел[13].

На основе расчетов индивидуального канцерогенного риска был рассчитан популяционный канцерогенный риск в Санкт-Петербурге в период 2016 по 2021 гг.

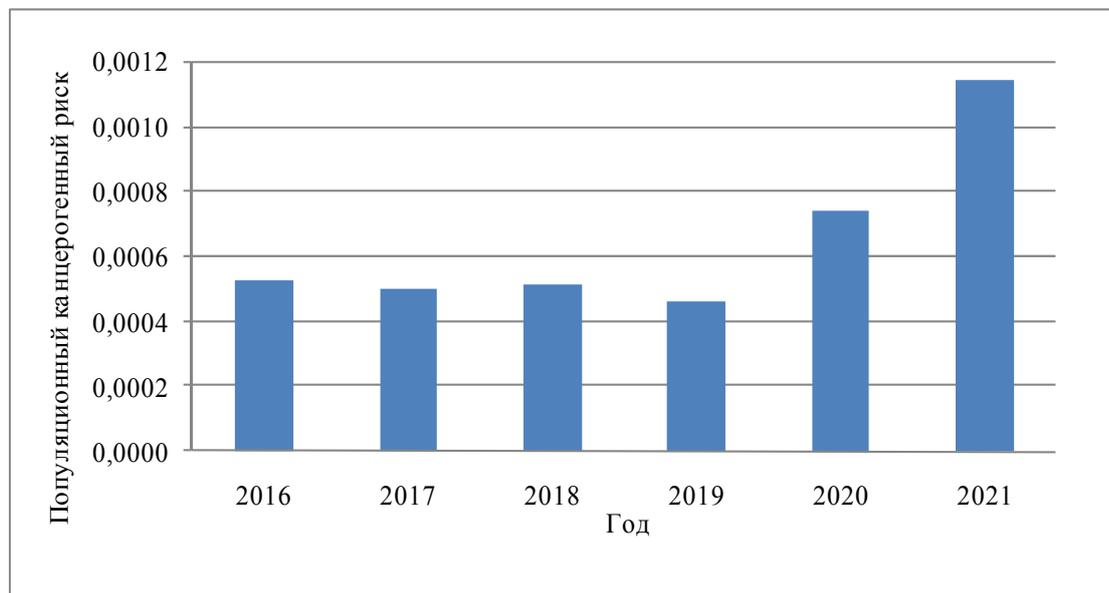


Рисунок 4.2 - Популяционный канцерогенный риск для населения г. Санкт-Петербург, 2016 по 2021 гг.

С 2016 по 2019 гг. на популяцию оказывается равное канцерогенное воздействие (0,0005 или 5×10^{-4}), что соответствует третьему диапазону риска (индивидуальный риск в течение всей жизни $1 \times 10^{-4} < CR < 1 \times 10^{-3}$) приемлем для профессиональных групп и не приемлем для населения в целом.

В 2020 г. популяционный риск (0,0007 или 7×10^{-4}) что соответствует третьему диапазону риска (индивидуальный риск в течение всей жизни $1 \times 10^{-4} < CR < 1 \times 10^{-3}$) приемлем для профессиональных групп и не приемлем для населения в целом.

В 2021 г. популяционный канцерогенный риск (0,0011 или 11×10^{-4}) соответствует четвертому диапазону риска (индивидуальный риск в течение всей жизни, равный или более 1×10^{-3}) неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп.

4.3 Хронический канцерогенный риск

Хронический канцерогенный риск – вероятность возникновения неблагоприятных последствий для организма человека при длительном (хроническом) воздействии [14].

Расчет хронического риска в работе проводился в соответствии с уравнением

$$\text{Risk} = 1 - \exp\left(\frac{\ln(0,84)}{\text{ПДК} \times K_3}\right) \times C \times t^n \quad (4.3)$$

где, ПДКс.с. – предельно допустимая среднесуточная концентрация;

K_3 – коэффициент запаса, определяемый в зависимости от класса опасности вещества: 1 класс – 7,5; 2 класс – 6,0; 3 класс – 4,5; 4 класс – 3,0;

C – концентрация вещества;

t – отношение длительности воздействия загрязнения в годах к средней продолжительности жизни человека (70 лет)

n – коэффициент, определяемый в зависимости от класса опасности вещества: 1 класс – 2,4; 2 класс – 1,31; 3 класс – 1,0; 4 класс – 0,86 [15].

В приложении Б представлен график индивидуального хронического риска, рассчитанный в период 2016 по 2021 гг., г. Санкт-Петербург.

По рисунку можно сделать вывод, что максимальные значения хронического риска составляет у вещества: бенз(а)пирен (0,02; 0,03; 0,031).

Средние значения хронического риска составляет у веществ: бензола (0,011), этилбензола (0,011). Наименьшие значения хронического риска составляет у веществ: толуола (0,0011), формальдегида (0,00011).

5 Характеристика риска

Характеристика риска подразумевает: анализ всех полученных данных, расчет рисков для популяции и ее отдельных подгрупп, сравнение рисков с допустимыми (приемлемыми) уровнями, сравнительная оценка и ранжирование различных рисков по степени их статистической, социальной значимости, установление медицинских приоритетов и тех рисков, которые должны быть предотвращены или снижены до приемлемого уровня [16].

Характеристика риска является завершающим этапом, где проводится анализ результатов, которые получены на предыдущих четырех этапах и даются рекомендации, основанные на конечных выводах.

Индивидуальный канцерогенный риск рассчитывался по семи веществам, оказывающие негативное воздействие на взрослое и детское население: взвешенные вещества, бензол, этилбензол, формальдегид, фенол, толуол, ксилол в период 2016-2018 год на девяти постах (районах) г. Санкт-Петербург.

Петроградский район (пост №1). Из полученных результатов наибольшее значение индивидуального канцерогенного риска наблюдается у вещества: формальдегида - 0,00011, наименьшее значение у толуола – 0,0000015. Среднее значение, например, у взвешенных веществ – 0,000044. Учитывая вышесказанное можно сделать вывод, что наибольшее значение находится в третьем диапазоне риска, приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения. Наименьшее значение находится во втором диапазоне, что соответствует верхней границе приемлемого риска. Среднее значение также находится во втором диапазоне риска.

Фрунзенский район (пост №2). Из полученных результатов наибольшее значение индивидуального канцерогенного риска наблюдается у вещества: формальдегида – 0,00013, наименьшее значение у ксилола – 0,0000008. Среднее значение, например, у взвешенного вещества – 0,00005. Принимая во внимание вышесказанное наибольшее значение, находится в третьем диапазоне риска, приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения.

Наименьшее значение располагается во втором диапазоне, что соответствует верхней границе приемлемого риска. Среднее значение также находится во втором диапазоне риска.

Калининский район (пост №4). С приобретенных итогов наибольшее значение индивидуального канцерогенного риска наблюдается у вещества: формальдегида – 0,00011, наименьшее значение у бензола – 0,0000021. Среднее значение, например, у взвешенного вещества – 0,00005. Наибольшее значение, находится в третьем диапазоне риска, приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения. Наименьшее значение располагается во втором диапазоне, что соответствует верхней границе приемлемого риска. Среднее значение также находится во втором диапазоне риска.

Центральный район (пост №6). Из полученных результатов наибольшее значение индивидуального канцерогенного риска наблюдается у вещества: формальдегида – 0,00011, наименьшее значение у этилбензола – 0,0000014. Среднее значение у взвешенных веществ – 0,000056. Наибольшее значение, находится в третьем диапазоне риска, приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения. Наименьшее значение располагается во втором диапазоне, что соответствует верхней границе приемлемого риска. Среднее значение также находится во втором диапазоне риска.

Центральный район (пост №10). Из полученных результатов наибольшее значение индивидуального канцерогенного риска наблюдается у вещества: формальдегида – 0,00018, наименьшее значение у толуола – 0,0000015. Среднее значение у фенола – 0,00004. Наибольшее значение, находится в третьем диапазоне риска, приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения. Наименьшее значение располагается во втором диапазоне, что соответствует верхней границе приемлемого риска. Среднее значение также находится во втором диапазоне риска.

Василеостровский район (пост №7). Из полученных результатов наибольшее значение индивидуального канцерогенного риска наблюдается у вещества: формальдегида – 0,000094, наименьшее значение у этилбензола –

0,0000007. Среднее значение, например, у фенола – 0,00002. Принимая во внимание вышесказанное наибольшее значение, находится в третьем диапазоне риска, приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения. Наименьшее значение располагается во втором диапазоне, что соответствует верхней границе приемлемого риска. Среднее значение также находится во втором диапазоне риска.

Московский район (пост №8). Из полученных результатов наибольшее значение индивидуального канцерогенного риска наблюдается у взвешенных веществ – 0,00015, наименьшее значение у толуола – 0,00000015. Среднее значение, например, у формальдегида – 0,00009. Принимая во внимание вышесказанное наибольшее значение, находится в третьем диапазоне риска, приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения. Наименьшее значение располагается во втором диапазоне, что соответствует верхней границе приемлемого риска. Среднее значение также находится во втором диапазоне риска.

Красносельский район (пост №12). Из полученных результатов наибольшее значение индивидуального канцерогенного риска наблюдается у формальдегида – 0,00013, наименьшее значение у бензола – 0,0000001. Среднее значение, например, у взвешенных веществ – 0,00005. Принимая во внимание вышесказанное наибольшее значение, находится в третьем диапазоне риска, приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения. Наименьшее значение располагается во втором диапазоне, что соответствует верхней границе приемлемого риска. Среднее значение также находится во втором диапазоне риска.

Красногвардейский район (пост №27). Из полученных результатов наибольшее значение индивидуального канцерогенного риска наблюдается у формальдегида – 0,00011, наименьшее значение у этилбензола – 0,0000001. Среднее значение, например, у фенола – 0,000056. Принимая во внимание вышесказанное наибольшее значение, находится в третьем диапазоне риска, приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения.

Наименьшее значение располагается во втором диапазоне, что соответствует верхней границе приемлемого риска. Среднее значение также находится во втором диапазоне риска.

Далее в работе были ранжированы индивидуальные канцерогенные риски по девяти районам г. Санкт-Петербурга по загрязняющим веществам.

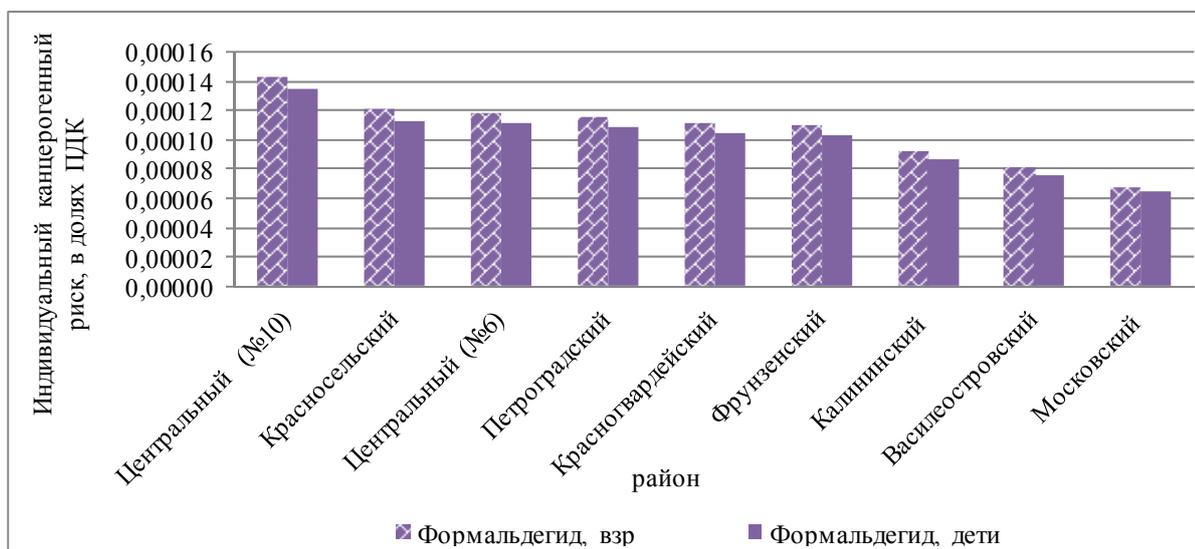


Рисунок 5.1 – Ранжирование индивидуального канцерогенного риска от формальдегида по районам в Санкт-Петербурге.

Центральный район лидирует по количеству содержания формальдегида, это объясняется тем, район загружен потоками автомобиля, так как формальдегид входит в состав выхлопных газов.

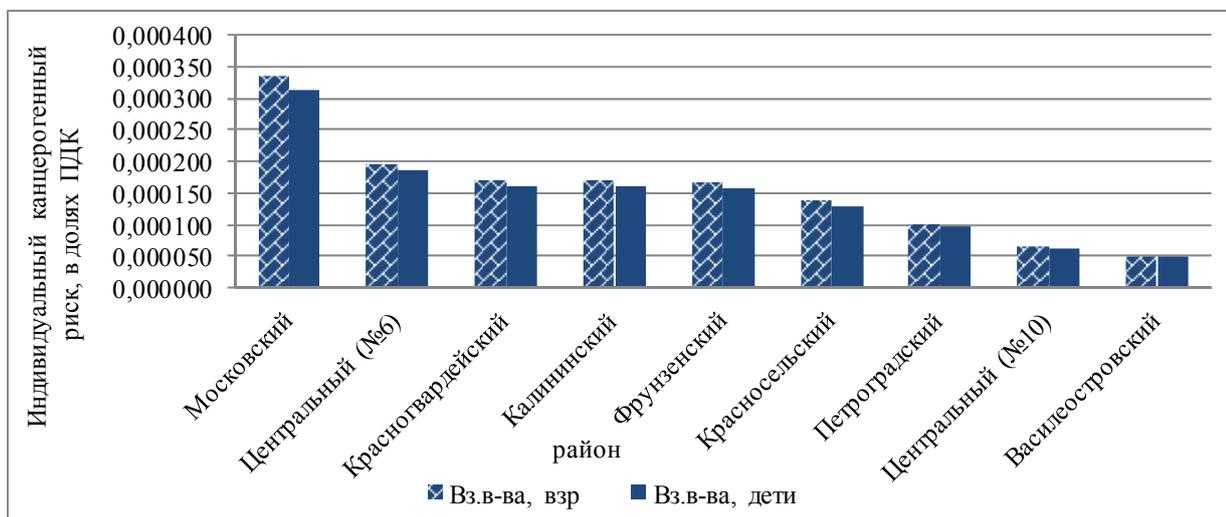


Рисунок 5.2 – Ранжирование индивидуального канцерогенного риска от взвешенных веществ по районам в Санкт-Петербурге.

Высокие значения взвешенных веществ были отмечены в Московском районе, по причине высокой антропогенной нагрузки, например, выбросы от предприятий.

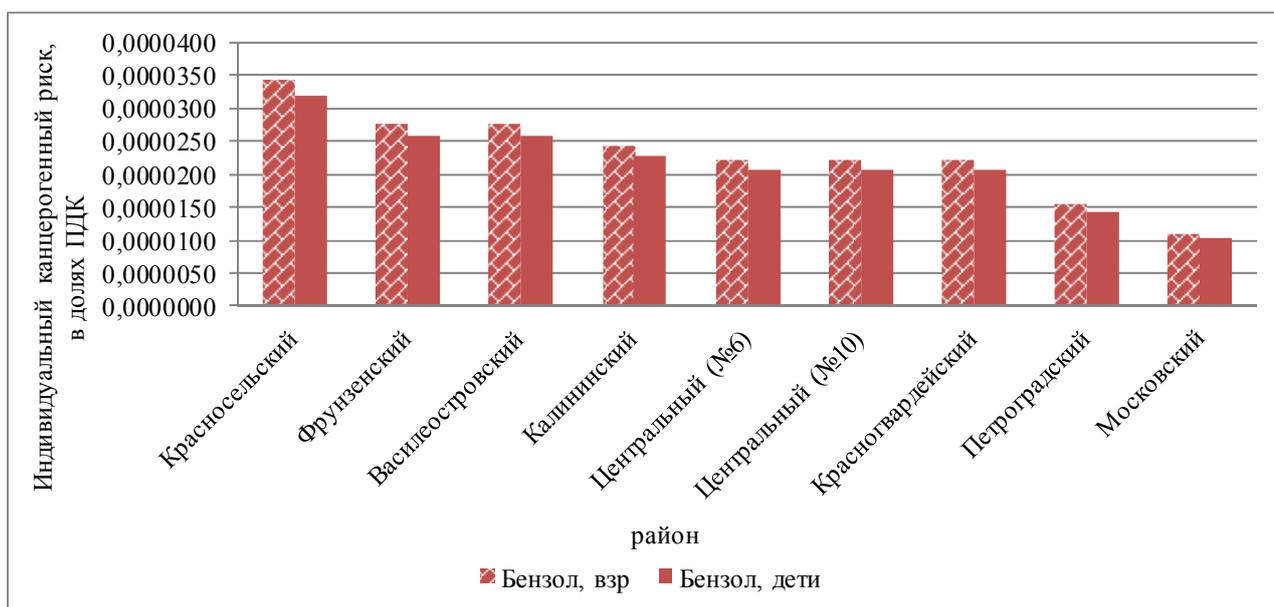


Рисунок 5.3 – Ранжирование индивидуального канцерогенного риска от бензола по районам в Санкт-Петербурге.

Лидирующий показатель бензола был зафиксирован в Красносельском районе, потому что в основном бензол используется на химических предприятиях, который привносится из соседнего Кировского района.

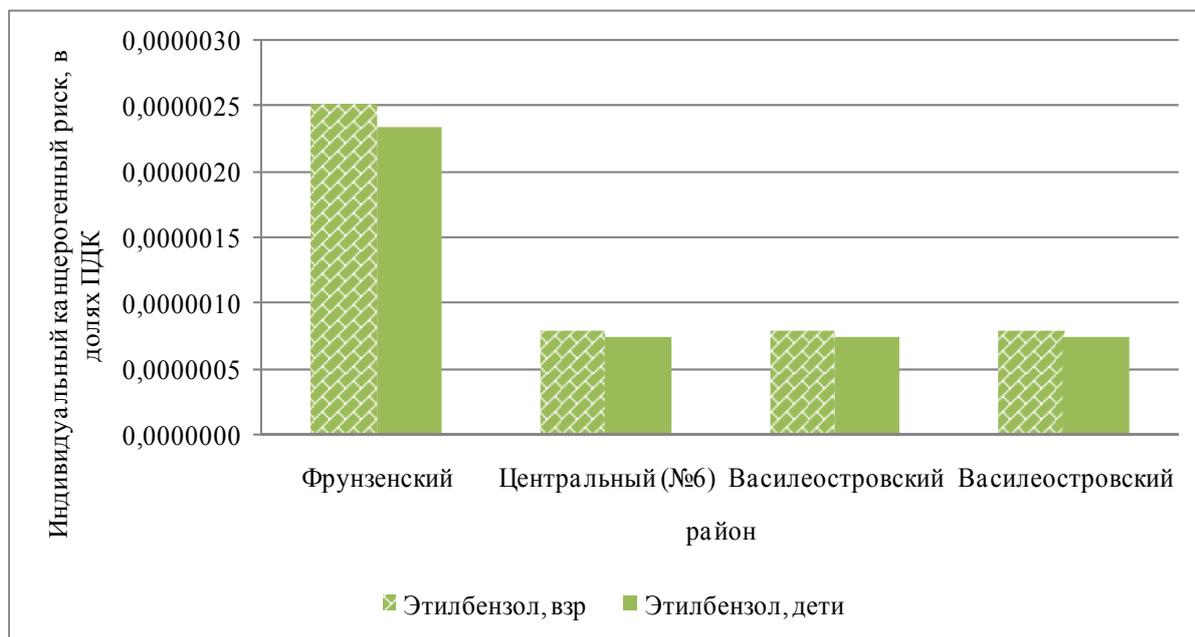


Рисунок 5.4 – Ранжирование индивидуального канцерогенного риска от этилбензола по районам в Санкт-Петербурге.

По этилбензолу отборы проб и обработка результатов осуществляется только в четырех районах г. Санкт-Петербурга. Во Фрунзенском районе наибольший показатель этилбензола из-за промышленных предприятий.

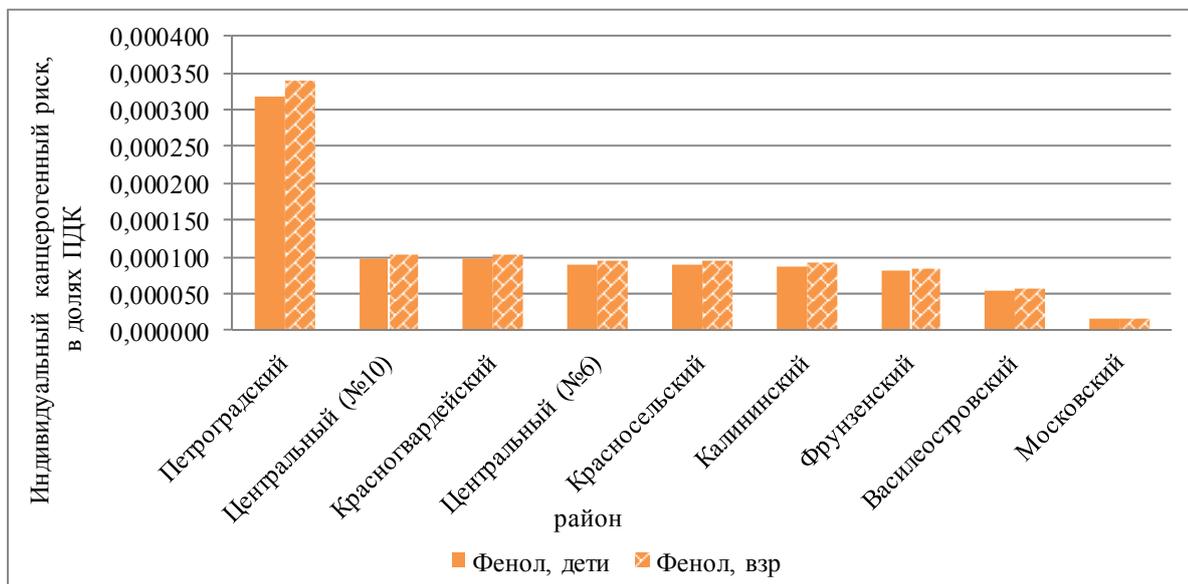


Рисунок 5.5 – Ранжирование индивидуального канцерогенного риска от фенола по районам в Санкт-Петербурге.

Петроградский район соединяет центр города с периферией, поэтому на дороге происходит скопление транспортных средств.

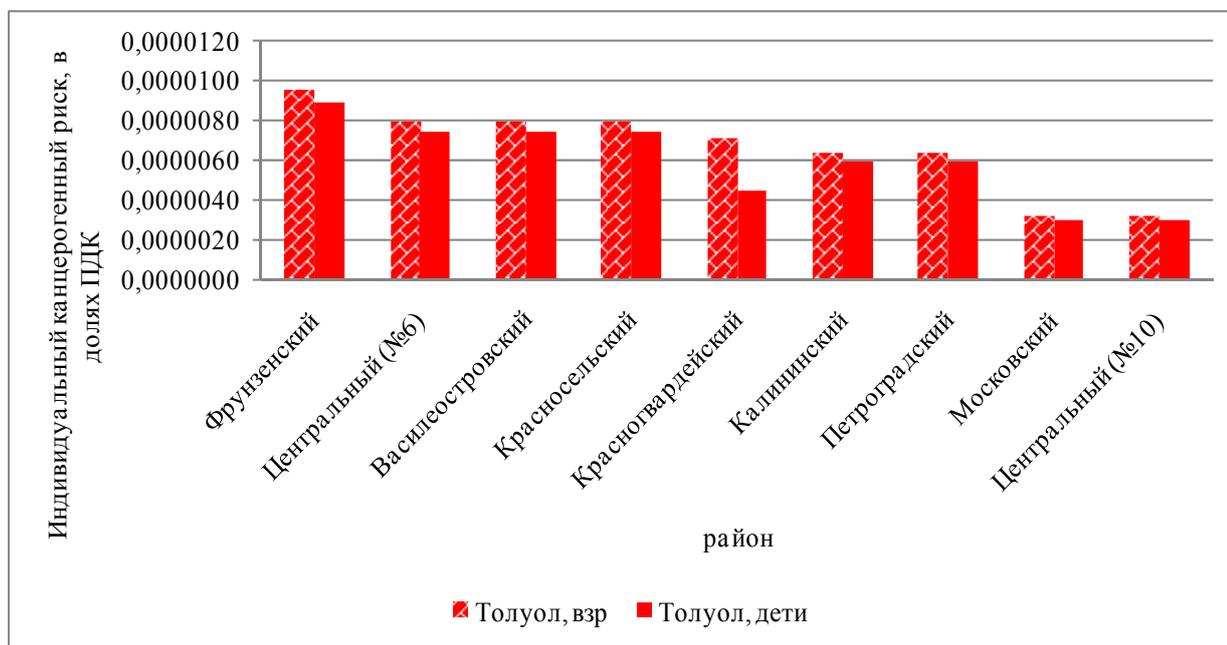


Рисунок 5.6 – Ранжирование индивидуального канцерогенного риска от толуола по районам в Санкт-Петербурге.

Во Фрунзенском районе располагается завод по изготовлению красок, где толуол используется как растворитель.

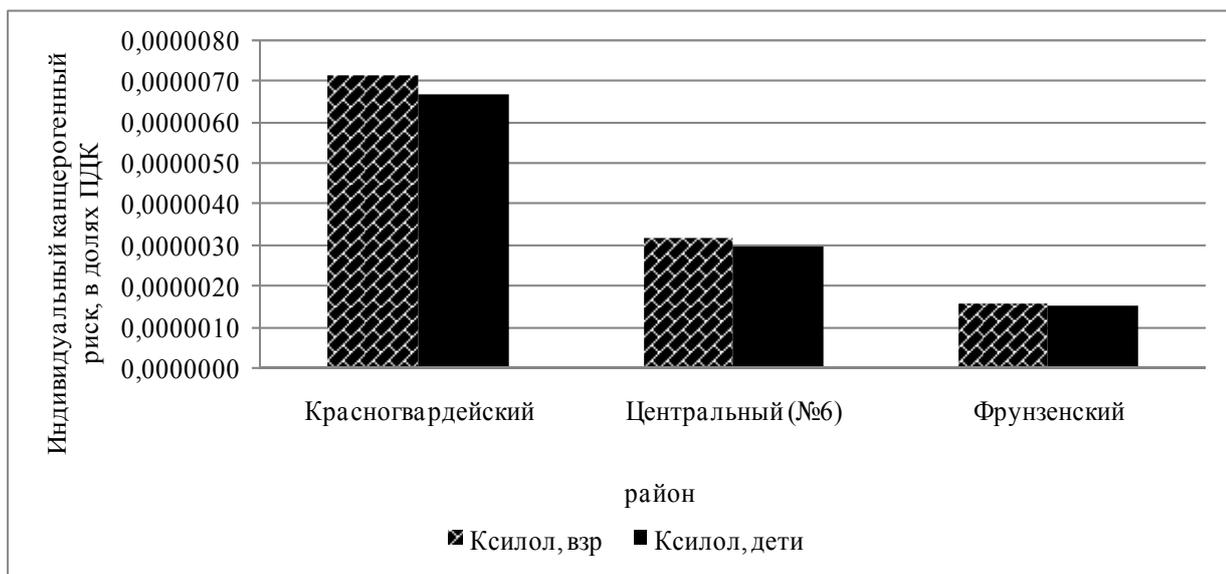


Рисунок 5.7 – Ранжирование индивидуального канцерогенного риска от ксилола по районам в Санкт-Петербурге.

В Красногвардейском районе расположен завод по изготовлению пластмассы, где ксилол используется в качестве растворителя для пластмассы.

Нормирование риска определяется классификацией уровня риска, приведенная в Р 2.1.10.1920-04. Нормирование индивидуального канцерогенного риска по г. Санкт-Петербургу проводилось по усредненным показателям загрязняющих веществ в атмосферном воздухе за период 2016-2021 гг.

Взвешенные вещества, оказывающие воздействие на детское население, в период наблюдений 2016 по 2021гг индивидуальный канцерогенный риск составил 7×10^{-4} , что соответствует приемлемому риску.

Для взрослого населения индивидуальный канцерогенный риск составил $6,6 \times 10^{-5}$, что соответствует приемлемому риску.

Бензол, оказывающий воздействие на детское население, в период наблюдений 2016 по 2021гг индивидуальный канцерогенный риск составил 2×10^{-5} , что соответствует приемлемому риску. Для взрослого населения

индивидуальный канцерогенный риск составил 3×10^{-5} , что соответствует приемлемому уровню риска.

Этилбензол, оказывающий воздействие на детское население, в период наблюдений 2016 по 2021гг индивидуальный канцерогенный риск составил 2×10^{-6} , что соответствует пренебрежимо малому уровню риска. Для взрослого населения индивидуальный канцерогенный риск составил $2,4 \times 10^{-7}$, что соответствует пренебрежимо малому уровню риска.

Формальдегид, оказывающий воздействие на детское население, в период наблюдений 2016 по 2021гг индивидуальный канцерогенный риск составил 5×10^{-6} , что соответствует пренебрежимо малому уровню риска. Для взрослого населения индивидуальный канцерогенный риск составил $1,9 \times 10^{-7}$, что соответствует пренебрежимо малому уровню риска.

Бенз(а)пирен, оказывающий воздействие на детское население, в период наблюдений 2016 по 2021гг индивидуальный канцерогенный риск составил 5×10^{-8} , что соответствует пренебрежимо малому уровню риска. Для взрослого населения индивидуальный канцерогенный риск составил $5,8 \times 10^{-9}$, что соответствует пренебрежимо малому уровню риска.

Фенол, оказывающий воздействие на детское население, в период наблюдений 2016 по 2021гг индивидуальный канцерогенный риск составил $5,3 \times 10^{-8}$, что соответствует пренебрежимо малому уровню риска. Для взрослого населения индивидуальный канцерогенный риск составил $5,7 \times 10^{-8}$, что соответствует пренебрежимо малому уровню риска.

Толуол, оказывающий воздействие на детское население, в период наблюдений 2016 по 2021гг индивидуальный канцерогенный риск составил $8,9 \times 10^{-6}$, что соответствует приемлемому уровню риска. Для взрослого населения индивидуальный канцерогенный риск составил $9,5 \times 10^{-6}$, что соответствует приемлемому уровню риска.

Ксилол, оказывающий воздействие на детское население, в период наблюдений 2016 по 2021гг индивидуальный канцерогенный риск составил $5,4 \times 10^{-6}$, что соответствует пренебрежимо малому уровню риска. Для

взрослого населения индивидуальный канцерогенный риск составил $5,8 \times 10^{-6}$, что соответствует пренебрежимо малому уровню риска.

По всем исследованиям, которые проводились в данной работе, можно сделать вывод, что большему воздействию от загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, которые вызывают злокачественные новообразования, подвержены – взрослые, хотя детское население сильнее подвержено воздействию загрязнителей.

Так же в работе был рассчитан суммарный канцерогенный риск по каждому району Санкт-Петербурга. На рисунке 5.8 представлен график ранжирование районов Санкт-Петербурга по суммарному канцерогенному риску.

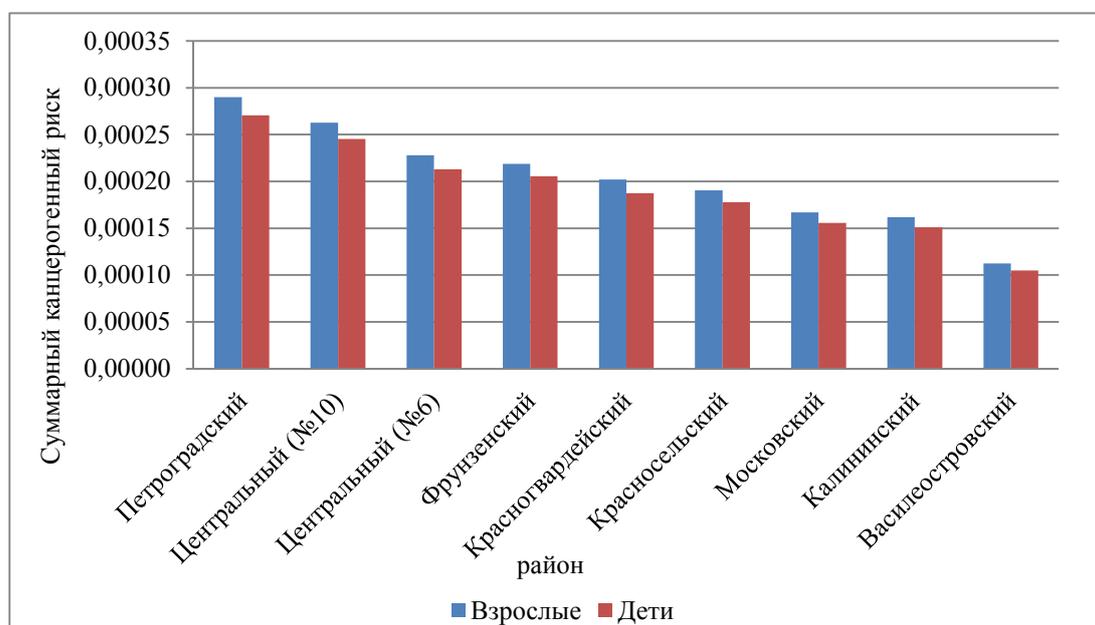


Рисунок 5.8 – Ранжирование районов Санкт-Петербурга по суммарному канцерогенному индивидуальному риску.

Ранжирование районов по индивидуальному канцерогенному риску показало, что самые загрязненные районы являются – Петроградский, Центральный (пост №10), Центральный (пост №6), Фрунзенский.

Хронический канцерогенный риск был рассчитан для восьми веществ: взвешенных веществ, бензола, этилбензола, формальдегида, бенз(а)пирена,

фенола, ксилола и толуола. Расчет хронического показал, что по классификации уровня риска бенз(а)пирен, бензол, этилбензол и толуол находятся в четвертом диапазоне индивидуального риска, т.е. неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп. Настоятельно рекомендуется мероприятия по снижению риска. Формальдегид находится в третьем диапазоне индивидуального риска, т.е. приемлем для профессиональных групп и неприемлем для городского населения. Рекомендуется проведение оздоровительных мероприятий для населения в целом.

Заключение

Санкт-Петербург – крупный мегаполис, его промышленность представлена тяжелой индустрией, в том числе энергетическим машиностроением. Развита черная и цветная металлургия, химическая, легкая, полиграфическая промышленность. В городе постоянно растет количество автотранспорта, только легковых автомобилей здесь насчитывается 1 682 345 единиц.

В Санкт-Петербурге проживает 5 377 503 человек и вопрос оценки риска здоровью для населения от канцерогенных веществ в атмосферном воздухе становится всё актуальнее с каждым годом.

Для города характерна частая смена воздушных масс, обусловленная в значительной степени циклонической деятельностью, что способствует самоочищению воздуха, но не решает проблему полностью.

Сеть наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха в населенных пунктах включает посты ручного отбора проб воздуха и автоматизированные системы наблюдений и контроля окружающей среды. Посты наблюдений за загрязнением разделяют на: стационарные; автоматизированные; передвижные.

Динамика заболеваний детского и взрослого населения по разным группам заболеваний, такие как: общая заболеваемость, возникновение новообразований, болезни органов дыхания и врожденные аномалии выявила, что заболеваемость в период наблюдений растет для обеих групп населения. Также Санкт-Петербург лидирует по количеству заболевшего населения, по сравнению с Ленинградской областью и Российской Федерацией.

Для расчета индивидуального канцерогенного риска (CR) по восьми загрязняющих веществ: взвешенных веществ, бензолу, этилбензолу, формальдегиду, бенз(а)пирену, фенолу, ксилолу и толуолу для детского и взрослого населения на девяти постах. Результат расчетов, был оценен по классификации уровней риска и можно, сделать вывод, что: на всех постах (районах), наибольшее значение индивидуального канцерогенного риска

находится в третьем диапазоне риска, приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения. Рекомендуется проведение плановых оздоровительных мероприятий для населения. Наименьшее значение располагается во втором диапазоне, что соответствует верхней границе приемлемого риска. В отдельных случаях можно проводить мероприятия по снижению риска.

Ранжирование индивидуального канцерогенного риска показало, следующее:

Центральный район загрязнен преимущественно – формальдегидом (индивидуальный канцерогенный риск за один год составил 0,00014 – для взрослого населения, 0,00013 – для детей), Московский район – взвешенными веществами (0,00033 – для взрослых, 0,00031 – для детей), Красносельский район – бензолом (0,000034 – для взрослых, 0,000031 – для детей), Фрунзенский район – этилбензолом (0,0000023 – для взрослых, 0,0000023 – для детей), и толуолом (0,0000096 – для взрослых, 0,0000089 – для детей), Петроградский район – фенолом (0,00034 – для взрослых, 0,00031 – для детей), Красногвардейский район – ксилолом (0,0000072 – для взрослых, 0,0000067 – для детей).

Расчет хронического риска за 2016 г. показал, что риск по этилбензолу (0,011), бенз(а)пирену (0,011), взвешенным веществам (0,01), ксилолу (0,0022) и толуолу (0,0011) находятся в четвертом диапазоне нормативного уровня индивидуального риска, т.е. неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп. Бензол (0,00026) и формальдегид (0,00011) находятся в третьем диапазоне нормативного уровня индивидуального риска, т.е. приемлем для профессиональных групп и неприемлем для городского населения. Фенол (0,000019) находится во втором диапазоне нормативного уровня индивидуального риска, т.е. соответствует верхней границе приемлемого риска и подлежат постоянному контролю.

Расчет хронического риска за 2021 г. показал, что все исследуемые вещества (взвешенные вещества, бензол, этилбензол, формальдегид,

бенз(а)пирен, фенол, ксилол и толуол) находятся в четвертом диапазоне нормативного уровня индивидуального риска, т.е. неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп.

Так же в работе был рассчитан суммарный канцерогенный риск по каждому району Санкт-Петербурга. Самыми опасными для здоровья горожан оказались такие районы, как Петроградский (суммарный индивидуальный канцерогенный риск за один год составил 0,00029 – для взрослого населения, 0,00027 – для детей), Центральный (пост №10) (0,00026 – для взрослых, 0,00024 – для детей), Центральный (пост №6) (0,00022 – для взрослых, 0,00021 – для детей) и Фрунзенский (0,00021 – для взрослого населения, 0,0002 – для детей).

Рекомендации

1. Для самых загрязнённых районов Петроградский, Центральный (пост №10 и №6), Фрунзенский необходимо снижение транспортной нагрузки, так как исследуемые ЗВ входят в состав выбросов от автотранспорта.
2. Регулярное проведение мойки дорог для удаления пыли, так как канцерогенные риски по ВЗВ наиболее высокие.
3. Проведение дополнительного озеленения в черте города.
4. Проведение скринингового обследования здоровья населения для раннего выявления онкологических заболеваний.

Список использованных источников

1 Другов Ю.С. Анализ загрязненных биосред и пищевых продуктов / Ю.С. Другов, А.А. Родин. – Москва: Наука, 2007. – 296 с.

2 Седунов, Я.С. Атмосфера / Я.С. Седунов. – М.: [не указано], 1991. – 459 с.

3 Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2020 году [Электронный ресурс] URL: <https://www.gov.spb.ru> (Дата обращения 07.04.2022).

4 Погосян Х.П. Атмосфера и человек / Х.П. Погосян. – М.: Просвещение, 2017. – 160 с.

5 Санкт-Петербург в 2021 году: официальное издание: статистический ежегодник / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской обл. (Петростат) [редкол.: О. Н. Никифоров и др.]. – Санкт-Петербург :Петростат, 2022. – 204 с.

6 Экономика Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] URL:<https://manufacturers.ru> (Дата обращения 10.04.2022).

7 Рассел Д. Загрязнение атмосферы Земли / Джесси Рассел. – М.: VSD, 2013. – 827 с.

8 Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Санкт-Петербурге в 2020 году» URL: <http://78.rospotrebnadzor.ru/703> (Дата обращения 16.04.2022).

9 Ваганов П. А., Ман-Сунг Им Экологические риски: учеб.пособие. Изд-е 2-е. – СПб.: Изд-во С. –Петерб. Ун-та, 2001. – 152 с.

10 Киселев, А.В. Оценка риска здоровью / А.В. Киселев, К.Б. Фридман. – СПб.: Дейта, 1997.

11 Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

12 Леонович Э.И., Скоробогатая И.В. Оценка риска для жизни и здоровья населения от воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Гигиенические показатели уровня загрязнения атмосферы: учебно-методическое пособие / Э. И. Леонович, И. В. Скоробогатая. – Минск: БГМУ, 2019. – 48 с.

13 Онищенко, Г.Г. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко; под ред. Ю.А. Рахманина, Г.Г. Онищенко. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.

14 Быков А.А., Селенова Л.Г., Земляная Г.М., Фурман В.Д. Методические рекомендации по анализу и управлению риском воздействия на здоровье населения вредных факторов окружающей среды [Текст]; – М.: «Анкил», 1999.

15 Щербо, А.П. Окружающая среда и здоровье: подходы к оценке риска / А.П. Щербо; под ред. А.П. Щербо. – СПб.: СПбМАПО, 2002. – 376 с.

16 МР 2.1.9.004-03 Критерии оценки риска для здоровья населения приоритетных химических веществ, загрязняющих окружающую среду.