

Федеральное бюджетное учреждение науки
«Федеральный научный центр медико-профилактических технологий
управления рисками здоровью населения»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и
благополучия человека

На правах рукописи



АНДРИШУНАС Алена Мухаматовна

**ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО
СНИЖЕНИЮ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ВЫБРОСОВ
ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И РИСКОВ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ
НАСЕЛЕНИЯ**

3.2.1. Гигиена

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
Клейн Светлана Владиславовна,
профессор РАН, д.м.н., доцент

Пермь

2026

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ОБЪЕКТЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ КАК ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ: ОБЩЕРОССИЙСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ, РЕГИОНАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ	17
1.1 Роль теплоэнергетики в загрязнении атмосферного воздуха	19
1.2 Влияние объектов теплоэнергетики на здоровье населения, проживающего в пределах зон повышенного риска.....	28
1.3 Государственное регулирование охраны атмосферного воздуха в Российской Федерации: основные инструменты, влияющие на качество жизни населения	31
1.4 Методические аспекты оценки эффективности и результативности мероприятий по снижению рисков здоровью населения.....	38
ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ, ОБЪЕКТЫ И ОБЪЕМ ИССЛЕДОВАНИЙ	46
ГЛАВА 3 ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РИСКА ПРИЧИНЕНИЯ ВРЕДА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ, РАБОТАЮЩИХ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ, С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ВЫБРОСОВ В ЦЕЛЯХ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА	62
3.1 Гигиенический анализ пространственно-структурных особенностей распределения потенциального риска причинения вреда здоровью населения при осуществлении деятельности в области производства, передачи и распределения пара и горячей воды, кондиционирования воздуха.....	62
3.2 Гигиенический пространственно-динамический анализ аэрогенного воздействия производственной деятельности объектов теплоэнергетики в Российской Федерации	69
3.3 Меры государственного регулирования качества атмосферного воздуха в рамках реализации Федерального проекта «Чистый воздух»	73
ГЛАВА 4 МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНИРУЕМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ПО КРИТЕРИЯМ МИТИГАЦИИ РИСКОВ И ВРЕДА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ.....	78
4.1 Методические подходы к гигиенической оценке эффективности мер регулирования качества атмосферного воздуха.....	78
4.2 Усовершенствованный алгоритм оценки степени тяжести совокупного причиненного вреда здоровью, детерминированного длительным аэрогенным воздействием химических веществ.....	89
ГЛАВА 5 ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУХООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ, РАБОТАЮЩИХ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ	94
5.1 Гигиенический анализ Комплексных планов мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.....	94
5.2 Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха на репрезентативной территории от всех источников, в том числе от объектов теплоэнергетики до и после реализации воздухоохраных мероприятий	98
5.3 Анализ риска для здоровья населения, связанного с химическим загрязнением атмосферного воздуха в результате деятельности объектов теплоэнергетики до и после реализации воздухоохраных мероприятий	123

5.4 Гигиеническая оценка заболеваемости, ассоциированной с загрязнением атмосферного воздуха выбросами от объектов теплоэнергетики, с оценкой совокупного причиненного вреда здоровью и его тяжести до и после реализации воздухоохраных мероприятий	132
5.5 Оценка экономического ущерба, обусловленного возникновением дополнительных случаев заболеваемости населения, ассоциированных с загрязнением атмосферного воздуха компонентами выбросов объектов теплоэнергетики (до и после проведения воздухоохраных мероприятий)	147
5.6 Обоснование уровня безопасного содержания микроразмерных твердых частиц РМ1 в атмосферном воздухе	148
ГЛАВА 6 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗУЕМЫХ ВОЗДУХООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В СООТВЕТСТВИИ С КОМПЛЕКСНЫМИ ПЛАНАМИ И РЕАЛИЗАЦИЕЙ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ, НАПРАВЛЕННОЙ НА СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ПРИОРИТЕТНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ОБЪЕКТАХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ..	153
6.1 Апробация комплексного методического подхода к оценке эффективности воздухоохраных мероприятий, основанного на интегральном анализе многокомпонентных показателей	153
6.2 Апробация методического подхода к гигиенической оценке эффективности воздухоохраных мероприятий по дифференцированной митигации рисков и вреда здоровью населения.....	155
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	160
ВЫВОДЫ	171
РЕКОМЕНДАЦИИ	174
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....	177
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	179
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	180
ПРИЛОЖЕНИЕ А	206
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	207
ПРИЛОЖЕНИЕ В	212
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	217
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	222

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Изучение качества среды обитания с позиции ее безопасности для человека должно базироваться на междисциплинарной методологии. Причиной тому служит сложная и непрерывная динамика взаимодействия человека и окружающей его среды, что является фундаментальным аспектом современного мира [175, 183]. Для получения полной и объективной картины влияния среды обитания на здоровье человека необходимо учитывать различные аспекты – от биологических и медицинских факторов до социально-экономических и политических. Только такой комплексный междисциплинарный подход позволит провести адекватные исследования и разработать эффективные меры по предотвращению и минимизации негативных последствий. Исследования, основанные на таком подходе, способствуют получению более надежных и обоснованных результатов в контексте современных вызовов, позволяют анализировать сложные системы и разрабатывать комплексные стратегии и решения для улучшения качества среды обитания [46, 92, 132, 263].

Достижение надлежащего качества факторов среды обитания обеспечивается через поддержание санитарно-эпидемиологического благополучия – приоритетной стратегической задачи Роспотребнадзора, которое включает соблюдение санитарного законодательства и нормативно-правовых актов технического регулирования, в том числе национальных и отраслевых стандартов, санитарно-гигиенических регламентов и иных нормативных требований [11], исполнение национальных и федеральных проектов («Чистая страна», «Чистый воздух», «Жилье и городская среда» и др.), отраслевых документов стратегического планирования [11, 70, 75, 76, 118]. Основным документом, формирующим правовую основу для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, является Федеральный закон № 52-ФЗ. Вместе с тем, реализация заложенных в нем норм обеспечивается целым рядом взаимосвязанных законодательных актов, конкретизирующих механизмы реализации права на здоровье. В частности, это законы, регулирующие основы здравоохранения [92], защиту прав потребителей [72], безопасность пищевой продукции [73] и вопросы иммунопрофилактики инфекционных болезней [91] и др.

Исходя из вышеизложенного, в Российской Федерации существует достаточно развернутая нормативно-правовая база, регулирующая сферу санитарно-эпидемиологического благополучия. Данная база ориентирована на сохранение и укрепление здоровья населения, на профилактику заболеваний, этиологически связанных с воздействием факторов среды обитания [140, 187, 224].

На территории большинства крупных городов Российской Федерации фиксируется неблагоприятная санитарно-эпидемиологическая обстановка. Загрязнение среды обитания обусловлено комплексным воздействием газообразных, жидких и твердых примесей,

поступающих от различных антропогенных источников, включая промышленное и энергетическое производство, транспортную инфраструктуру, коммунальное хозяйство и добычу полезных ископаемых и др. Загрязнение атмосферного воздуха занимает первое место по чрезмерно большому объему поступления вредных веществ. Данные вещества могут находиться в твердом состоянии, в виде органических и неорганических частиц. Значимый вред оказывают взвешенные вещества [32, 83, 109, 136].

По итогам 2023 года в перечень приоритетных городов Российской Федерации, отличающихся наибольшей антропогенной нагрузкой на атмосферный воздух, вошло 33 населённых пункта. Суммарная численность населения, проживающего на указанных территориях, достигла 10,1 миллиона человек. Критерием включения в перечень послужил комплексный индекс загрязнения атмосферы (КИЗА), значение которого составляло 14 и более единиц, что соответствует высокому уровню загрязнения воздушной среды. Данная ситуация для этих городов является типичной, поскольку размещение промышленных объектов находится в границе или вблизи жилых зон, что нередко приводит к многократному превышению предельно допустимых значений концентраций химических веществ и, как следствие, формированию заболеваний со стороны органов дыхания, ЦНС, системы крови, иммунной системы, процессов развития [4, 13, 21, 68]. К таким предприятиям относятся и хозяйствующие субъекты, осуществляющие деятельность в сфере теплоэнергетики, которые в процессе своего функционирования выбрасывают большое количество пылегазовых смесей в атмосферный воздух.

По данным Государственного доклада Минприроды России, в 2023 году суммарный объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух на территории Российской Федерации достиг 21,9 млн тонн [79]. При этом валовые выбросы от стационарных источников, включая предприятия теплоэнергетики, достигали 16,9 млн тонн. Выбросы объектов теплоэнергетики составляли 18,6 % от общего объема стационарных источников в стране. Сравнительный анализ федеральных округов по объемам выбросов от стационарных источников, включая объекты теплоэнергетики, свидетельствует, что в 2023 году наибольший показатель регистрировался в Сибирском федеральном округе (5511,8 тыс. тонн). Несмотря на общероссийскую тенденцию к снижению частоты превышений гигиенических нормативов загрязнения атмосферного воздуха в городских поселениях в 1,8 раза за последние семь лет в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах в период с 2017 по 2023 год зафиксированы многократные превышения данных нормативов, достигающие от 24,3 до 39,0 раз.

Основными видами топлива, используемыми на объектах теплоэнергетики Российской Федерации, являются: уголь, мазут, газ, в меньшей доле: нефть, бензин, дизельное топливо, применяются: торф, сланец и древесина. Особое внимание уделяется процессу сжигания твердого топлива, особенно угля, который оказывает существенное негативное влияние на качество атмосферы. Это связано с высоким содержанием в угле (около 90 %) негорючих минеральных

компонентов [12, 113, 176, 178]. Процессы сжигания органического твердого топлива и жидких нефтепродуктов сопровождаются образованием сложной газоаэрозольной смеси. К числу приоритетных компонентов таких выбросов относятся оксиды азота (NO_x), диоксид серы (SO_2), оксид углерода (CO), углеводороды, сероводород, взвешенные вещества (включая мелкодисперсные фракции $\text{PM}_{2.5}$ и PM_{10}), сажа, тяжёлые металлы (например, ванадий поступающий при сжигании мазута), полициклические ароматические углеводороды, включая бенз(а)пирен, ряд других токсичных соединений [34, 38, 51, 78, 80, 94, 110, 121, 218, 266]. В частности, в Сибирском федеральном округе доля крупных объектов теплоэнергетики, работающих на угле, мазуте и торфе, составила 90,7 % от доли объектов, работающих на газе, в Дальневосточном федеральном округе этот показатель превышает 53 %. Помимо крупных теплоэлектростанций, «проблемные» территории имеют большое количество малых источников теплоснабжения, в том числе частные отопительные котельные и АИТ, более 74,8 тыс. единиц в 2018 году. Незначительная высота источников выбросов малых отопительных котельных обуславливает локальный характер загрязнения атмосферного воздуха с максимальными концентрациями, фиксируемыми непосредственно в зоне дыхания человека [65]. Дополнительным негативным фактором выступают неблагоприятные метеорологические условия, характерные для восточных территорий Сибири, где ограниченные возможности атмосферного рассеивания способствуют формированию повышенных уровней загрязнения приземного слоя атмосферы [113, 137].

По данным ВОЗ [22] в общей группе объектов теплоэнергетики и теплоснабжения особую опасность представляют частные дома с печным отоплением (АИТ). Около 2,4 миллиарда человек в мире используют твердое топливо, такое как древесина, отходы растениеводства, древесный и каменный уголь, навоз, керосин, сжигая их в открытых очагах или неэффективных печах для приготовления пищи. Для эффективного сокращения загрязнения воздуха, связанного с использованием твердых видов топлива, необходимы совместные усилия различных сторон: правительств, коммунальных служб, населения и других заинтересованных организаций. Внедрение более экологически чистых и эффективных технологий, развитие альтернативных источников энергии могут способствовать снижению негативного воздействия на здоровье и окружающую среду.

Следует отметить, что в условиях хронической аэрогенной экспозиции химическими веществами, в том числе связанными с выбросами от объектов теплоэнергетики и теплоснабжения, у населения зачастую проявляются множественные системные ответы со стороны здоровья. Среди наиболее часто регистрируемых патологических состояний преобладают заболевания респираторной системы [104, 123, 186, 213]. По данным ВОЗ, каждая 8-я смерть во всем мире ассоциирована с воздействием загрязненного атмосферного воздуха, атрибутивное бремя смертности в Российской Федерации в 2023 году достигло 4,6 тыс. случаев.

Основными причинами смерти при этом выступили заболевания сердечно-сосудистой, дыхательной и пищеварительной систем, онкологические заболевания. Дополнительная заболеваемость, связанная с аэрогенным воздействием, по данным анализа составила 599,6 тыс. случаев. В структуре данной патологии лидирующие позиции занимают болезни дыхательной, нервной, мочеполовой и кроветворной систем, органов пищеварения и зрения, опорно-двигательного аппарата, нарушения эндокринной системы и иммунные расстройства, новообразования [83].

Сохраняющаяся неблагоприятная ситуация с качеством атмосферного воздуха и обусловленные этим риски для здоровья населения, находящие свое выражение в увеличении уровня хронической патологии различных органов и систем, продолжают оставаться актуальной научно-практической проблемой. В сложившихся условиях особую актуальность приобретает необходимость повышения достоверности и точности верификации причинно-следственных связей между аэрогенным воздействием и негативными ответами в состоянии здоровья экспонированного населения, включая ущерб, причиненный производственными объектами, не соблюдающими обязательные требования в области санитарного законодательства и здравоохранения [75, 120, 193, 200].

В условиях, когда антропогенная нагрузка на атмосферный воздух остается на высоком уровне [264, 265], особую значимость приобретают исследования, направленные на гигиеническую оценку и всесторонний анализ воздействия выбросов предприятий теплоэнергетического сектора, функционирующих на твердом топливе, на состояние окружающей среды и здоровье населения. Полученные данные повысят эффективность разработки и внедрения дополнительных мер, ориентированных на минимизацию выбросов загрязняющих веществ и улучшение качества атмосферного воздуха на территориях, подверженных влиянию исследуемых объектов [16, 31, 66].

В методологии настоящего исследования понятие «эффективности» интерпретируется как степень достижения целевых показателей качества атмосферного воздуха и гигиенических нормативов, регламентированных документами государственного регулирования, в первую очередь – Комплексными планами мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ. С позиции обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения данное понятие отражает результативность реализуемых мер в контексте минимизации аэрогенных рисков и служит интегральным критерием «успешности» выполнения государственных воздухоохраных программ. Таким образом, эффективность – это мера «успешности» реализации государственных воздухоохраных программ в достижении безопасности для здоровья населения от аэрогенных факторов риска.

Глубокая научная проработка, разработка методологии и практического инструментария по оценке эффективности и результативности, нормативно-правовое закрепление и регулирование являются необходимыми этапами решения данной актуальной задачи.

Степень разработанности темы исследования. В настоящее время основной проблемой большинства крупных городов Российской Федерации является интенсивное загрязнение воздушной среды химическими веществами и неблагоприятное влияние их на здоровье населения. Гигиенические проблемы особенно остро стоят в городах, где доминируют определённые отрасли промышленности, в частности теплоэнергетика [162].

На сегодняшний день в России и за рубежом придают большое значение проблеме загрязнения атмосферного воздуха в результате хозяйственной деятельности объектов теплоэнергетики, а именно оценке уровней загрязнения атмосферного воздуха, пространственного распределения объектов теплоэнергетики и выбросов, приоритетных факторов загрязнения [20, 44, 159, 161, 182, 199, 259].

Рядом исследователей установлены особенности пространственного распределения крупных топливно-энергетических комплексов и объектов производства тепло- и электроэнергии на территории Российской Федерации, преимущественно располагающихся в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока [1, 7, 35, 55, 109, 141, 154, 166]. На сегодняшний день опубликовано множество исследований по содержанию оксидов металлов, таких как ванадий, алюминий, кремний, железо, стронций, кальций и магний в выбросах тепловых электростанций [14, 53, 109, 113, 178, 180, 260].

Существуют отдельные научные исследования, направленные на определение содержания конкретных химических веществ, включая мелкие частицы размером менее 2,5 мкм, на выявление причинно-следственной связи между концентрацией этих частиц в воздухе и ответами со стороны органов дыхания, пищеварения, крови, сердечно-сосудистой, нервной и иммунной систем, развитием злокачественных новообразований [9, 64, 153, 160, 168, 169, 179, 213, 248, 261].

По данным отчета «Энергетическая стратегия России» на периоды до 2024 года и до 2035 года оценена эффективность внедрения и реализации технологических и инженерно-технических мероприятий на объектах теплоэнергетики с целью управления риском здоровью населения. Разработанные мероприятия направлены на уменьшение отрицательного воздействия деятельности объектов теплоэнергетики на среду обитания человека путём разработки и внедрения Комплексных планов воздухоохраных мероприятий, перспективных экологически чистых технологий [25, 116, 133, 148].

В то же время недостаточно изученными остаются отдельные существенные аспекты. К ним можно отнести необходимость более точного определения территорий с наиболее высокими уровнями аэрогенной экспозиции в зоне влияния объектов теплоэнергетики; актуализацию данных о перечне стационарных источников выбросов на указанных объектах, включая вопросы

инвентаризации и нормирования всех твердых компонентов с учетом их дисперсного состава; пространственные закономерности дифференциации влияния выбросов объектов теплоэнергетики на параметры качества среды обитания и ассоциированные с ними показатели реализованного ущерба здоровью населения. Дальнейшего исследования требуют вопросы, связанные с установлением зон, характеризующихся наибольшей аэрогенной нагрузкой, уточнением полного перечня компонентов, входящих в состав твердых взвешенных частиц, совершенствованием комплексных планов мероприятий, ориентированных на внедрение наилучших доступных технологий и снижение приоритетных факторов риска. Перспективным направлением представляется развитие и корректировка научно-методического инструментария для оценки результативности и эффективности воздухоохраных мероприятий и совершенствование системы управления рисками для здоровья населения. Значимость в научном и прикладном аспектах приобретают исследования, посвященные комплексному воздействию многокомпонентных взвешенных частиц на состояние здоровья населения, что в единстве с вышеперечисленными аспектами обосновывает актуальность данного диссертационного исследования.

Несмотря на наличие широкого спектра научно-исследовательских работ, посвященных вопросам улучшения качества атмосферного воздуха, на активное исполнение Роспотребнадзором своих надзорных полномочий в данной сфере и реализацию национальных и федеральных проектов, призванных улучшить санитарно-эпидемиологическую обстановку в стране, сложившиеся подходы к оценке эффективности и результативности осуществляемых воздухоохраных мероприятий требуют дальнейшего развития.

Методические подходы к определению результативности и эффективности программ и планов, ориентированных на снижение рисков и вреда здоровью в рамках многофакторного воздействия, должны базироваться на ряде основополагающих принципов и критериев:

- соблюдение санитарного законодательства (гигиенических нормативов): оценка должна учитывать степень достижения нормативных значений концентраций загрязняющих веществ в объектах окружающей среды, динамику и результативность снижения уровней воздействия вредных факторов на население;
- оценка риска здоровью: в основе методических подходов должен лежать расчет величин остаточного риска для здоровья населения после завершения мероприятий;
- оценка уровней заболеваемости: важным индикатором эффективности природоохраных мероприятий является анализ темпов и динамики снижения показателей заболеваемости, ассоциированной с качеством окружающей среды. Разрабатываемые методические подходы должны обеспечивать возможность выявления непосредственного влияния реализованных мер на структуру и уровень заболеваемости, позволять количественно оценивать эффективность предпринятых действий по минимизации рисков для здоровья населения.

Для обеспечения объективной оценки воздухоохраных мероприятий требуется разработка алгоритма идентификации приоритетных загрязняющих веществ и объектов хозяйственной деятельности, подлежащих квотированию, что поможет определить наиболее значимые и опасные источники загрязнения и сконцентрировать регулирующие воздействия на них.

Цель исследования: гигиеническая оценка эффективности мероприятий и обоснование рекомендаций по снижению вредного воздействия выбросов объектов теплоэнергетики и рисков для здоровья населения с учетом элементов государственного регулирования и дифференцированного подхода.

В рамках работы выдвигалась гипотеза о том, что объекты теплоэнергетики, расположенные в непосредственной близости к жилым зонам, в условиях нарушения санитарного законодательства являются источниками риска и вреда здоровью подверженного воздействию населения, являются управляемыми за счет реализации воздухоохраных мероприятий, обеспечивающих сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Задачи исследования:

1. Выполнить комплексный пространственно-динамический анализ аэрогенного влияния производственной деятельности объектов теплоэнергетики РФ, формирующих потенциальные риски причинения вреда здоровью населения.

2. Усовершенствовать с учетом существующих инструментов государственного регулирования методические подходы к гигиенической оценке эффективности воздухоохраных мероприятий по дифференцированной митигации рисков и вреда здоровью населения.

3. На примере репрезентативной территории провести апробацию методического подхода и многокритериальную гигиеническую оценку достаточности воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики, работающих на твердом топливе.

4. Оценить реализацию рисков здоровью в виде ассоциированных случаев заболеваний у экспонированного населения в условиях недостаточной эффективности воздухоохраных мероприятий и, с учётом установленных закономерностей, обосновать безопасный по критериям риска для здоровья уровень хронического ингаляционного воздействия ультрамелкодисперсной фракции взвешенных частиц.

5. Разработать научно обоснованный комплекс гигиенических рекомендаций по минимизации вреда здоровью населения в зонах влияния объектов теплоэнергетики.

Научная новизна работы. В ходе исследования получены следующие основные результаты, которые характеризуются научной новизной:

— подтверждена исходная гипотеза, что функционирование объектов теплоэнергетики, использующих твердое топливо, оказывает негативное влияние на состояние здоровья населения и сопровождается ухудшением качества атмосферного воздуха в селитебных зонах.

Недифференцированный подход к снижению выбросов на таких объектах может обуславливать недостаточную эффективность реализуемых воздухоохраных мероприятий;

- установлены особенности и закономерности неравномерного пространственного распределения зон влияния объектов теплоэнергетики, формирующих потенциальные риски причинения вреда здоровью, канцерогенные и неканцерогенные ингаляционные риски и дополнительные случаи заболеваний (органов дыхания, пищеварения, зрения и др.), ассоциированные с качеством атмосферного воздуха;

- разработан научно-обоснованный алгоритм гигиенической оценки эффективности воздухоохраных мероприятий, базирующийся на интегральном анализе многокомпонентных показателей, обеспечивающий точность и обоснованность оценки регулирующих воздействий в отношении хозяйствующих субъектов и приоритетных загрязняющих веществ;

- расширена и уточнена система параметризованных математических моделей причинно-следственных связей «комбинированная экспозиция – негативный ответ (заболевание)» для конкретных аэрогенных химических факторов риска в зоне влияния объектов теплоэнергетики на твердом топливе;

- усовершенствован методический подход к оценке реализации ингаляционного риска в виде популяционного вреда здоровью на основе теории нечетких множеств;

- показана более высокая вероятность возникновения заболеваний (по данным обращаемости за медицинской помощью) нервной, мочеполовой систем, злокачественных новообразований, заболеваний органов дыхания, пищеварения, зрения, сердечно-сосудистой и костно-мышечной систем у населения, подверженного воздействию твердых и аэрозольных компонентов выбросов объектов теплоэнергетики;

- установлена сопоставимость компонентного, дисперсного и морфологического состава твердых частиц в атмосферном воздухе зоны влияния ТЭЦ и золы, идентичность компонентного состава золы и экзогенных микроразмерных примесей, обнаруженных в биологических средах экспонированного населения (в выдыхаемом воздухе, мокроте);

- обоснован безопасный по критериям риска для здоровья уровень хронического ингаляционного воздействия ультрамелкодисперсной фракции взвешенных частиц (PM₁), составивший 0,002 мг/м³;

- подтверждена высокая гигиеническая значимость дифференцированного подхода к снижению рисков для здоровья населения, основанного на системе ограничений (соблюдение гигиенических нормативов, критериев приемлемого риска) и критериях оптимальности направлений регулирования выбросов и их приоритизации.

Теоретическая и практическая значимость исследования.

Теоретическая значимость. Расширены представления о пространственной вариативности потенциальных рисков для здоровья населения с учётом региональных характеристик; углублены

знания о комплексных механизмах формирования ингаляционных рисков в условиях взаимодействия различных типов источников теплоэнергетики; выявлены и количественно оценены закономерности взаимосвязи между качеством атмосферного воздуха и уровнем заболеваемости с учётом пространственно-временной динамики; идентифицированы новые компоненты твердых частиц зо́лы (металлы), изучена мелкодисперсная фракция и оценен их потенциал к глубокому проникновению в респираторный тракт; усовершенствован методический подход оценки реализации ингаляционного риска в виде причиненного вреда здоровью, детерминированного факторами риска с использованием популяционных данных (данных ТФОМС); получена новая система знаний в области совершенствования и адаптации методических подходов к оценке эффективности воздухоохраных мероприятий на территориях с высоким многокомпонентным уровнем загрязнения атмосферного воздуха; научно обоснованы критерии оценки результативности и эффективности комплексных планов воздухоохраных мероприятий для совокупности источников, их групп и отдельных объектов с учетом митигации рисков и ассоциированного с качеством атмосферного воздуха вреда здоровью населения; обоснована теоретическая эффективность применения дифференцированных подходов к регулированию выбросов для снижения рисков здоровью населения.

Практическая значимость работы заключается в методическом обеспечении деятельности службы в задачах прогнозной оценки эффективности и результативности планируемых воздухоохраных мероприятий, в возможности применения полученных результатов для совершенствования системы управления рисками здоровью населения, подвергающегося аэротехногенному воздействию деятельности объектов теплоэнергетики. На примере репрезентативной территории получены конкретные данные, выявлены зоны и уровни повышенного риска, расчетного вреда здоровью, в виде дополнительной ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости в зонах влияния деятельности объектов теплоэнергетики, основные источники их формирования. Выявленные закономерности между уровнями загрязнения атмосферного воздуха и показателями заболеваемости населения, данные о компонентном составе и свойствах твердых выбросов объектов теплоэнергетики формируют научную основу для определения приоритетных направлений регулирующих воздействий. В ходе исследования обоснованы безопасные уровни содержания взвешенных частиц PM₁ в атмосферном воздухе, которые могут быть рекомендованы для использования при разработке гигиенических нормативов. Выполнен прогноз динамических изменений качества атмосферного воздуха, популяционных рисков и сопряженных с ними нарушений здоровья после проведения воздухоохраных мероприятий. Обоснованы дифференцированные рекомендации по оптимизации системы СГМ и внедрению комплекса митигационных мероприятий по приоритетному снижению вредного воздействия наиболее опасных для здоровья компонентов выбросов объектов теплоэнергетики. Полученные характеристики результативности и

эффективности воздухоохраных мероприятий в отношении объектов теплоэнергетики могут быть учтены при корректировке Комплексных планов воздухоохраных мероприятий в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух».

Методология и методы исследования. В исследовании использован комплекс современных гигиенических методов, включая инструментальные измерения и расчетные оценки уровней загрязнения атмосферного воздуха, эпидемиологический анализ показателей заболеваемости, статистическую обработку данных с применением пространственно-временного анализа, общенаучные методы. Использована методология оценки риска для здоровья при химическом аэрогенном воздействии, подходы к оценке потенциального риска причинения вреда здоровью. Применялось математическое моделирование причинно-следственных зависимостей между факторами воздействия и показателями здоровья населения, включая расчет числа ассоциированных случаев заболеваний. Для оценки эффективности планируемых воздухоохраных мероприятий предложен алгоритм с использованием целевых показателей выбросов, гигиенических нормативов, критериев риска и вреда здоровью населения, позволяющий оценить достаточность реализуемых мер, установить приоритетные факторы, пространственные характеристики зон повышенного риска, численность экспонированного населения, виды потенциального нарушения здоровья. Для прогнозирования рисков и выработки оптимальных решений использованы методы ситуационного моделирования и алгоритмы оптимизации мероприятий по снижению аэрогенного воздействия с использованием алгоритмов ветвей и границ линейного программирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Комплексный методический подход к гигиенической оценке эффективности воздухоохраных мероприятий, основанный на интегральном анализе многокомпонентных показателей, обеспечивает повышение точности и обоснованности оценок регулирующих воздействий в отношении хозяйствующих субъектов и приоритетных загрязняющих веществ;

2. Учёт детализированного компонентного состава и специфики биологического действия выбросов объектов теплоэнергетики на твердом топливе является необходимым условием для достоверной оценки риска и совокупного вреда здоровью населения, проявляющегося в развитии дополнительных случаев заболеваний органов дыхания, зрения, кровообращения, пищеварения, нервной, мочеполовой и костно-мышечной систем, злокачественных новообразований различной степени тяжести;

3. Применение дифференцированного оптимизационного подхода к определению минимально достаточных регулирующих воздействий в отношении выбросов от объектов теплоэнергетики обеспечивает достижение приемлемых уровней рисков и снижение связанных с ними нарушений здоровья.

Степень достоверности и апробация результатов. Диссертация выполнена в соответствии с тематическим планом отраслевой научно-исследовательской программы Роспотребнадзора на 2021–2025 гг. «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровью и повышения качества жизни населения России»; плана НИР ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» на 2021–2024 гг.; материалов мероприятий Федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология». Результаты вошли в отчеты НИР 2021–2025 гг. (ИКРБС И222122800095-5).

Достоверность сформулированных научных положений, полученных результатов, выводов и практических рекомендаций обеспечивается комплексным анализом и обобщением актуальных научных данных, углубленной проработкой материалов официальной статистической отчетности, верификацией результатов, полученных с использованием стандартизированных методик в аккредитованных лабораториях. В основе решения поставленных задач лежало применение воспроизводимых алгоритмов и унифицированных методов, соответствующих критериям доказательной медицины.

Достоверность полученных результатов и сформулированных выводов обусловлена значительным объемом и длительностью выполненных гигиенических исследований, охватывающих период 2017–2024 гг. (85 субъектов РФ с населением 146 млн человек; свыше 1,1 млн источников выбросов; ассоциированная заболеваемость по 4 возрастным группам (дети, подростки, взрослые трудоспособного и старше трудоспособного возраста) и 10 классам заболеваний на основе более 30 статистических моделей и 500 млн единиц данных; население 46,3 тыс. человек в зоне влияния ТЭЦ и 54,9 тыс. человек в группе сравнения (г. Дивногорск) с анализом более 120 нозологий по 10 классам болезней среди детей и взрослых (база данных >12,1 млн записей)); широким обсуждением материалов диссертации на научных форумах международного, всероссийского и регионального уровней.

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на ряде значимых научных мероприятий, включая: XX Международную научную геоконференцию SGEM Vienna Green – 2020 «Green sciences for green life» (Вена, 2020); III Международную конференцию «Агробизнес, экологический инжиниринг и биотехнологии» AGRITECH-III – 2020 (Красноярск, 2020); XX Международную мультидисциплинарную научную конференцию SGEM – 2020 «Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management» (Албена, 2020); XI Всероссийскую научно-практическую конференцию с международным участием «Анализ риска здоровью – 2021: Внешнесредовые, социальные, медицинские и поведенческие аспекты» (Пермь, 2021); IV Всероссийскую научно-практическую конференцию молодых ученых «Экология и здоровье населения» (Ангарск, 2021); Всероссийскую научно-практическую интернет-конференцию молодых учёных и специалистов Роспотребнадзора с международным участием

«Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения» (Пермь, 2021); Международную научно-практическую конференцию «Здоровье и окружающая среда» (Минск, 2021); XXI Международную мультидисциплинарную научную конференцию SGEM – 2021 «Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management» (Албена, 2021); Всероссийскую научно-практическую интернет-конференцию, посвящённую 100-летию образования Санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации «Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях» (Саратов, 2022); Межрегиональную научно-практическую конференцию, посвящённую 100-летию со дня образования Госсанэпидслужбы (Улан-Удэ, 2022); Всероссийскую научно-практическую конференцию с международным участием «Здоровая среда» (Уфа, 2023); Всероссийскую научно-практическую конференцию «Актуальные вопросы гигиены в условиях современных вызовов» (Новосибирск, 2023); XIII Всероссийскую научно-практическую конференцию с международным участием «Анализ риска здоровью – 2023» (Пермь, 2023); VI Международную научно-практическую конференцию «Актуальные проблемы топливно-энергетического комплекса и охраны окружающей среды» (АРЕС-VI-2023) (Москва, 2023); XIV Всероссийскую научно-практическую конференцию с международным участием «Анализ риска здоровью – 2024» (Пермь, 2024).

Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на расширенном заседании научных подразделений ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», включая отделы системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга, математического моделирования систем и процессов, анализа риска для здоровья, химико-аналитических методов исследований, биохимических и цитогенетических методов диагностики (Протокол № 2 от 09.02.2026 г.).

Внедрение результатов исследования. Научные результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, использованы при разработке и обосновании положений методических рекомендаций МР 2.1.6.0320-23 «Порядок определения перечня приоритетных загрязняющих веществ и перечня котируемых объектов с обоснованием оптимальных направлений регулирующих воздействий для минимизации аэрогенных рисков здоровью населения», в ходе реализации отраслевой научно-исследовательской программы Роспотребнадзора на 2021–2025 годы «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками для здоровья и повышения качества жизни населения России», при подготовке Государственных докладов о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в Российской Федерации за 2021–2024 годы. Полученные результаты использованы при разработке и корректировке мероприятий Федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология» на 2018–2024 годы.

Практическое внедрение результатов диссертационного исследования реализовано в трех направлениях. В области контрольно-надзорной деятельности материалы работы используются

Управлениями Роспотребнадзора по Красноярскому и Пермскому краям, по Иркутской области при организации социально-гигиенического мониторинга атмосферного воздуха, оценке комплексного влияния факторов среды обитания на здоровье населения и анализе результативности воздухоохраных мероприятий (акты внедрения от 18.09.2025, 25.09.2025, 25.09.2025). В сфере научно-методического обеспечения результаты внедрены в деятельность ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками для здоровья населения» и использованы при разработке нормативно-методических и информационно-методических документов (акт внедрения от 19.09.2025). В образовательной сфере положения диссертации интегрированы в учебный процесс ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера Минздрава России, применяются в ходе лекционно-практических занятий со студентами медико-профилактического факультета (в рамках реализации программ специалитета «Медико-профилактическое дело», аспирантуры по направлению «Медико-профилактическое дело», ординатуры по специальности «Общая гигиена»), на факультете дополнительного профессионального образования (акт внедрения от 13.10.2025).

Личный вклад автора (80 %) заключается в непосредственном участии на всех этапах диссертационной работы: от формулировки цели и задач, выдвижения рабочей гипотезы и обоснования методологических подходов до сбора, аналитической обработки и статистического анализа первичных данных гигиенических, эпидемиологических и клинико-лабораторных исследований. Автором самостоятельно выполнены обобщение, интерпретация и научный анализ полученных результатов, определены защищаемые научные положения, выводы и практические рекомендации. Личное участие автора проявилось в апробации материалов исследования на научных конференциях и подготовке основных публикаций по теме диссертации.

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликовано 24 научных работ, в полной мере отражающих его основное содержание и результаты. Из них 13 статей размещены в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК при Минобрнауки России для публикации основных научных результатов диссертаций; в том числе 6 статей индексируются в международной базе данных Scopus. Результаты интеллектуальной деятельности защищены 1 патентом РФ на промышленный образец, 4 свидетельствами о государственной регистрации баз данных и 1 свидетельством о регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация представлена на 226 страницах машинописного текста и включает введение, обзор литературы, главу с описанием материалов и методов исследования, четыре главы, содержащие результаты собственных исследований, заключение, выводы, практические рекомендации, приложения и библиографический список. Список литературы насчитывает 273 наименований, из которых 104 работы принадлежит зарубежным авторам. Иллюстративный материал представлен 35 рисунками, цифровые данные систематизированы в 44 таблицах.

ГЛАВА 1 ОБЪЕКТЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ КАК ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ: ОБЩЕРОССИЙСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ, РЕГИОНАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ

Многообразие факторов среды обитания и непрерывный, динамичный характер их воздействия на человека обуславливают необходимость применения междисциплинарного подхода при гигиенической оценке связанных с этим рисков для здоровья [175]. Подавляющее большинство негативных антропогенных изменений в окружающей среде воспринимаются на уровне глобальных, национальных и индивидуальных ценностей в качестве экзистенциальной угрозы для человечества, а не как проблема, ограниченная рамками природных систем, иностранных юрисдикций или частных интересов [183].

В современных условиях одной из основных задач государств является обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия и экологической безопасности населения. Процессы деградации природных ресурсов, вызванные их загрязнением и чрезмерным использованием, создают серьёзную угрозу необратимых изменений в окружающей среде. Такие негативные изменения приводят к ухудшению здоровья населения, снижению качества жизни и росту медико-демографических потерь. В свою очередь, это оказывает влияние на реализацию основных конституционных прав граждан, включая право на жизнь (статья 25), право на охрану здоровья (статья 41), право на благоприятную окружающую среду, на доступ к достоверным сведениям о ее состоянии и на возмещение вреда, причиненного здоровью или имуществу в результате экологических правонарушений (статья 42) [46].

Обеспечение санитарно-эпидемиологической и экологической безопасности является возможным только при условии поддержания качества окружающей среды на таком уровне, который исключает любые риски для здоровья человека. Данный процесс предполагает создание условий, гарантирующих реализацию прав и свобод личности, удовлетворение потребностей, необходимых для нормального физиологического, интеллектуального и духовно-нравственного развития индивида. Обеспечение и сохранение данного состояния достигается за счёт реализации системы динамического контроля факторов среды обитания и оперативного внедрения корректирующих мер в ответ на выявляемые риски для здоровья населения [228]. При этом большое значение имеет стратегия государственной политики, которая должна быть продуманной и относительно неизменной, а тактические задачи ориентированы на обеспечение гигиенической безопасности в зависимости от текущей ситуации (технических и экономических возможностей и прочее) [42]. В рамках данного направления в соответствии с Указом Президента России № 204 от 7 мая 2018 года «О национальных целях и стратегических задачах развития

Российской Федерации на период до 2024 года» инициирован национальный проект «Экология», основные цели которого включают комплексное решение проблем в области охраны окружающей среды и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения [150].

В документе запланирован определенный комплекс природоохранительной деятельности в стране, объединяющий в себе сразу 11 федеральных проектов, рассчитанных на реализацию вплоть до конца 2024 г., в том числе федеральный проект «Чистый воздух» (затем продлен до 2026 года). В рамках национального проекта «Экология» ведётся разработка федеральных проектов «Комплексная система мониторинга качества окружающей среды» и «Научное обеспечение экологической деятельности, экологическое воспитание и просвещение» [90].

Одним из актуальных направлений является вопрос анализа риска здоровью населения, который в Российской Федерации рассматривается в контексте национальной безопасности. В качестве критериев безопасности среды обитания для жизни и здоровья граждан используются гигиенические нормативы и допустимые (приемлемые) уровни риска для здоровья. В санитарном законодательстве предусмотрены нормативные положения, регулирующие оценку влияния факторов окружающей среды на здоровье населения, прогнозирование социальных и экономических эффектов, возникающих в результате внедрения санитарных норм. Критерии данных оценок базируются на принципе обеспечения безопасности для здоровья населения, что закреплено в статье 38 Федерального закона № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

Уровень качества среды обитания является одним из основных факторов, определяющих состояние здоровья населения. Согласно статистическим данным ВОЗ, вклад факторов окружающей среды в этиологию заболеваний человека достигает 25 %, что оказывает существенное влияние на общие показатели заболеваемости [268]. Данные Государственного доклада о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения подтверждают данную зависимость, указывая на то, что до 37,8 % и 46,3 % дополнительных случаев заболеваемости и смертности в Российской Федерации могут быть ассоциированы с вредным воздействием антропогенных и природных факторов окружающей среды [84].

Влияние факторов окружающей среды на здоровье человека представляет собой сложный и многоаспектный процесс, характеризующийся множеством усложняющих элементов, включая полипричинность, возможность обратимости возникающих эффектов, индивидуальные вариации восприимчивости организма. Данное научное исследование, направленное на изучение этих механизмов, имеет высокую актуальность, как для развития науки, так и для практической работы Роспотребнадзора в сфере санитарно-эпидемиологического надзора.

1.1 Роль теплоэнергетики в загрязнении атмосферного воздуха

Качество объектов окружающей среды может оказывать негативное влияние на здоровье населения. Состояние здоровья человека зависит от множества различных между собой факторов, в том числе, образа жизни, качества окружающей среды, биологических и медицинских факторов [13, 78].

Загрязнение атмосферного воздуха признано глобальной проблемой в области гигиены окружающей среды. Снижение объема выбросов, образующихся в процессе хозяйственной деятельности, в первую очередь в сфере теплоэнергетики, представляет собой общемировую задачу, актуальную, в том числе, и для Российской Федерации [164, 236].

Наибольший объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в мировом масштабе образуется от стационарных источников, в частности – объектов теплоэнергетической отрасли. По данным Института мировых ресурсов (WRI) [270] за 2021–2023 гг., на долю энергетического сектора приходится 73-76 % мировых выбросов загрязняющих веществ, из которых за 68 % ответственны 10 стран, а именно: первое место занимает Китай (26,1 % всех выбросов загрязняющих веществ), второе – США (12,67 %), затем страны Евросоюза (7,52 %), Индия (7,08 %) и Россия (5,36 %).

Основная часть электроэнергии вырабатывается за счет сжигания ископаемого топлива: угля, природного газа, нефти, сланцев, торфа. По данным МЭА за 2023–2024 гг., в мире крупным источником энергии остается уголь, из него вырабатывают почти 35-37 % электричества, второй после него – природный газ (23,5 %). Мировое потребление угля достигло рекордных 8,77 млрд тонн в 2024 году и прогнозируется, что спрос останется на этом уровне до 2027 года [190].

Согласно информации, предоставленной Управлением энергетической информации США [204], практически все типы стационарных электростанций, выступающих в роли источников выбросов, оказывают негативное влияние на среду обитания населения, при этом интенсивность и характер данного воздействия значительно различаются в зависимости от категории объектов. Угольные теплоэлектростанции являются наиболее значительными загрязнителями среди различных типов энергетических установок. В процессе эксплуатации они генерируют крупнообъемные выбросы, включающие оксиды азота, диоксид серы, диоксид углерода, тяжелые металлы и взвешенные частицы [26, 48, 206, 210, 254].

Еще в 2007 году Европейский союз реализовал ряд мероприятий в области энергетики и климата, направленных одновременно на сокращение выбросов и реформирование энергетического сектора до 2020 года. Законодательные схемы по ВИЭ (Директива по

возобновляемым источникам энергии – RED I) и энергоэффективности (Директива по энергоэффективности – EED) способствовали более быстрому переходу к безуглеродной энергетике [191].

В Евросоюзе реализуется программа «Чистая энергия для всех европейцев», состоящая из восьми законодательных актов, устанавливающих европейские энергетические цели на 2030 год и прокладывающих путь к их достижению. Новая правовая база устанавливает обязательную цель ЕС: доля ВИЭ в энергетическом балансе ЕС не менее 32 % и энергоэффективность не менее 32,5 % к 2030 году [29]. Как указывается в Сообщении комиссии Европейскому парламенту, Совету, Европейскому экономическому и социальному комитету и Комитету регионов, более 10 государств-членов (Австрия, Дания, Италия, Франция, Португалия, Ирландия, Великобритания и др.) объявили о поэтапном отказе от угля до 2030 года, и ВИЭ будут активно развиваться в производстве электроэнергии в большинстве стран [191].

Зарубежные специалисты [222, 257] полагают, что почти все побочные продукты сгорания ископаемого топлива на теплоэлектростанциях оказывают негативное влияние на окружающую среду и здоровье человека. Повышенное содержание химических веществ в воздухе может ежегодно уносить 7 млн жизней по всему миру [270]. Каждый год от загрязнения воздуха мелкодисперсными частицами умирают 40 тыс. детей, не дожив до пяти лет [48, 233].

Анализ приведенных данных обусловлен необходимостью улучшения качества атмосферного воздуха, в связи с чем в 2021 году ВОЗ опубликовала новые рекомендации по качеству воздуха [266] после систематического обзора последних научных исследований, демонстрирующих, как загрязнение воздуха наносит ущерб здоровью человека. В странах Европейского союза сформирована и функционирует система нормативно-правового регулирования качества атмосферного воздуха, базирующаяся на директивных документах, регламентирующих предельно допустимые уровни содержания приоритетных загрязняющих веществ. Установленные стандарты распространяются на широкий спектр загрязняющих веществ, включая серы диоксид, азота диоксид, азота оксид, взвешенные частицы PM₁₀ и PM_{2.5}, бензол, свинец, углерода оксид, токсичные металлы (мышьяк, кадмий, никель), полициклические ароматические углеводороды (бенз(а)пирен) и озон [150, 171, 225, 258]. При этом в 2022 г. предложено пересмотреть Директивы по качеству окружающего воздуха с учетом рекомендаций ВОЗ по качеству атмосферного воздуха (Проект Директив) [244]. И уже в 2025 году на конференции в Колумбии, с участием лидеров, общественных организаций, ООН и ученых, сформирована глобальная стратегия по улучшению качества воздуха для здоровья, климата и устойчивого развития. ВОЗ совместно со Швейцарским институтом представила обновленную базу данных о стандартах качества воздуха в 140 странах, отражающую национальные усилия по контролю загрязнения воздуха [173].

Проблемы энергетики могут быть решены. Радикально уменьшить воздействие этой отрасли на здоровье населения и среду обитания удастся, отказавшись от использования ископаемого топлива. Энергию можно добывать с помощью альтернативных источников, которые считаются экологически чистыми: ветер, солнечный свет, водные потоки и недра Земли (геотермальное тепло), биотопливо (древесина, торф, этанол, метанол и другие) [10, 149]. Согласно данным МЭА, в 2020 году во всем мире доля ВИЭ в производстве электроэнергии достигала порядка 28 %, в 2023 году ВИЭ составили почти 30 % в мировом производстве электроэнергии. В отчете МЭА прогнозируется, что к 2028 году ВИЭ станут крупнейшим источником электроэнергии в мире, обогнав уголь [23, 149, 215].

В Российской Федерации за последние 5 лет отмечается позитивная динамика в отношении показателей качества атмосферного воздуха, однако еще имеется ряд нерешенных проблем. Согласно данным Росстата, в 2021 году на 77 единиц увеличилось число городов, в которых среднегодовые концентрации одного, либо нескольких загрязняющих веществ, превысили предельно допустимую концентрацию. При этом необходимо учитывать, что динамика рассматриваемого показателя не всегда отражает реальное ухудшение состояния атмосферного воздуха, а может быть связана с вступлением в силу в 2021 году СанПиН 1.2.3685-21, которыми установлены более жесткие гигиенические нормативы для отдельных загрязняющих веществ. При сохранении нормативных требований, действовавших до введения данного документа, количество городов с превышениями ПДК снизилось бы на 5 и составило 129. В 2023 году в 81 % наблюдаемых городов (200 городов), где проживает 73,2 миллиона человек, среднегодовые концентрации хотя бы одного загрязняющего вещества превысили 1 ПДК.

В период 2017–2023 гг. объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в результате деятельности всех отраслей промышленности и автотранспорта снизился с 3 206 тыс. тонн в 2017 году до 2 197 тыс. тонн в 2023 году, сокращение за период составило около 31,5 %. Доля выбросов, произведенных стационарными источниками, увеличилась с 54,5 % в 2017 году до 77,1 % в 2023 году [79].

В 2023 году зафиксировано увеличение количества анализируемых проб по сравнению с уровнем 2017 года на 28,0 %, а количество проб воздуха, которые превышают ПДК загрязняющих веществ – на 8,6 %, при этом доля проб, превышающих ПДК, в общем числе исследованных проб, практически не изменилась [108]. В 2023 году среднероссийские показатели количества нестандартных проб воздуха на территориях городских поселений составляли 0,78 %, на сельских – 0,58 %. К основным загрязняющим веществам, негативно влияющим на качество атмосферного воздуха, относятся бенз(а)пирен, ксилол, взвешенные вещества, дигидросульфид, взвешенные частицы PM₁₀, PM_{2.5}, диоксид серы, толуол, этилбензол, углерод (сажа), фтористый водород, формальдегид и другие. Концентрации данных химических компонентов в атмосферной

среде превышали пятикратное значение предельно допустимой концентрации и фиксировались на территории двадцати субъектов Российской Федерации, включая Забайкальский, Красноярский и Хабаровский края, Иркутскую, Кировскую, Мурманскую, Рязанскую, Кемеровскую области, Республики Бурятию, Саха (Якутия) и другие регионы [81–86].

Среди антропогенных источников, определяющих качество атмосферного воздуха в мире и в Российской Федерации, являются деятельность промышленных предприятий, энергетическая отрасль, транспортная индустрия. К числу наиболее значимых и потенциально опасных загрязнителей атмосферного воздуха относятся диоксид серы (SO_2), различные оксиды азота (NO_x), аэрозольные взвешенные частицы, угольная пыль, ЛОС, включая бенз(а)пирен, монооксид углерода (CO), озон (O_3) и свинец (Pb) [24, 27, 32, 69, 85, 86].

Согласно данным за 2023 год, в Российской Федерации сформирован перечень из 33 городов (приложение А), характеризующихся наибольшими уровнями загрязнения атмосферного воздуха (комплексный ИЗА ≥ 14), на территории которых проживает порядка 10,1 млн человек. Пространственный анализ свидетельствует о преимущественном расположении данных городов в восточной части страны, где доминирующим источником выбросов выступают объекты теплоэнергетики. Отраслевая структура промышленного комплекса исследуемых территорий характеризуется наличием предприятий черной, цветной и алюминиевой металлургии (13 городов), химической, лесной и деревообрабатывающей промышленности (8 городов) [150]. В течение последнего десятилетия уровень загрязнения атмосферного воздуха в промышленных центрах Сибирского федерального округа варьировался от высоких до очень высоких значений, при этом комплексный ИЗА колебался в интервале от 9,3 до 22 [85].

В Российской Федерации теплоэнергетика является активно развивающейся отраслью и одновременно основным источником антропогенных выбросов; при этом значительная доля электроэнергии (около 40 %) по-прежнему вырабатывается на тепловых электростанциях [138, 163].

Деятельность хозяйствующих субъектов в теплоэнергетическом секторе классифицируется как «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» (класс 35), включающим такие виды деятельности, как производство, передача и распределение электроэнергии, газообразного топлива, пара и горячей воды, системы кондиционирования воздуха [101].

В соответствии с ежегодным докладом Минэнерго России о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения (за 2020 год) [87], количество организаций, осуществляющих теплоснабжение населения, в последние годы плавно снижалось и в 2020 г. составило 19 404 ед. (на 11 % ниже, чем в 2015 г. (21 762 ед.)). На 2023 год основным источником производства электроэнергии остаются тепловые электростанции, которые обеспечивают около 63,6 % общего объема выработки энергии [88, 89]. В 2020 году на долю Центрального, Приволжского и

Сибирского федеральных округов приходилось около 62 % от всего отпуска тепловой энергии в стране. Еще 25 % составляли Северо-Западный ФО и Уральский ФО. Наибольшая доля ТЭС в общей структуре отпуска тепловой энергии отмечена в СФО – 58 %, минимальное значение доли ТЭС в СЗФО – 15 % [87].

Тепловые электростанции в России используют разные источники энергии. Самыми распространёнными видами топлива являются уголь и природный газ [66]. В СФО, являющимся одним из наиболее напряжённых округов страны в гигиеническом аспекте, доля тепловых электростанций, использующих уголь, мазут и торф в качестве основного топлива, достигает 90,7 %, при этом в ДФО данный показатель составляет всего 53 %. Помимо тепловых электростанций на территории Российской Федерации функционирует значительное количество частных отопительных котельных и АИТ, использующих уголь, торф и горючие сланцы в качестве основного энергоносителя; по состоянию на 2018 год их численность составляла около 74,8 тысячи единиц. Основной характеристикой частных отопительных котельных является низкая высота дымовых труб, что способствует формированию приземной зоны загрязнения атмосферного воздуха [69, 77, 155].

Главным преимуществом твердотопливных котельных является высокая степень автономности, обеспечивающая бесперебойное функционирование систем теплоснабжения и горячего водоснабжения жилых зон и промышленных объектов в условиях экстремально низких зимних температур, характерных для восточных регионов. Вместе с тем, территориальная локализация объектов теплоэнергетики преимущественно в границах селитебных зон либо в непосредственной близости от них создает предпосылки для ухудшения качества атмосферного воздуха и формирования дополнительной аэрогенной нагрузки на население. Дополнительно, неблагоприятные природно-климатические характеристики Сибирского округа, такие как низкие температуры, ограниченное воздушное движение и повышенная влажность, способствуют снижению эффективности рассеивания химических загрязнителей и накоплению воздушных загрязнений, что в итоге приводит к повышенным уровням загрязнения всех компонентов среды обитания [150, 82, 82, 163].

В Восточной Сибири сосредоточено около 70 % запасов каменного и бурого угля России, что, в сочетании с низкой степенью газификации, обуславливает его главную роль в энергетическом балансе региона. Низкий уровень газификации объясняется географическими и экономическими особенностями, такими как распределение природных ресурсов и ограниченное развитие инфраструктуры, что, в отличие от более развитых регионов, ограничивает применение газового топлива [122].

На территории Сибири находятся три крупных угольных бассейна с десятками разрезов: Кузнецкий, Канско-Ачинский и Иркутский, на которых добывают каменный и бурый уголь, лигнин.

Минеральный состав каменного и бурого углей, применяемых на теплоэлектроцентралях СФО, характеризуется наличием неорганических соединений, представленных силикатами, сульфидами, сульфатами, карбонатами, оксидами железа и кремния, доля которых составляет от 45 до 60 %, алюминия – от 10 до 30 %, и магния до 10 %. В ходе термической переработки углей, включающей процессы сжигания, газификации и химического преобразования с получением жидких продуктов, формируются твердые отходы в виде золы и шлаков, газообразные выбросы. Данные выбросы являются многофазными и полиминеральными коллекторами химических элементов и представляют собой техногенный концентрат, в частности, концентрат редких металлов. Ежегодно в мировом масштабе формируется порядка 700 млн тонн золошлаковых отходов. Состав зол условно подразделяется на три основные группы: стекловидные, кристаллические и органические компоненты [33, 157].

Стекловидная фаза характеризуется сложным и разнообразным химическим составом. Золы каменного и бурого угля, содержащие до 20 % CaO, преимущественно состоят из ферроалюмосиликатного стекла, в котором основные стеклообразующие оксиды Fe_2O_3 , Al_2O_3 и SiO_2 составляют 80–90 % от общего объема [33]. Кристаллическая часть зол включает как первичные минералы, изначально присутствующие в углях, так и новообразованные в процессе топочной обработки. Наиболее распространены минералы магнетит, гематит, муллит и кварц, в меньшей степени – геленит и фаялит. Среди новообразованных минералов выделяются силикаты, алюминаты и ферриты кальция различной основности, которые известны как цементные (клинкерные) материалы.

Помимо минеральной составляющей, золошлаковые отходы содержат несгоревшие органические включения. Органическая фракция углей (недожог) присутствует во всех образцах зол, обычно в количестве менее 5 %. Она представлена полукоксами и коксом с низким содержанием летучих веществ. Недожог может находиться в золе, как в виде отдельных органических частиц, так и в виде включений в агрегаты, образованные различными фазами [33].

Летучие золы представляют собой основную часть совокупных отходов теплоэнергетического комплекса, составляя при пылевидном сжигании угля от 60 до 95 % общего объема отходов [124]. Без проведения предварительной классификации эти отходы характеризуются высокой сложностью для систематического изучения и последующего использования, поскольку представляют собой поликомпонентные системы с переменным гранулометрическим, химическим и минерально-фазовым составом [184]. Размерная дистрибуция частиц летучих зол достаточно широка и варьируется от субмикронных размеров до сотен микрон. В зависимости от типа угля и условий его сжигания массовая доля зольных частиц размером менее 10 мкм колеблется в диапазоне 6–42 %, частиц размером 10–90 мкм – от 40 до

92 %, тогда как частицы размером более 90 мкм могут, как отсутствовать, так и составлять до 50 % от общей массы золы [176].

На основании статистических данных и результатов многочисленных научных исследований установлено, что основными составляющими выбросов тепловых электростанций являются характерные для стационарных промышленных источников загрязнители, включая оксид углерода (CO), оксиды азота (NO_x), аммиак (NH₃), соединения серы, углеводороды, бенз(а)пирен, взвешенные вещества. Тепловые электростанции выделяют в атмосферу парниковые газы, такие как метан (CH₄) и озон (O₃), фториды, ЛОС, углерод (сажу), неорганическую пыль, абразивные материалы, древесные остатки, мазутную золу, минеральные масла и другие загрязняющие вещества. В зарубежных научных источниках представлены результаты исследований, изучающие химический состав сточных вод, образующихся в процессе эксплуатации объектов теплоэнергетики. Особое внимание в указанных работах уделяется идентификации и количественному определению содержания оксидов металлов, включая соединения ванадия, железа, кальция, алюминия, магния и прочие [12, 109, 113, 139, 181, 197, 221, 241].

Химический состав и соединения, выявленные на сегодняшний день в продуктах сгорания угля [252], показатели, регламентируемые для выбросов теплоэлектроцентралей с классификацией по группам соединений, элементов и ионов, подробно рассмотрены и представлены в исследовании, выполненном С.В. Михайлютой и А.А. Лежениным [54]. Так, в состав выбросов, образующихся при сжигании угля, входят твердые частицы и их компоненты, которые имеют мелкий и сверхтонкий размер (значительно меньше 1 мкм в диаметре).

Твердые частицы делятся на три основные группы: крупные частицы (до 10 мкм), мелкие частицы (до 2.5 мкм) и сверхмелкие частицы (до 1 мкм и меньше). Эти размеры частиц, как правило, различаются по происхождению и влиянию на здоровье [172, 192, 195]. В 2021 году главным государственным санитарным врачом Российской Федерации утвержден документ «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [99]. Данным документом устанавливаются предельно допустимые концентрации для взвешенных частиц PM₁₀ и PM_{2.5}. Нормирование взвешенных частиц PM₁ и ультрадисперсных (от 0,1 до 1,0 мкм) взвешенных частиц законодательством Российской Федерации не осуществляется [3, 156].

Опыт отечественных и зарубежных исследователей свидетельствует о том, что выбросы твердых частиц предприятий представляют собой полидисперсную, многокомпонентную смесь, содержащую мелкодисперсные частицы в широком диапазоне размеров и концентраций, что, в свою очередь, соответствует литературным данным разных лет [30, 49, 167, 205, 238, 251]. В такой ситуации контроль загрязнения воздуха по уровню концентрации взвешенных веществ/частиц, как отмечают некоторые авторы, в ряде случаев маскирует опасные фракции

пыли, что последовательно приводит к недооценке рисков причинения вреда здоровью человека [4, 19, 31, 36, 53, 103, 106].

Взвешенные частицы PM1 являются наиболее опасным вариантом мелкодисперсных частиц, поскольку данные частицы проникают непосредственно через легкие в кровоток и, таким образом, распространяются по органам [237]. Уровень содержания частиц PM1 в атмосферном воздухе, в отличие от PM2.5 и PM10, в зарубежных странах не регулируется и технология мониторинга не разработана. Однако на сегодняшний день проводятся исследования, которые уже позволяют оценить конкретный вред, наносимый PM1 [237, 271].

По данным научного исследования, опубликованного в журнале *Atmosphere* (2019), изучались твердые частицы в воздухе вокруг четырех дошкольных учреждений и восьми промышленных объектов в Польше. Исследователи обнаружили тесную корреляцию между PM1 и PM2.5, предполагая, что почти 75 % частиц PM1 (менее 1 микрона) в окружающей среде попадают в диапазон размеров PM2.5 [227].

Исследование показало, что переносимые по воздуху канцерогены, такие как кадмий, хром и никель, обычно обнаруживаются на частицах PM1 вблизи городских районов и промышленных предприятий. Концентрации этих канцерогенов варьировались от 10 нг/м³ до 800 нг/м³ в пробах частиц PM1 в пределах километра от промышленных предприятий.

Исследование атмосферного воздуха в Дели (Индия) с октября по ноябрь 2020 г. хорошо иллюстрирует распространенность PM1 в городских районах, обнаружив средние концентрации PM1 от 200 до 300 мкг/м³ за весь период исследования [264].

Исследование, проведенное в *Scientific Reports* (2020), обнаружило следовые уровни следующих химических веществ и тяжелых металлов на частицах PM1, измеренных недалеко от города Харбин (Китай), в котором в холодное время года в основном используется уголь для отопления [174]: сульфаты, нитраты, аммоний, цинк, хром, никель, свинец, кадмий, кобальт. Все эти элементы и соединения, особенно тяжелые металлы, такие как свинец и кадмий, оказывают доказанное долгосрочное негативное влияние на здоровье, вызывая рак и болезни сердца.

Помимо данных о концентрациях твердых частиц, литературные источники [178, 185, 204, 209, 211, 231, 240, 252, 255] предоставляют информацию о присутствии в выбросах, образующихся при сжигании угля, ПАУ и их производных, включая полихлорированные дибензо-р-диоксины (PCDDs), полихлорированные дибензофураны (PCDFs), полихлорированные бифенилы (PCB) и гексахлорбензол (HCB). Среди углеводородов, выявленных в выбросах угольного сжигания, выделяются алканы с числом атомов углерода от 1 до 10, алкены с 2–10 атомами углерода, включая 1,3-бутадиен, ароматические соединения, такие как бензол, ксилолы, толуол и стирол. При сжигании бурого угля дымовые газы могут содержать повышенные

концентрации никеля (Ni), хрома (Cr), фтора (F), мышьяка (As), ртути (Hg) и других металлов, многие из которых обладают канцерогенными свойствами.

Существующая научная база демонстрирует, что повышенные концентрации атмосферных загрязнителей, выделяемых теплоэлектростанциями, имеют мультисистемное токсическое воздействие. Отмечается вовлечение в патологический процесс дыхательной, иммунной, нервной, мочеполовой, опорно-двигательной, репродуктивной и сердечно-сосудистой систем, повышение риска развития неоплазий [107, 130, 247, 242]. В пределах промышленных городов Сибирского округа значительная доля (около 50 %) случаев обострений хронических неспецифических заболеваний дыхательных путей может быть атрибутирована загрязнению атмосферного воздуха, создаваемому промышленными предприятиями, включая тепловые электростанции [39]. Патологии органов дыхания, формирующиеся в результате воздействия поллютантов, включают заболевания верхних дыхательных путей (ринит, ларингит, фарингит) и заболевания проксимального и дистального отделов бронхиального дерева (трахеит, бронхит, хроническая обструктивная болезнь легких, бронхиальная астма, бронхиолит, новообразования) [15].

В течение последних пяти лет отмечается интенсивное внедрение комплексных природоохранных инициатив, включая федеральные и региональные проекты, такие как «Чистый воздух», «Чистая страна» и «Энергетическая стратегия России». Реализация данных программ предусматривает применение мер, направленных на улучшение качества атмосферного воздуха с особым фокусом на субъекты хозяйственной деятельности, функционирующие в сфере производства и распределения электроэнергии, газа и пара [45].

Согласно положениям «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» [165], предполагается достижение существенного снижения объемов выбросов, сбросов и образования отходов предприятиями теплоэнергетического комплекса. Снижение будет осуществляться параллельно с прогнозируемым ростом производства (добычи) энергоресурсов. Поскольку газ является сравнительно наиболее экологически «чистым» видом топлива, Энергетической стратегией предусмотрены проекты по развитию газотранспортной инфраструктуры в отдельных регионах России. Так, например, основополагающими проектами являются: строительство магистрального газопровода «Сила Сибири», развитие системы газотранспортной инфраструктуры Северо-Запада России для обеспечения подачи газа в «Северный поток-2», расширение газопровода «Сахалин – Хабаровск – Владивосток» и др.

В докладах ВОЗ отмечается тенденция к увеличению числа людей, подвергающихся риску смертности вследствие загрязнения атмосферного воздуха. В стратегических планах развития предусматривается реализация политики и комплекса мер, направленных на идентификацию и контроль основных источников загрязнения воздуха, внедрение экологически чистых и эффективных городских транспортных систем, регулирование промышленных и иных выбросов. Акцент делается

на постоянном проведении мониторинга качества атмосферного воздуха с целью оценки его состояния и влияния на здоровье населения [266, 269].

1.2 Влияние объектов теплоэнергетики на здоровье населения, проживающего в пределах зон повышенного риска

В России около 40 % всего объема выбросов твердых частиц в атмосферу приходится на долю предприятий теплоэнергетики [102]. Компонентный состав выбросов загрязняющих веществ зависит от марки и количества сжигаемого угля, от вида котла, типа топок и эффективности средств пылеулавливания.

По данным научных исследований, в основном зарубежных авторов, установлено, что сжигание каменного угля приводит к поступлению в атмосферный воздух широкого спектра химических примесей, каждая из которых ассоциирована с негативным воздействием на определённые системы организма человека. Результаты анализа причинно-следственных связей свидетельствуют о том, что развитие болезней системы кровообращения ассоциировано с повышенной экспозицией оксида серы, свинца, ртути, сероводорода, оксида азота и кадмия. Заболевания органов дыхания детерминируются преимущественно воздействием оксидов серы и азота, оксида углерода, фенола, аммиака, хлора, ртути, взвешенных веществ. В формировании болезней нервной системы значимую роль играют хром, диоксид кремния, свинец, ртуть и таллий. Формирование болезней органов пищеварения ассоциировано с сероводородом, сероуглеродом, фенолом и фтором. Болезни крови коррелируют с воздействием азотистоводородной кислоты, этилена, пропилена и оксида серы, тогда как нарушения со стороны мочеполовой системы связаны с сероуглеродом и бутиленом. Важнейшими канцерогенами, способствующими развитию новообразований, являются мышьяк и кремнезём [17, 21, 114, 129, 150, 159, 196, 203, 214, 229, 245, 267].

Вместе с тем, с загрязнением атмосферы связывают заболевания [114, 115, 202, 224]: ухудшение функции легких и возникновение обострений бронхиальной астмы и ХОБЛ (хронической обструктивной болезни легких), повышение риска развития рака легких, риска острых сердечно-сосудистых осложнений (например, инфаркта миокарда), развитие заболеваний коронарных артерий и др.

Наибольшее негативное влияние в результате загрязнения атмосферы испытывают более уязвимые к болезням, вызванным загрязнением воздуха, категории населения. По некоторым исследованиям, первичная заболеваемость среди детей выше в 4-5 раз, чем у взрослых [68]. В

наибольшей опасности оказываются жители мегаполисов: воздух на этих территориях содержит большое количество взвешенных веществ, сажи, нитратов и других элементов, появляющихся в результате сгорания топлива, процент содержания кислорода ниже, чем в сельской местности. Так, в некоторых крупных городах в атмосфере содержится всего 17-18 % O_2 при норме 21-22 % [18, 177, 243].

Изучение частиц PM_{10} в атмосферном воздухе является относительно новым направлением исследований твердых частиц. Обобщенные данные научных исследований, проведенных в период с 2004 по 2021 гг. в Китае, Вьетнаме и Америке [216], показывают, что повышенные концентрации частиц PM_{10} в атмосферном воздухе оказывают прямое негативное влияние на органы дыхательной системы человека и могут приводить к развитию астмы, пневмонии и других респираторных заболеваний.

Исследование 2020 года, в котором измерялись уровни PM_{10} в 65 китайских городах, показало, что каждое повышение уровня PM_{10} на 10 мкг/м^3 увеличивает риск возникновения сердечных заболеваний у человека на 0,29 %, при средних уровнях PM_{10} в 27 мкг/м^3 в 65 городах этот эффект гораздо более значим для PM_{10} , чем для $PM_{2.5}$ или PM_{10} [213].

В другом исследовании 2020 года, опубликованном в журнале Hypertension, изучалась возможная связь между PM_{10} и высоким кровяным давлением. В нем приняли участие почти 10 000 китайских детей в возрасте от 5 до 17 лет в период с 2012 по 2013 год. Почти 50 % детей регулярно подвергались воздействию табачного дыма, а 10 % жили в домах, в которых для отопления помещений использовался уголь. Исследователи пришли к выводу, что каждое увеличение PM_{10} на 10 мкг/м^3 увеличивает риск высокого кровяного давления у детей на 61 %, особенно у детей младше 11 лет и у детей с избыточным весом или ожирением [173].

В ряде зарубежных работ изучено влияние PM_{10} и $PM_{0.1}$ на организм человека и способность этих частиц системно влиять на внутренние органы. Воздействие ультрамелких частиц может вызывать нарушения на клеточном и субклеточном уровне организма человека. Данные нарушения проявляются в виде ослабления митохондриальных функций клеток, снижения их способности регулировать гомеостаз, индуцировать ДНК-связывающую и транскрипционную активность, стимуляции экспрессии генов, ангиогенеза, метастазирования, пролиферации клеток и других эффектов [208, 217, 230, 262, 269].

В исследованиях приведены данные по выявлению биомаркеров воздействия поллютантов PM на разные возрастные категории людей. Показано негативное влияние твердых частиц на дыхательную, эндокринную, пищеварительную, нервную, кроветворную, костно-мышечную системы, увеличение риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, злокачественных новообразований [235].

Согласно данным государственных отчетов [104, 105], уровень смертности населения в Сибирском федеральном округе в 2023 году составил 8,8 случая на 1000 населения, что превышает показатель 2018 года в 1,5 раза, равный 13,0 случаям на 1000 населения. Динамический анализ первичной заболеваемости населения Сибирского федерального округа за период с 2018 по 2023 год выявил тенденцию к росту. В 2023 году зарегистрировано 86 048,9 случаев заболеваний на 100 тысяч населения, что превышает показатели предыдущих лет (85 060,2 в 2017 г. и 85 911,3 в 2018 г.). Структурный анализ первичной заболеваемости в СФО за 2023 год демонстрирует доминирование патологий органов дыхания, доля которых составила 46,4 %, что является приростом по сравнению с 42,1 % в 2018 году.

Как отмечают Просвирякова И.А. и Шевчук Л.М. [123], в возникновении болезней органов дыхания взвешенные мелкодисперсные частицы PM_{2.5} и PM₁₀ вносят вклад более 30 %. Ряд исследований свидетельствует о том, что доля мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе составляет от 30 % до 60 % от общей массы [198, 227, 234, 239, 253, 256].

Недавние исследования [232, 241, 245] показывают, что PM_{2.5} проявляет повышенную сердечно-сосудистую токсичность и больший потенциал для развития окислительных процессов в клетках организма. Воздействие данных частиц проявляется в изменении функции эндотелия, что может привести к развитию сердечно-сосудистых заболеваний, таких как гипертония, диабет и атеросклероз. Ультрамелкодисперсные частицы составляют большую часть взвешенных твердых частиц в воздухе закрытых помещений (до 90 %). В 2022 году 96 % городского населения Европы подвергалось воздействию PM_{2.5}, превышающему рекомендуемый порог ВОЗ (5 мкг/м³), что привело к более чем 239 тыс. смертей в 27 странах ЕС [188, 201, 207, 219, 249]. Частично эта преждевременная смертность связана с раком: Международное агентство по изучению рака (IARC) считает, что рак легких связан с загрязнением атмосферного воздуха, наличием PM в атмосферном воздухе, загрязнением воздуха внутри помещений в результате сжигания угля и биомассы. Крупные исследования в Европе [170, 212, 226, 246] и других странах подтвердили связь между PM и раком легких, как это отражено в рекомендациях ВОЗ по качеству воздуха (WHO, 2021). Загрязнение воздуха связано с 0,5–1 % всех случаев рака в Европе [194] и с более чем 7 % случаев рака легких [220, 223].

Государственные отчеты о состоянии окружающей среды в Российской Федерации констатируют, что за последние годы более 50 миллионов граждан страны проживают в населенных пунктах, характеризующихся высоким и очень высоким уровнем антропогенного загрязнения атмосферного воздуха, где наблюдается превышение предельно допустимых концентраций одного или нескольких загрязняющих веществ как по разовым значениям, так и по среднегодовым показателям. Анализ ведомственной статистики и данных Федерального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга за 2023 год позволяет оценить

общее число дополнительных случаев заболеваний, ассоциированных с загрязнением атмосферного воздуха на территории Российской Федерации. Согласно полученным данным, этот показатель составляет приблизительно 599,6 случаев на 100 тысяч человек населения [85]. Как правило, высокий уровень загрязнения наблюдается по веществам, чья роль в негативном воздействии на здоровье населения подтверждена эмпирическими данными, включая диоксид азота, взвешенные вещества, формальдегид, диоксид серы, фенол и другие аналогичные соединения [79].

В соответствии с Гражданским кодексом Российской Федерации (глава 59) устанавливаются правовые механизмы компенсации вреда, причиненного жизни или здоровью физических лиц, включая основания, условия и порядок возмещения ущерба. Анализ судебной практики показывает, что в отношении теплоэлектростанций преимущественно инициированы административные правонарушения, заключающиеся в осуществлении выбросов в атмосферный воздух или несоблюдении санитарно-эпидемиологических требований относительно труда работников ТЭЦ, которые доказано обуславливают формирование потенциального вреда здоровью [119. 135].

1.3 Государственное регулирование охраны атмосферного воздуха в Российской Федерации: основные инструменты, влияющие на качество жизни населения

Под охраной атмосферного воздуха понимается совокупность организационно-правовых, технико-технологических и экономических мероприятий, осуществляемых органами власти различных уровней, юридическими и физическими лицами. Данные мероприятия направлены на обеспечение нормативного качества воздуха и предотвращение вредного воздействия его загрязнения на здоровье человека и окружающую среду [93].

Нормативно-правовое обеспечение охраны атмосферного воздуха является фундаментальным механизмом обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия и экологической безопасности, систематизирующим инструменты государственного контроля за антропогенным воздействием на среду обитания [28, 41, 152]. Эффективность указанного регулирования оказывает непосредственное влияние на качество жизни населения.

Основу правового регулирования охраны атмосферного воздуха в РФ составляют два федеральных закона: «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ [71], устанавливающий общие принципы, и конкретизирующий его положения Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 № 96-ФЗ [93]. В системе указанных

законодательных актов закреплены следующие основные правовые механизмы, направленные на обеспечение качества воздушной среды: «...установление предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ, нормативов физического воздействия и лимитов на выбросы в атмосферу; гарантирование открытого доступа к данным о состоянии атмосферного воздуха и его загрязнении; реализацию системы платы за выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников загрязнения; организацию системы государственного мониторинга качества атмосферного воздуха; осуществление государственного контроля (надзора) для обеспечения соблюдения требований в области охраны атмосферного воздуха; ведение государственного учета выбросов загрязняющих веществ, вредных физических воздействий и идентификацию их источников; проведение инвентаризации источников и объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу; разработку и утверждение хозяйствующими субъектами, осуществляющими деятельность на объектах I, II и III категорий, программ ПЭК, включающих данные инвентаризации выбросов загрязняющих веществ и их источников, другие значимые мероприятия...» [93].

К числу основных нормативно-методических документов, устанавливающих требования к организации деятельности по охране атмосферного воздуха, относятся:

- Постановление Правительства РФ от 02.03.2000 № 182 «О порядке установления и пересмотра экологических и гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха, предельно допустимых уровней физических воздействий на атмосферный воздух и государственной регистрации вредных (загрязняющих) веществ и потенциально опасных веществ»;
- Постановление Правительства РФ от 09.12.2020 № 2055 «О предельно допустимых выбросах, временно разрешенных выбросах, предельно допустимых нормативах вредных физических воздействий на атмосферный воздух и разрешениях на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух»;
- Приказ Минприроды России от 11.08.2020 № 581 «Об утверждении методики разработки (расчета) и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух»;
- Постановление Правительства РФ от 21.04.2000 № 373 «Об утверждении Положения о государственном учете вредных воздействий на атмосферный воздух и их источников»;
- Санитарные правила и нормы (СанПиН) 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»;
- МУ 2.1.6.792-99 «Выбор базовых показателей для социально-гигиенического мониторинга (атмосферный воздух населенных мест)» и другие нормативные документы.

С точки зрения задач, стоящих перед Роспотребнадзором, основными направлениями воздухоохранной деятельности в Российской Федерации, реализуемыми в рамках государственного регулирования, являются:

1. Обеспечение государственного нормирования качества атмосферного воздуха посредством разработки и введения в действие системы санитарных правил и гигиенических нормативов [142];

2. Реализация государственного санитарно-эпидемиологического надзора и контроля, включая проведение комплекса исследований, испытаний, экспертиз, аналитических и оценочных работ, включая научно-исследовательскую деятельность по вопросам, связанным с реализацией надзорных полномочий в установленной сфере [79, 84–86];

3. Организация социально-гигиенического мониторинга состояния атмосферного воздуха на постах наблюдения, анализ полученных данных и оценка их влияния на здоровье населения;

4. Организация и реализация санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий предусматривает участие в разработке и внедрении федеральных целевых программ, направленных на сохранение и укрепление здоровья населения, обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия, комплексных программ мероприятий по снижению уровня загрязнения атмосферного воздуха в крупных промышленных регионах [74];

5. Информационное обеспечение населения: обеспечение доступа к актуальным данным о состоянии атмосферного воздуха.

Оценка и прогностическое моделирование состояния атмосферного воздуха реализуются посредством многоуровневой системы мониторинга, отслеживающей динамику его загрязнения. Организация и гарантированное проведение мониторинга атмосферного воздуха осуществляются Правительством Российской Федерации, органами государственной власти субъектов РФ и органами местного самоуправления. Данная деятельность направлена на систематическое наблюдение за уровнями атмосферных загрязнителей, проведение комплексной оценки и прогнозирования состояния воздушной среды, на обеспечение актуальной информацией органов государственной власти, организаций и широкой общественности.

Функционирование системы наблюдения за состоянием атмосферного воздуха в РФ формируется взаимодействием нескольких ведомственных структур: Росгидромета (посты государственного экологического мониторинга), Роспотребнадзора (посты ФБУЗ ЦГиЭ) и органов власти субъектов РФ (территориальные посты наблюдения). С целью повышения эффективности оценки качества атмосферного воздуха оптимизация системы предполагает сопряжение массивов данных и организацию межведомственного обмена информацией (как первичной, так и обработанной).

В пределах установленных полномочий Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) реализуется федеральный государственный санитарно-эпидемиологический контроль (надзор) за состоянием загрязнения атмосферного воздуха на территории городских и сельских поселений Российской Федерации. Основной целью данного контроля является выявление случаев превышения гигиенических нормативов содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (предельно допустимых концентраций, ориентировочных безопасных уровней воздействия), установленных действующими санитарными правилами и нормами. Ежегодно в рамках деятельности Роспотребнадзора отбирается свыше 1 млн проб, анализируемых на наличие более 100 различных химических веществ [86]. Требования к организации мониторинга уровня загрязнения атмосферного воздуха регламентированы следующими нормативно-методическими документами и нормативно-техническими актами:

- РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы»¹, устанавливающий общие принципы контроля загрязнения атмосферы;
- РД 52.04.667-2005 «Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию», определяющий структуру и содержание информационных документов о загрязнении атмосферы;
- ГОСТ Р 59059-2020 «Охрана окружающей среды. Контроль загрязнений атмосферного воздуха. Термины и определения», стандартизирующий терминологию в области контроля загрязнений атмосферного воздуха;
- ГОСТ 17.2.4.02-81 «Охрана природы. Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ», регламентирующий общие требования к методам определения загрязняющих веществ в атмосфере;
- МР 2.1.6.0157-19 «Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха для задач социально-гигиенического мониторинга», содержащий рекомендации по разработке программ наблюдения и оценке экспозиции населения;
- Приказ Минприроды России № 524 от 30.07.2020 «Об утверждении требований к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением».

Приведенные нормативно-методические документы формируют методологический каркас, определяющий процедуры и стандарты для проведения системного и достоверного мониторинга состояния воздушной среды.

Федеральный закон от 26 июля 2019 года № 195-ФЗ «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ...» [74] имеет основополагающее значение для

¹ в соответствии с действующими разделами и положениями документа

правового сопровождения мероприятий, реализуемых в рамках федерального проекта «Чистый воздух» на современном этапе. Данный проект, в свою очередь, с 2018 года реализуется в составе национального проекта «Экология» в целях совершенствования механизмов государственного регулирования в сфере охраны атмосферного воздуха [67, 134, 117]. В основе экспериментального подхода лежит установление для промышленных объектов фиксированных квот выбросов, формирование механизмов контроля их соблюдения и разработка комплексных планов природоохранных мероприятий. Главным элементом эксперимента выступает идентификация приоритетных загрязняющих веществ с количественной оценкой их вклада в интегральные показатели загрязнения, что позволяет обоснованно определять квоты выбросов и разрабатывать предприятиями целевые мероприятия по их выполнению. Главная цель эксперимента – выработка оптимальных стратегий сокращения выбросов, основанных на интегральном анализе рассеивания загрязняющих веществ и оценке рисков для здоровья населения, что рассматривается как существенный вклад в устойчивое развитие и эффективную охрану окружающей среды [67, 125, 152, 189].

С 1 января 2020 года в соответствии с Законом о проведении эксперимента начата реализация мероприятий по квотированию выбросов, базирующихся на комплексных расчетах загрязнения атмосферного воздуха. Эксперимент охватывает территорию 12 городских округов Российской Федерации: Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец, Чита. Первый этап эксперимента предполагает сокращение валовых выбросов химических веществ (за исключением радиоактивных) на 20 % к 2026 году по сравнению с базовым 2017 годом [43]. В рамках реализации данного этапа выполнено моделирование распространения загрязняющих примесей и оценка степени загрязнения атмосферного воздуха на указанных территориях. Анализ проводился с учетом воздействия порядка 50 тысяч промышленных источников выбросов, автотранспортных средств на более чем 3,3 тысячах участков дорожной сети, свыше 1,6 тысяч АИТ [52, 125].

Результатом реализации Распоряжения Правительства Российской Федерации № 1852-р от 07.07.2022 [97] стало масштабирование эксперимента по квотированию выбросов. Перечень городов-участников расширен за счет включения 29 новых городских поселений и округов, для которых характерны высокие и очень высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха. Основная цель экспериментальных мероприятий заключается в двукратном снижении объема выбросов опасных загрязняющих веществ к 2030 году относительно показателей 2020 года [131].

В рамках эксперимента для каждого участвующего городского округа разработаны и утверждены Правительством Российской Федерации комплексные планы мероприятий, ориентированные на сокращение выбросов приоритетных загрязняющих веществ. В первых 12 городах эти планы предполагали достижение общего снижения выбросов по всему спектру

контролируемых веществ на территории каждого муниципалитета. Проведенная в Российской Федерации впервые масштабная экспериментальная апробация дала возможность отработать методики моделирования атмосферных загрязнений. Результаты данного эксперимента послужили базой для принятия обоснованных управленческих решений, касающихся усовершенствования систем мониторинга, модернизации транспортных систем и комплексного развития городской среды. Предполагается, что апробированные подходы и собранные эмпирические данные будут транслированы и применены на иных территориях страны, сталкивающихся с аналогичными проблемами загрязнения атмосферного воздуха.

С целью улучшения санитарно-эпидемиологической ситуации и экологической обстановки в стране осуществляется активное внедрение НДТ. Федеральный проект «Внедрение наилучших доступных технологий» [111] ориентирован на формирование условий для перехода к системе регулирования, базирующейся на применении НДТ на объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Реализация данного подхода направлена на стимулирование модернизации действующих предприятий и строительство новых производств с повышенной экологической эффективностью, характеризующихся высоким уровнем ресурсосбережения и энергетической эффективности.

В соответствии с федеральным законом № 219-ФЗ [71], проведено категорирование промышленных объектов по степени негативного воздействия на окружающую среду, в результате чего выделено более 7 тысяч объектов I категории. Предприятия, подпадающие под действие нового регулирования, обязаны соблюдать усовершенствованные нормативы, демонстрировать применение НДТ и внедрять автоматизированные системы контроля выбросов. Приказ Минприроды № 154 [98] идентифицирует 300 объектов I категории, которые являются основными источниками негативного воздействия (ответственными за не менее 60 % суммарных выбросов), в их число входят 44 ТЭС.

Внедрение НДТ на объектах теплоэнергетики осуществляется поэтапно. В период с 2019 по 2022 годы предприятия I категории, вошедшие в приказ Минприроды № 154, должны получить КЭР, подтвердив соответствие своих технологий НДТ или показателям эмиссии, указанным в отраслевых справочниках (НДТ). Остальные предприятия I категории должны подать заявки на получение КЭР до конца 2024 года. В случае несоответствия выбросов ТЭС технологическим показателям, предприятия I категории обязаны разработать и реализовать программы повышения экологической эффективности в течение 7 лет (срок действия КЭР). С 2019 года предприятия I категории, удовлетворяющие определенным требованиям [96], должны внедрить автоматические системы непрерывного контроля выбросов в течение 4 лет [2].

В соответствии с информационно-техническим справочником по наилучшим доступным технологиям ИТС 38-2024 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства

энергии» (утв. Приказом Росстандарта от 23.12.2024 № 3041) [37], к НДТ на объектах теплоэнергетики, использующих твердое топливо, отнесены:

- «...мероприятия, направленные на оптимизацию процессов разгрузки, хранения и подготовки твердого топлива посредством применения комплексного набора технических и организационных средств, обеспечивающих снижение пыления и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду: разгрузка топлива в закрытых помещениях с аспирацией, использование оборудования, минимизирующего высоту падения, выбор защищенных от ветра мест для открытых складов с применением ветрозащитных сооружений. Важными элементами являются гидро- и пневмовакуумная уборка помещений, уплотнение штабелей топлива для предотвращения загрязнения атмосферы и потерь, использование ограждений и систем пылеподавления на узлах пересыпки, транспортировка топлива по закрытым галереям с аспирацией...»;

- «...для снижения выбросов загрязняющих веществ при сжигании твердого топлива применяются НДТ, направленные на улавливание золы и снижение выбросов оксидов азота (NO_x) и серы (SO_x): использование мокрых скрубберов с трубой Вентури, эмульгаторов, электрофильтров, рукавных фильтров, двухступенчатых золоуловителей, применение режимно-наладочных методов (нестехиометрическое сжигание, умеренный контролируемый недожог, двухступенчатое сжигание) и технологических методов, требующих изменения конструкции котла (рециркуляция дымовых газов, малоэмиссионные горелки, двух- и трехступенчатое сжигание с реконструкцией котла, концентрическое сжигание и др.), азотоочистка газов (селективное некаталитическое восстановление оксидов азота), использование топлива с низким содержанием серы, использование мокрых золоуловителей по двойному щелочному способу и упрощенной мокросухой сероочистки...»;

- «...для обращения с золошлаками на угольных ТЭС рассматриваются оборотные гидравлические, пневмогидравлические, механические (автотранспортные, конвейерные), пневматические и смешанные системы внутреннего и внешнего золоудаления, оборотные гидравлические системы шлакоудаления, с сухими или гидравлическими сооружениями для накопления, хранения и захоронения золошлаков. НДТ включает изменение вида системы золошлакоудаления, дополнение её технологическими участками и оборудованием для сбора, обработки и отгрузки золошлаков или их отдельных компонентов внешним потребителям...».

Таким образом, в Российской Федерации сформирована нормативно-правовая база государственного регулирования охраны атмосферного воздуха, обеспечивающая возможность объективной оценки загрязнения воздуха и качества жизни населения, в том числе в зонах влияния промышленных объектов, таких как объекты теплоэнергетики.

1.4 Методические аспекты оценки эффективности и результативности мероприятий по снижению рисков здоровью населения

Система национальных проектов, основанная на принципах проектного управления, внедрена в Российской Федерации с 2019 года во исполнение Указа Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и последующих стратегических документов [6, 50]. Она объединяет федеральные проекты, направленные на достижение национальных целей, среди которых приоритетными являются улучшение среды обитания и повышение качества жизни населения. В рамках данного направления декларируемой целью выступает минимизация вредных воздействий и ассоциированных с ними рисков для здоровья. Базовым периодом для сопоставления показателей при оценке результативности принят 2017 год [100]. При разработке планов мероприятий в рамках федеральных проектов первостепенное значение имеет определение оптимальных и наиболее результативных инструментов достижения поставленных целей [128]. Для оценки результативности и эффективности реализации данных проектов применяется система многоаспектных критериев и методические подходы, учитывающие специфику проектной деятельности, необходимость достижения установленных целевых показателей в плановые сроки (2019–2024 гг. (с переносом 2024 г. на 2026 г.) и на период до 2030 г. и 2036 г.). В научной литературе и нормативно-методической базе принято разграничивать понятия «результат» и «эффект» применительно к деятельности, направленной на улучшение окружающей среды и среды обитания. Под результатом понимается непосредственный итог мероприятия, выраженный, например, в снижении концентрации загрязняющего вещества или объема выброса. Эффект же представляет собой последствие, вызванное данным результатом, которое может проявляться в изменении показателей здоровья населения, уровней риска здоровью, экономических аспектов и др. Эффективность, в свою очередь, является относительной величиной, характеризующей соотношение полученного эффекта (или результата) с затратами на его достижение.

Согласно подходам [126], под *эффективностью* мероприятий по снижению или устранению риска здоровью понимается соотношение между достигнутым уменьшением негативных эффектов для здоровья (либо экономического ущерба) и затратами на реализацию этих мероприятий, оцениваемое с применением, в частности, методов «затраты – выгоды» и «затраты – эффективность». Под *экономической эффективностью* природоохранных мер, ориентированных на минимизацию риска здоровью, понимается отношение затрат на проведение санитарно-эпидемиологических, технологических и иных мероприятий к их медико-социальной и

(или) экономической результативности. Оценка экономической эффективности реализации комплексных планов мероприятий представляет собой неотъемлемый элемент анализа рисков для здоровья населения, осуществляемый в тесной взаимосвязи с этапами оценки риска, мониторинга и управления рисками. Важной составляющей данного процесса выступает информирование заинтересованных сторон о выявленных уровнях риска для здоровья и реализуемых мерах, направленных на его минимизацию [59].

Как правило, существует несколько альтернативных мероприятий, которые могут различными способами снизить один и тот же показатель риска. Для выбора наиболее эффективных и результативных² мероприятий применяют принципы оценки эффективности воздействия на риск. Использование этих принципов позволяет разработать и/или модифицировать (при необходимости) комплекс мероприятий, наиболее соответствующий потребностям, целям и возможностям объекта, то есть определить наиболее приемлемый (оптимальный) вариант снижения рисков.

Согласно рекомендациям по менеджменту риска [127] выбор наиболее эффективных вариантов снижения рисков, в том числе химических, выполняют на основании оценки эффективности воздействия на показатели риска. Под воздействием на риск понимают одно или несколько мероприятий, снижающих вероятность появления или развития риска. При этом необходимо выбрать наиболее приемлемый (оптимальный) вариант снижения рисков, который обеспечит уменьшение рисков до допустимого уровня при минимальных затратах. Оценка эффективности воздействия на показатели риска позволяет определить наиболее эффективные мероприятия и сформировать оптимальный план снижения рисков.

В качестве критериев, позволяющих оценить результативность планов мероприятий с позиции рисков для здоровья населения, могут выступать: снижение риска преждевременной смертности населения относительно установленных целевых показателей; уменьшение риска заболеваемости населения в сравнении с целевыми значениями; сокращение уровней канцерогенного и неканцерогенного риска для здоровья населения по отношению к целевым индикаторам; увеличение величины предотвращенного экономического ущерба для здоровья населения относительно целевых показателей [127].

Экономическая эффективность комплексных планов мероприятий определяется на основе критериев: увеличение чистого экономического эффекта относительно целевого уровня; снижение предельных затрат на единицу предотвращенного ущерба в сравнении с целевым значением; уменьшение средних затрат на единицу снижения риска по отношению к целевому

² Под эффективностью и результативностью понимают точность и полноту, с которой достигаются определенные цели

показателю; сокращение разницы между средними и предельными затратами на единицу снижения риска относительно целевого индикатора [127].

Комплексная оценка результативности и экономической эффективности планов мероприятий может быть реализована посредством многокритериального анализа, учитывающего совокупность показателей как результативности, так и экономической эффективности [62].

Наиболее эффективным вариантом снижения риска является тот, который обеспечивает его уменьшение до допустимого уровня при минимальных затратах. Оптимальный результат нередко достигается исключительно посредством интеграции нескольких мероприятий, направленных на снижение рисков, при этом отдельные меры часто оказывают комплексное воздействие на различные виды рисков одновременно. Выбор наилучшего варианта предполагает анализ соотношения затрат на его реализацию и ожидаемых выгод с учетом действующих правовых и иных нормативных требований [128].

Чаще всего в качестве основных вариантов снижения риска рассматривают:

- *устранение (предотвращение) риска* подразумевает прекращение / отказ от деятельности, являющейся источником возникновения данного риска;
- *сокращение риска* – изменение вероятности наступления неблагоприятного события посредством выполнения комплекса мер, направленных на предупреждение факторов, способствующих реализации риска;
- *разделение риска* подразумевает привлечение одной или нескольких сторон, которые принимают на себя часть риска, предпочтительно на основе взаимного согласия;
- *сохранение риска* – остаточного риска после его сокращения или разделения либо полное сохранение исходного риска при отказе от мер по его уменьшению, перераспределению или устранению;
- комбинация различных методов (мероприятий) по воздействию на риски.

Для подготовки оптимального плана мероприятий по снижению риска проводят анализ каждого мероприятия с учетом критериев оценки эффективности, к которым относятся:

а) *критерий соотношения затрат на снижение риска с ожидаемым эффектом*, который выражается в соотношении суммы затрат на мероприятия по снижению риска и разницы между начальным и остаточным риском³. План мероприятий считают оптимальным, если эффект от реализации мероприятий по снижению рисков превышает расходы на данные мероприятия не менее, чем на 30–50%.

б) *критерий соотношения остаточного и допустимого риска*, который равен отношению остаточного к допустимому уровню риска. Воздействие на риск считается эффективным при

³ Под остаточным риском понимают риск, остающийся после реализации мероприятий по снижению риска

значениях данного критерия, меньше единицы, то есть в случае, если остаточный риск меньше допустимого.

в) *критерий соотношения эффекта от снижения риска с упущенной выгодой*, который выражается в отношении оценки упущенной выгоды к ожидаемому эффекту от снижения риска. В силу неопределенности значений числителя и знаменателя рекомендуется принять порог эффективности на уровне 0,5, то есть упущенная выгода не должна превышать 50 % от планируемого эффекта.

г) *критерий соотношения эффекта от снижения риска с уровнем рисков, возникающих вследствие данного снижения*, равен отношению размера негативных побочных эффектов от воздействия на них к размеру снижения риска.

Согласно Методическим рекомендациям [62] для оценки *результативности* планов мероприятий, направленных на снижение химических рисков здоровью населения, определен перечень показателей: риск преждевременной смертности населения, ассоциированный с загрязнением атмосферного воздуха; риск заболеваемости населения, обусловленный воздействием загрязненного атмосферного воздуха; канцерогенный и неканцерогенный риск для здоровья населения при экспозиции химическими веществами, загрязняющими атмосферный воздух; экономический ущерб здоровью населения вследствие преждевременной смертности и заболеваемости, связанных с загрязнением атмосферного воздуха.

Рекомендуемый подход к оценке числа преждевременных смертей или случаев заболеваний, связанных с химическим загрязнением атмосферного воздуха, предполагает расчет разницы между количеством указанных исходов в условиях экспозиции к загрязняющим веществам и их количеством в отсутствие данного воздействия, измеряемой в течение определенного периода времени, и частотой заболевания при исходной экспозиции, например, разницей между текущей частотой заболевания и фоновой частотой заболевания, или частотой заболевания, прогнозируемой на будущее, или общим риском для здоровья (бременем заболевания) (по отношению к нулевой экспозиции или определенному предполагаемому пороговому значению) [56].

Количественную оценку последствий (смертность, заболеваемость, госпитализация и др.) предлагается рассчитывать как произведение средней концентрации для вещества, доли населения в рассматриваемой возрастной группе, доли населения, подверженного риску в этой возрастной группе, уровня заболеваемости и показателя функции «концентрация – эффект».

Для упрощения расчетов риска рекомендовано использовать представление зависимости «концентрация – ответ» в форме относительного изменения анализируемого показателя здоровья (выраженного в %) при возрастании концентрации химического соединения на 10 мкг/м^3 , которое можно представить в виде произведения показателей: базовый годовой (ежедневный) уровень

оцениваемого исхода воздействия, обусловленное процентное изменение исхода воздействия (смертность, заболеваемость, госпитализация и др.) для указанного изменения концентрации, полученное из рассчитанного относительного риска для оцениваемого исхода воздействия: $ERC_i = (RR - 1) \times 100, \%$, численность населения.

Под экономическим ущербом от воздействия химического загрязнения атмосферного воздуха предлагается понимать утрату стоимости, недополученной обществом вследствие потерь здоровья населения в результате загрязнения окружающей среды. Денежная оценка предполагает расчет двух категорий затрат: затраты и потери, непосредственно связанные с утратой здоровья или жизни заболевшего (умершего) человека и его семьи; затраты и потери, связанных с нарушениями здоровья населения [56].

В структуре экономического ущерба, обусловленного заболеваемостью, смертностью или инвалидностью населения, традиционно выделяют следующие составляющие: расходы на медицинское обеспечение (амбулаторную и стационарную помощь, реабилитационные и санаторно-курортные мероприятия); затраты, связанные с компенсацией временной или стойкой утраты трудоспособности; дополнительные компенсационные выплаты пострадавшему (или его семье) при условии установления причинно-следственной связи между воздействием загрязненной окружающей среды и возникновением заболевания или наступлением смерти, включая выгоды, недополученные обществом в связи с временной и/или постоянной утратой трудоспособности вследствие заболевания или смерти [56].

Определение экономического ущерба здоровью и жизнедеятельности населения, обусловленного химическим воздействием на атмосферный воздух, предполагает последовательное решение следующих взаимосвязанных задач: идентификация основных видов ущерба, наносимого жизни и здоровью; определение натуральных показателей для их оценки; количественная оценка прогнозируемых видов ущерба в натуральных измерениях (число смертей, случаев обострений заболеваний и так далее); выбор подходов к экономической оценке натуральных показателей; формирование методического подхода к экономической оценке ущерба здоровью населения с учетом целей и задач проводимого исследования [56].

Согласно Методическим рекомендациям [59, 56, 62] методы «затраты – выгоды» и «затраты – эффективность» (или анализ эффективности затрат) рекомендовано использовать для определения приоритетности инвестиционных мероприятий, включенных в состав планов, направленных на снижение/устранение рисков для здоровья населения.

В основу метода «затраты – выгоды» заложена идея минимизации затрат на единицу выгодности (результативности) мероприятия, или (что равнозначно) максимизация выгод на единицу предполагаемых издержек. Метод «затраты – выгоды» применяют в случаях, когда возможно определение выгод (эффектов) от реализации мероприятий в стоимостном выражении.

Применение метода «затраты – выгоды» основано на сравнении мероприятий с точки зрения величины чистого экономического эффекта.

Метод «затраты – эффективность» основан на оценках средних (удельных) и предельных затрат на снижение риска для здоровья населения в натуральном выражении. Метод «затраты – эффективность» применяют в случаях, когда отсутствует возможность (или целесообразность) проведения стоимостной оценки выгод (эффектов), однако имеется определенная цель в области снижения/устранения риска для здоровья населения: снижение смертности или определенного вида заболеваемости по конкретной возрастной группе, снижение коэффициента опасности и иные натуральные показатели.

В методе «затраты – выгоды» используют следующие критерии: 1) *интегральный*, в соответствии с которым ранжирование мероприятий (сценариев) выполняют по максимуму выгоды (минимуму обобщенных затрат); 2) *дифференциальный*, в соответствии с которым ранжирование мероприятий (сценариев) проводят на основе оценок предельных затрат на единицу получаемой выгоды (эффекта) в стоимостном выражении.

Второй критерий дополняет первый, так как позволяет минимизировать скорость приращения издержек по мероприятиям при увеличении величины выгоды на единичное значение.

При использовании метода «затраты – эффективность» используют два критерия принятия решений: 1) *интегральный*, основанный на минимизации средних (удельных) затрат на снижение риска в натуральном выражении; 2) *дифференциальный*, основанный на определении минимума средних (удельных) затрат при равенстве средних (удельных) и предельных затрат на снижение риска в натуральном выражении.

Оценка результативности и экономической эффективности планов мероприятий осуществляется по следующей пошаговой процедуре [62]:

- Этап 1. Формирование показателей результатов выполнения каждого мероприятия (по каждому веществу и источнику): ΔG – сокращение числа преждевременных смертей; ΔR – снижение числа заболеваний; ΔHQ – уменьшение коэффициентов опасности (неканцерогенного риска).

- Этап 2. Расчет предотвращенного экономического ущерба здоровью населения от снижения аэрогенного риска, смертности и заболеваемости. Определяется сумма предотвращенного ущерба от сокращения преждевременных смертей (ΔG) и снижения заболеваемости (ΔR) по каждому мероприятию. Расчетная формула представляет собой отношение среднегодового предотвращаемого экономического ущерба к норме дисконтирования, значение которой в стандартных подходах принимается равной 5 % в год.

- Этап 3. Для каждого мероприятия, предусмотренного планом, определяется сумма затрат на его реализацию. Затраты за весь срок выполнения мероприятий рассчитываются как

сумма ежегодных затрат, приведенных к начальному моменту времени. Приведение осуществляется путем дисконтирования: затраты каждого t -го года делятся на норму дисконтирования (принятую на уровне 5 %), возведенную в соответствующую степень.

– Этап 4. Оценка результативности планов мероприятий выполняется по критериям снижения риска для здоровья и предотвращенного экономического ущерба для всего комплекса включенных мероприятий. Многокритериальная оценка основана на сравнении целевых значений показателей аэрогенного риска (ΔG , ΔR , ΔHQ) и предотвращенного экономического ущерба (ΔY) с фактически достигаемыми ежегодными значениями.

– Этап 5. Проводится оценка экономической эффективности мероприятий, анализ соотношения достигнутых эффектов с затратами на их реализацию по всему комплексу включенных мероприятий с использованием установленных критериев. На этом этапе выполняется многокритериальная оценка эффективности планов мероприятий, предполагающая сравнение целевых значений показателей экономической эффективности с их фактическими значениями за прошедший отчетный год на основе установленных критериев оценки. Определяются следующие показатели: предельные затраты на единицу чистого экономического эффекта; средние затраты планов мероприятий на единицу снижения риска для здоровья населения; предельные затраты планов мероприятий. Критериальным показателем выступает разница между предельными и средними затратами на единицу снижения аэрогенного риска для здоровья.

– Этап 6. Проводится интегральная оценка результативности и экономической эффективности планов мероприятий путем сравнения целевых и фактических значений критериальных показателей, как за каждый отчетный год, так и нарастающим итогом за весь период реализации мероприятий. Интегральным показателем служит среднее арифметическое отношений целевых значений показателей к фактически достигнутым в отчетном году по всем критериальным показателям, включенным в систему оценки.

Согласно Методическим рекомендациям [62] интегральный показатель оценки эффективности, имеющий значение ниже 1,0, свидетельствует о недостаточной эффективности выполнения планов мероприятий и определяет необходимость принятия корректирующих мероприятий для достижения целевых показателей. Значение показателя, равное или превышающее 1,0, признается свидетельством достаточной эффективности выполнения планов мероприятий, при которой корректирующие мероприятия не требуются.

Согласно Методическим указаниям [63] оценка эффективности комплекса планируемых или фактически проведенных воздухоохраных мероприятий выполняется на основе расчета величины совокупного причиненного вреда здоровью. Для этого вычисляется среднее значение совокупного причиненного вреда в виде негативного эффекта (по совокупности всех выявленных классов болезней), детерминированного аэрогенной экспозицией, до и после проведения

мероприятий, которое определяется как отношение суммы значений совокупного причиненного вреда в виде негативного эффекта к общему количеству всех выявленных классов болезней.

Эффективность снижения совокупного причиненного вреда, детерминированного аэрогенной экспозицией, после проведенных воздухоохраных мероприятий оценивается как процентное отношение разности средних значений совокупного вреда в виде негативного эффекта (по совокупности всех выявленных классов болезней) до и после проведенных мероприятий к среднему значению совокупного вреда в виде негативного эффекта до проведенных воздухоохраных мероприятий [63].

По завершении воздухоохраных мероприятий оценка эффективности предотвращенного вреда от аэрогенной экспозиции выполняется с использованием шкалы эффективности проведенных мероприятий [45]. Согласно предложенной шкале, степень эффективности дифференцируется по пяти качественным уровням в зависимости от достигнутого процентного соотношения предотвращенного ущерба к потенциально возможному. Установлено, что приемлемым уровнем считается достижение эффективности свыше 40 %, высокая степень эффективности – более 80 %. Качественная характеристика степеней эффективности позволяет принимать дифференцированные управленческие решения: 1) при неприемлемой и низкой эффективности (менее 40 %) требуется пересмотр состава и объема реализованных мероприятий либо выбор альтернативных направлений регулирующего воздействия; 2) при достаточной и высокой эффективности (более 60 %) достигнутые результаты могут служить основанием для завершения активных воздухоохраных действий и перехода к режиму мониторинга».

Рассматриваемая проблема носит распространенный характер и имеет высокую актуальность для городов с развитой теплоэнергетической инфраструктурой, объекты которой расположены в жилых зонах (в том числе для Красноярска). Выбрасываемый ими широкий спектр загрязняющих, в том числе твердых, веществ формирует высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха. Сложившаяся гигиеническая ситуация и сопряженные с ней риски для здоровья населения, находящегося в зоне воздействия объектов теплоэнергетики, а также формирование нарушений здоровья, детерминированных этими рисками, определяют необходимость разработки обоснованных и эффективных управленческих решений, позволяющих достичь санитарно-эпидемиологического благополучия. С учетом изложенного сформулированы цели и структура настоящего исследования.

ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ, ОБЪЕКТЫ И ОБЪЕМ ИССЛЕДОВАНИЙ

Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека послужило базой для планирования и реализации диссертационного исследования в 2021–2024 гг.

Исходя из поставленных в работе задач, **объектами** исследования выбраны: хозяйствующие субъекты теплоэнергетики и теплоснабжения (включая автономные источники тепла); количественные и качественные характеристики их эмиссии, состояние атмосферного воздуха в зонах их влияния; уровни экспозиции химических примесей в районах жилой застройки; демографические параметры (численность и возрастной состав) населения, находящегося под воздействием указанных объектов и проживающего на территориях с повышенным уровнем экспозиции; критерии безопасности (ПДК_{м.р.}, ПДК_{с.с.}, ПДК_{с.г.}, RFC, ARFC, CR_T); количество случаев обращаемости населения за медицинской помощью в зоне влияния объектов теплоэнергетики; Комплексные планы воздухоохраных мероприятий; нормативно-правовые и методические документы.

Предметом исследования являлся комплекс процессов, механизмов и закономерностей, обусловленных деятельностью объектов теплоэнергетики, ее влиянием на качество атмосферного воздуха и состояние здоровья населения, включая: условия трансформации и распространения химических веществ в приземном слое атмосферы; уровни потенциального риска причинения вреда здоровью населения; территориальное распределение рисков, ассоциированных с воздействием загрязнителей, поступающих от хозяйствующих субъектов (в том числе объектов теплоэнергетики); причинно-следственные отношения, обуславливающие формирование риска и реализацию вреда здоровью; закономерности распределения твердых частиц в респираторном тракте в зависимости от их химического, дисперсного и морфологического состава.

Концептуальная модель, положенная в основу исследования по анализу эффективности и результатов реализации воздухоохраных мероприятий, представлена на рисунке 2.1. Основное внимание уделено оценке снижения рисков и уменьшению негативного влияния на здоровье населения, проживающего в зонах воздействия объектов теплоэнергетики.

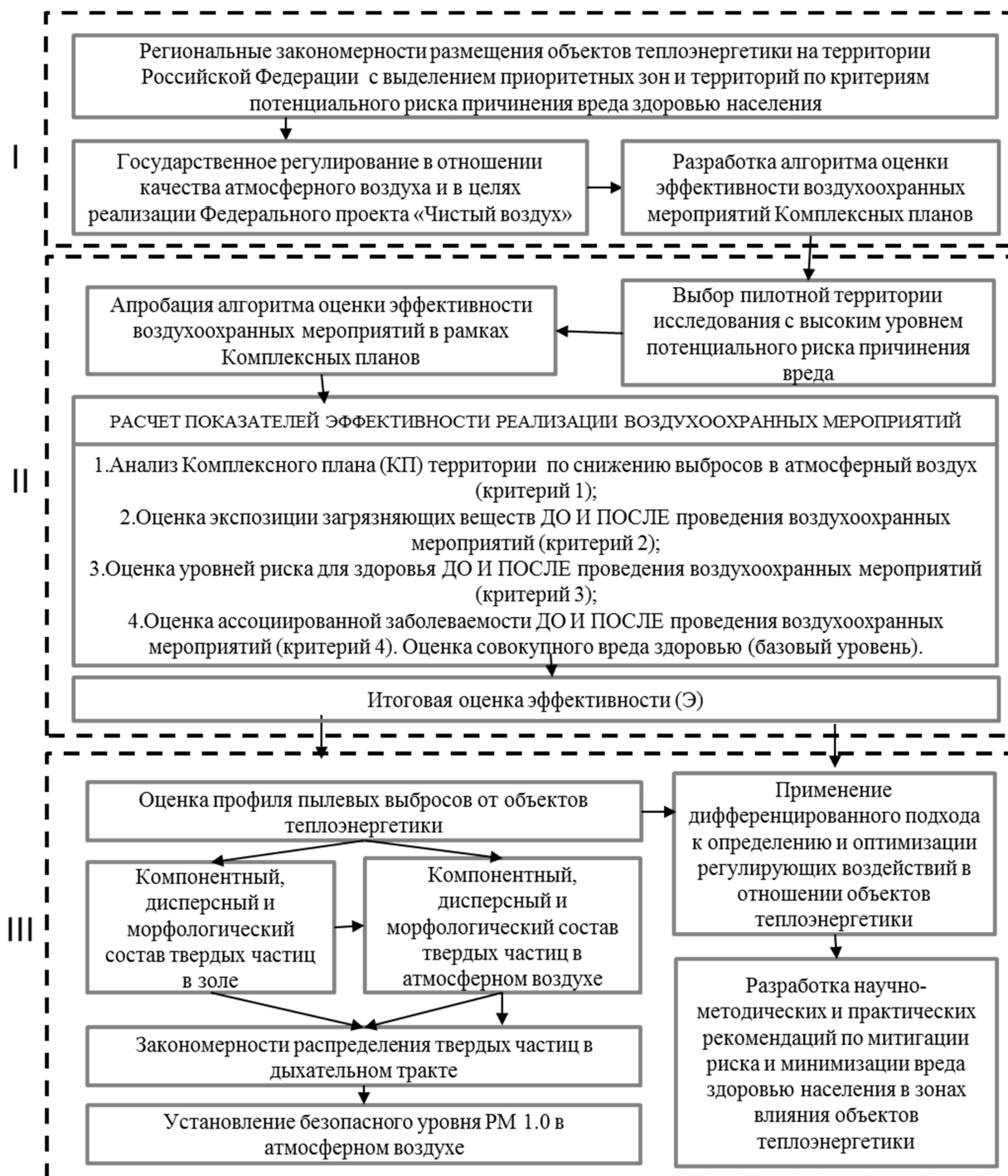


Рисунок 2.1 – Концептуальная схема организации и построения исследования

Количественные и качественные характеристики исследуемых объектов, примененных материалов и методологических подходов, масштабные и временные параметры исследования представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристика объектов, материалов и объемов проведенных исследований

Объекты исследования, использованные материалы	Использованные методы	Объем и периоды исследования
1	2	3
Научные публикации, законодательные, нормативно-правовые и нормативно-методические документы	Общенаучные методы, включая теоретический анализ и синтез, систематизация, сравнительный анализ, обобщение	Более 260 научных статей, 45 нормативных и нормативно-методических документов
Реестр объектов санитарно-эпидемиологического надзора с выделением хозяйствующих субъектов по виду репрезентативной деятельности хозяйствующих субъектов «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» (код 35)». Объекты теплоэнергетики и теплоснабжения, в том числе АИТ	Сравнительный, структурный и системный гигиенический анализ, пространственно-динамический анализ с использованием ГИС-технологий, расчет и категорирование потенциальных рисков причинения вреда	85 субъектов РФ, более 1,1 млн источников выбросов, 2017-2024 гг.; более 11,2 млн. ед. информации; углубленный анализ на 1 репрезентативной территории (г. Красноярск – город-участник ФП «Чистый воздух»); 1 вид деятельности, более 6,4 тыс. источников выбросов, из них 1,2 тыс. – объекты теплоэнергетики
Население под воздействием хозяйственной деятельности объектов надзора по субъектам РФ	Расчет и оценка численности населения под воздействием	Более 146 млн., 85 субъектов РФ
Комплексный план мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, целевые показатели	Гигиенический анализ, оценка достижения целевых показателей; оценка эффективности реализации воздухоохраных мероприятий Комплексного плана (МУ 2.1.10.3675-20); научно обоснованный 4-х этапный алгоритм оценки эффективности воздухоохраных мероприятий	Комплексный план мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух г. Красноярска на 2018-2024 гг., 35 мероприятий, более 14,4 тыс. ед. информации
Источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух на репрезентативной территории. Санитарно-эпидемиологические, экологические, технические, технологические, пространственно-динамические характеристики хозяйствующих субъектов, объектов, источников	Гигиенический, пространственный анализ с использованием ГИС-технологий; методика определения оптимальных направлений регулирующих воздействий, направленных на минимизацию аэрогенных рисков для здоровья населения; алгоритм ветвей и границ линейного программирования (МР 2.1.6.0320-23)	Более 6,4 тыс. источников выбросов на репрезентативной территории (база данных 2017 г.), 252 загрязняющих вещества; 678 опорных точек для оптимизации; более 2,5 млн параметров экспозиции, 500 параметров риска; более 330 млн ед. информации

Продолжение Таблицы 2.1

1	2	3
Атмосферный воздух в субъектах РФ; в зонах влияния объектов теплоэнергетики репрезентативной территории: данные расчетов разовых и среднегодовых концентраций, данные СГМ, Росгидромета и др. ведомств по качеству атмосферного воздуха	Санитарно-эпидемиологическая оценка, моделирование распространения выбросов, гигиенический пространственно-динамический анализ, расчет экспозиции, дозовой нагрузки, пространственное сопряжение расчетных и инструментальных данных с использованием ГИС-технологий, верификация расчетных данных натурными наблюдениями; оценка риска здоровью, расчет вкладов объектов теплоэнергетики в загрязнение воздуха и риск здоровью	– 85 субъектов РФ, 146 млн чел; 2017-2023 гг. (более 12 млн ед. информации); – Репрезентативная территория (г. Красноярск): расчетные максимально-разовые и среднегодовые концентрации 252 веществ в более 13 тыс. расчетных точек (точек жилья); 42 поста мониторинга; 2018-2020 гг. (начало реализации мероприятий), прогнозная оценка к 2026 г.; 35 исследуемых веществ на постах мониторинга; расчетные и верифицированные концентрации 55 химических веществ, выбрасываемых объектами теплоэнергетики в 13 тыс. расчетных точек; более 10 млн ед. информации
Население репрезентативной территории (г. Красноярск), население территории сравнения (г. Дивногорск), деперсонифицированные данные ТФОМС, волонтеры	«Геопривязка» данных о численности к векторной карте города с использованием деперсонифицированного реестра застрахованных по данным ТФОМС. Расчет и оценка численности населения под воздействием. Моделирование, анализ и параметризация причинно-следственных связей между аэрогенной экспозицией химических факторов и заболеваемостью населения по данным обращаемости за медицинской помощью, оценка достоверности моделей по критериям Стьюдента, Фишера; расчет ассоциированных случаев заболеваемости репрезентативной территории (МР 5.1.0095–14). Оценка совокупного вреда здоровью населения в зоне влияния крупной ТЭЦ репрезентативной территории и территории сравнения при длительном комбинированном воздействии с использованием теории нечетких множеств и функций принадлежности (усовершенствованный подход МУ 2.1.10.3675-20). Специализированное углубленное исследование биологических сред волонтеров в зоне максимального влияния ТЭЦ, сопряженный анализ компонентного, дисперсного и морфологического состава вдыхаемого атмосферного воздуха и выдыхаемого воздуха, золы; метод растровой электронной микроскопии; гравиметрический метод; количественный химический анализ	– Репрезентативная территория (Красноярск, более 1 млн чел.); 2017-2024 г.; 4 возрастные категории (дети, подростки, взрослые трудоспособного и старше трудоспособного возраста); 10 классов заболеваний; более 30 множественных моделей; более 500 млн. ед. информации; – 46,3 тыс. чел в зоне наибольшего влияния ТЭЦ – группа наблюдения, 54,9 тыс. чел – группа сравнения (Дивногорск), более 120 нозологических групп; 10 классов болезней; 2 категории населения (дети и взрослые); более 12,1 млн ед. информации. – 15 волонтеров; 2 точки экспозиции (точка 1 – зона влияния ТЭЦ, точка 2 – зона относительного сан-эпид. благополучия), более 35 проб биологических сред, 2020 г.; более 4,5 тыс. ед. информации

Продолжение Таблицы 2.1

1	2	3
Выбросы объектов теплоэнергетики – зола	Оценка компонентного, дисперсного и морфологического состава, метод электронной микроскопии; метод микрозондового рентгеноспектрального анализа	2 пробы; 11 химических веществ; 2022 г.

В рамках данного исследования разработаны и объединены в единый последовательный алгоритм методические подходы к оценке результативности и эффективности мероприятий, включенных в состав комплексных планов по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Алгоритм базируется на интегральном анализе системы многокомпонентных показателей: снижение суммарных выбросов, соблюдение гигиенических нормативов, критериев риска здоровью и сокращение ассоциированной заболеваемости, обусловленных деятельностью объектов теплоэнергетики и АИТ. Оценка эффективности осуществляется на основе последовательного проведения ряда расчетов и аналитических процедур до и после реализации воздухоохраных мероприятий (Глава 4, п. 4.1).

В соответствии с ОКВЭД, теплоэнергетические объекты в Российской Федерации осуществляют деятельность в сфере «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» (код 35).

При проведении оценки потенциального риска вреда здоровью населения использовались данные федерального реестра хозяйствующих субъектов, в отношении которых осуществлялся санитарно-эпидемиологический надзор в 2017–2024 гг. На основе структурного анализа реестра выделены хозяйствующие субъекты, осуществляющие деятельность по виду «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха». Выполнена сравнительная оценка уровней потенциального риска причинения вреда здоровью в целом по Российской Федерации, по федеральным округам и субъектам, что позволило идентифицировать территории с наиболее высокими уровнями риска.

Потенциальный риск причинения вреда здоровью населения (R^l) при осуществлении деятельности объектов теплоэнергетики определялся в соответствии с МР 5.1.0116-17 [61] как произведение вероятности нарушения санитарно-эпидемиологических норм (p^l), степени тяжести последствий для здоровья (относительный показатель вреда здоровью – u^l) и величины воздействия хозяйствующего субъекта на население (M^l_i). На основании полученных значений рассчитывалось среднее значение потенциального риска (R^l_{cp}) в расчете на один хозяйствующий субъект/объект.

В качестве репрезентативной территории для настоящего исследования выбран город Красноярск, который является участником федерального проекта «Чистый воздух» и одновременно выступает одним из ведущих экономических, промышленных и энергетических центров России, осуществляющим производство, передачу и распределение электрической и тепловой энергии.

Информационной базой для оценки эффективности воздухоохраных мероприятий послужил Комплексный план мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух города Красноярск, утвержденный заместителем Председателя Правительства Российской Федерации 28 декабря 2018 года (№ 11024п-Пб) для двух временных срезов: до реализации воздухоохраных мероприятий и после их внедрения (прогнозный период).

Анализ источников загрязнения атмосферного воздуха осуществлялся с использованием Сводной базы данных стационарных и передвижных источников выбросов на репрезентативной территории, переданной Минприроды России в адрес Роспотребнадзора⁴. В Сводной базе учтены данные о 807 предприятиях (5 977 источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу города, включая 3 523 организованных и 2 454 неорганизованных), 171 АИТ, 263 мобильных источниках выбросов, включающих в себя 122 автомобильные магистрали.

Теплоэнергетический комплекс репрезентативной территории включает основные источники теплоснабжения, такие как ТЭЦ-1, ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3, городские котельные и промышленные предприятия, на территории которых расположены объекты теплоснабжения. Помимо этого, значительную долю составляют частные домохозяйства, оснащённые АИТ. Согласно актуальным данным сводной базы по источникам загрязнения атмосферного воздуха (базовый 2017 год), из 807 промышленных предприятий города Красноярск 302 относятся к теплоэнергетическому сектору или располагают на своей территории объекты теплоснабжения. Общее количество источников выбросов, связанных с деятельностью теплоэнергетических объектов на территории города, достигает порядка 1,2 тыс. единиц, из которых 171 – источник АИТ (в виде совокупности точечных источников).

Для определения численности населения под воздействием загрязненного атмосферного воздуха, оценки риска здоровью и расчета ассоциированных случаев проводилась «геопривязка» данных к векторной карте города с использованием деперсонифицированного реестра застрахованных ТФОМС жителей репрезентативной территории и ГИС. К каждому дому адресного реестра отнесены застрахованные лица определенных возрастных групп и случаи заболеваний по классам болезней и нозологическим группам в соответствии с МКБ-10. В ходе исследования идентифицировано 13 889 таких точек – геометрических центров жилых домов адресного реестра, характеризующих пространственную структуру жилой застройки города. Для этих же точек выполнен расчет и оценка загрязнения атмосферного воздуха (Рисунок 2.2).

В качестве программного обеспечения для ГИС использовались лицензионные продукты компании ESRI – ArcView версии 3.2 и ArcGIS версии 9.3.1. На векторной карте помечены и атрибутированы объекты жилой застройки, улично-дорожная сеть, промышленные объекты, водные ресурсы.

⁴ Сопроводительное письмо Минприроды в адрес Роспотребнадзора № РН-07-01-29/28391 от 31.08.2020 г. «О направлении электронных банков данных сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха»

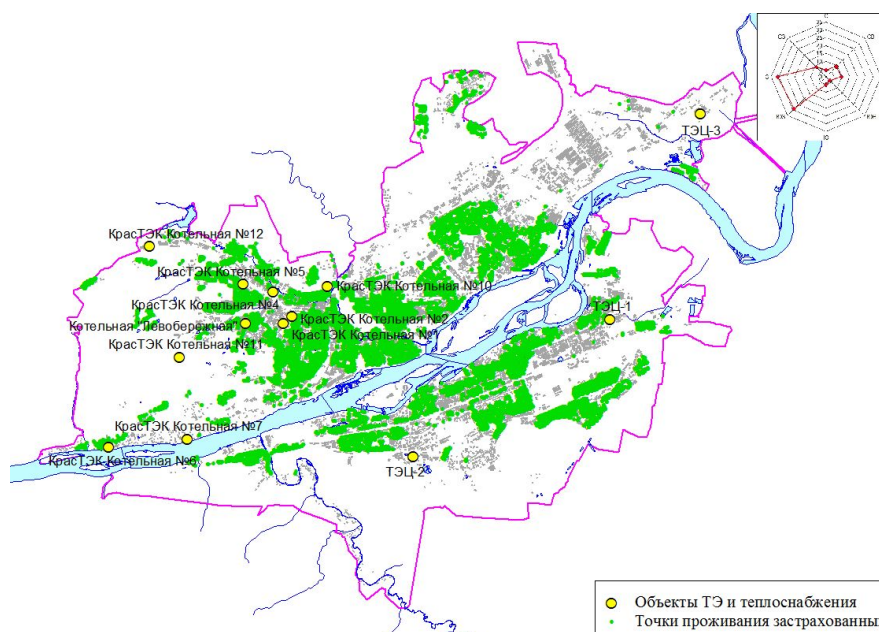


Рисунок 2.2 – Расположение расчетных точек (точек жилья) на репрезентативной территории

Для выполнения оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха до реализации мероприятий Комплексного плана использовались результаты расчетов приземных концентраций загрязняющих веществ. Расчетные данные получены путем моделирования процессов рассеивания загрязняющих веществ от источников выбросов с применением программного комплекса УПРЗА «Эколог-Город» версии 4.60.1, функционирующего в соответствии с методическими подходами МРР-2017 «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» (утвержденными приказом Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 6 июня 2017 года № 273). Расчет среднегодовых концентраций загрязняющих компонентов осуществлялся посредством специализированного блока «Средние», реализующего методику, разработанную ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова». Моделирование приземных концентраций загрязняющих веществ проводилось в точках, соответствующих геометрическим центрам жилых строений. В каждой из 13 889 расчетных точек (точек проживания населения) определены максимальные разовые и среднегодовые расчетные значения концентраций загрязняющих веществ.

Определение степени участия теплоэнергетических объектов в формировании загрязнения атмосферного воздуха и обусловленного им риска для здоровья населения репрезентативной территории осуществлялось путем анализа расчетных показателей, отражающих долю выбросов указанных источников в общем объеме загрязнения атмосферы.

Вклады в максимальные разовые и среднегодовые концентрации оценивали для примесей, выбрасываемых предприятиями теплоэнергетики (для которых установлены максимальные разовые, среднегодовые или, при их отсутствии, среднесуточные гигиенические нормативы), по формулам (2.1-2.3):

$$C_T^{ingr}(x, y) = \sum C_T^{ingr}(x, y), \quad (2.1)$$

$C_T^{ingr}(x, y)$ – суммарное загрязнение от источников предприятий теплоэнергетики по веществу ingr в точке (x, y) в долях ПДКм.р./с.г./с.с.;

$C_T^{ingr}(x, y)$ – расчетная концентрация от источников теплоэнергетики по веществу ingr в точке (x, y) в долях ПДКм.р./с.г./с.с.;

(x, y) – координаты расчетной точки;

ingr – код примеси

$$C_P^{ingr} = \sum C_P^{ingr}(x, y), \text{ где} \quad (2.2)$$

C_P^{ingr} – суммарное загрязнение от источников выбросов в целом по городу по веществу ingr в точке (x, y) в долях ПДКм.р./с.г./с.с.

$$\Delta_P^{ingr} = \frac{C_T^{ingr}}{C_P^{ingr}}, \text{ где} \quad (2.3)$$

Δ_P^{ingr} – долевой вклад предприятий теплоэнергетики по веществу ingr в точке (x, y)

В соответствии со сводной базой данных рассчитаны концентрации 55 загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от объектов теплоэнергетики и фиксируемых в местах проживания населения репрезентативной территории. К ним относились диАлюминий триоксид, диВанадий пентоксид (пыль), вольфрам триоксид, железа оксид, марганец и его соединения, медь оксид, никель оксид, олово (II) оксид, свинец и его соединения, хром (в пересчете на хрома (VI) оксид), азота диоксид, аммиак, азот (II) оксид, серная кислота, углерод, сера диоксид, дигидросульфид, углерода оксид, фториды газообразные, фториды хорошо растворимые, фториды плохо растворимые, бутан, метан, смесь предельных углеводородов C_1H_4 - C_3H_{12} , смесь предельных углеводородов C_6H_{14} - $C_{10}H_{22}$, пропан, амилены, бензол, диметилбензол (смесь о-, м-, п- изомеров), метилбензол, этилбензол, бенз(а)пирен, бутан-1-ол, этанол, гидроксibenзол, этиловый эфир этиленгликоля, бутилацетат, этилацетат, формальдегид, пропан-2-он, этилмеркаптан, бензин, керосин, масло минеральное нефтяное, сольвент нафта, уайт-спирит, алканы C_{12} - C_{19} , эмульсол, взвешенные вещества, мазутная зола теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий), пыль неорганическая: 70-20 % SiO_2 , пыль неорганическая: до 20 % SiO_2 , пыль абразивная, пыль древесная, пыль резинового вулканизата.

Оценка инструментальных измерений качества атмосферного воздуха в городе Красноярске проведена на основе данных, предоставленных Федеральным государственным бюджетным учреждением «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (Росгидромет), Федеральным государственным бюджетным учреждением «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» (Роспотребнадзор) и Красноярским государственным казенным бюджетным учреждением «Центр реализации мероприятий по

природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края» (далее – ТСН). Для проведения гигиенического анализа использованы данные мониторинга за период с 2018 по 2020 годы (начало реализации мероприятий Комплексного плана) с 27 постов мониторинга Роспотребнадзора, 8 постов Росгидромета и 7 постов ТСН (Рисунок 2.3).

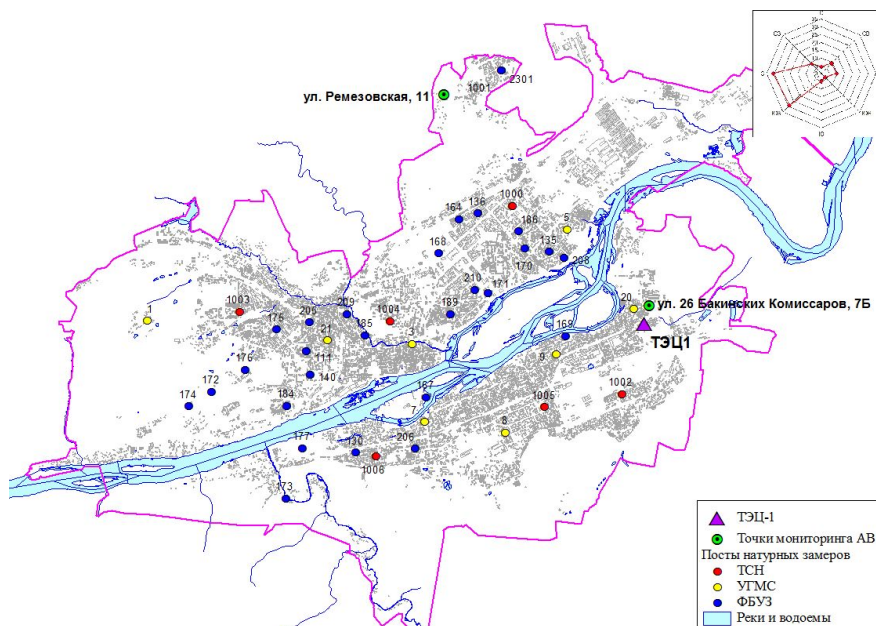


Рисунок 2.3 – Пространственное расположение постов мониторинга качества атмосферного воздуха Роспотребнадзора, Росгидромета, ТСН. Расположение точек для специализированного углубленного исследования и сопряженного анализа качества атмосферного воздуха и компонентов выбросов объекта теплоэнергетики

В рамках исследований проанализировано содержание 35 химических загрязнителей, в том числе: азота диоксид, азот (II) оксид, аммиак, бенз(а)пирен, бензол, взвешенные вещества, взвешенные частицы PM10 и PM2.5, гидрохлорид, дихлорметан, диАлюминия триоксид, диметилбензол, кумол, марганец и его соединения, оксид меди, никель, озон, проп-2-енонитрил, проп-2-ен-1-аль, свинец и его соединения, диоксид серы, сероводород, метилбензол, тетрахлорэтилен, трихлорэтилен, углерод, углерода оксид, гидроксibenзол, формальдегид, фториды газообразные, фториды плохо растворимые, хром, хлорбензол, этенилбензол и этилбензол.

В связи с различием расчетных и инструментальных данных качества атмосферного воздуха в точках расположения постов мониторинга осуществляли верификацию расчетных данных данными инструментальных измерений (среднегодовые значения за 2018–2020 гг.) в соответствии с подходами, изложенными в МР 2.1.6.0157-19 [60]. Процедура верификации расчетных уровней загрязняющих веществ выполнена для 23 веществ: диАлюминий триоксид, марганец и его соединения, медь оксид, никель оксид, свинец и его неорганические соединения, хром, азота диоксид, аммиак, азот (II) оксид, углерод, сера диоксид, дигидросульфид, углерода оксид, фтористые газообразные соединения, фториды неорганические плохо растворимые, бензол, диметилбензол (смесь о-, м-, п- изомеров), метилбензол, этилбензол, бенз(а)пирен, гидроксibenзол, формальдегид,

взвешенные вещества. Ввиду отсутствия замеров 26 загрязняющих веществ на стационарных постах в атмосферном воздухе репрезентативной территории, для дальнейшего анализа в отношении них применялись исключительно расчетные концентрации. Гигиенический анализ качества атмосферного воздуха по верифицированным данным с учетом вклада объектов теплоэнергетики в суммарное загрязнение проводился для двух временных срезов: до реализации воздухоохраных мероприятий и после их внедрения (прогнозный период).

Основываясь на параметризованных данных снижения выбросов загрязняющих веществ на источниках объектов теплоэнергетики в соответствии с Комплексным планом, внесенных в сводную базу данных источников выбросов, повторно проведены расчеты рассеивания загрязняющих веществ после реализации предусмотренных воздухоохраных мероприятий. Верификация расчетных данных осуществлялась с использованием коэффициентов соответствия, полученных при сопоставлении расчетных и натурных данных на этапе до реализации мероприятий, отдельно для каждой расчетной точки и каждого вещества.

Для определения профиля выбросов крупного объекта теплоэнергетики, включая компонентный, дисперсный и морфологический состав твердых частиц, выполнено специализированное углубленное исследование. Отбор проб атмосферного воздуха проводился в двух точках в холодный (февраль 2022 г.) и теплый (май 2022 г.) периоды года. Местом размещения первой точки стала зона наибольшего влияния ТЭЦ-1, характеризующаяся повышенными концентрациями большинства загрязняющих веществ, типичных для выбросов этого источника. Вторая точка установлена на территории, где санитарно-эпидемиологическая обстановка в отношении качества атмосферного воздуха оценивается как относительно благополучная.

В холодный период перечень веществ, по которым производился отбор проб, включал 13 наименований: бенз(а)пирен, хорошо растворимые твердые неорганические фториды, фтористый водород, взвешенные вещества, диоксид алюминия, пентоксид ванадия, хром, марганец, кобальт, никель, медь, кадмий, свинец. В теплый сезон анализировались 13 компонентов, при этом свинец заменен на железо: бенз(а)пирен, твердые растворимые неорганические фториды, фтористый водород, взвешенные вещества, диоксид алюминия, пентоксид ванадия, хром, марганец, кобальт, никель, медь, кадмий, железо. Исследование атмосферного воздуха в исследуемых точках осуществлялось методом электронной микроскопии, концентрации данных взвешенных веществ измерялись гравиметрическим методом в соответствии с нормативным документом РД 52.04.893-2020 «Массовая концентрация взвешенных веществ в пробах атмосферного воздуха». Определение содержания аэрозольных частиц с диаметром менее 2,5 мкм (PM_{2.5}) и 10 мкм (PM₁₀) проводилось с использованием аэрозольного анализатора DUSTTRAK 8533 в соответствии с требованиями ГОСТ 17.2.3.01-86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населённых пунктов» и регламентирующими методическими указаниями, предусмотренными в руководстве по эксплуатации данного оборудования.

Для дифференцированной оценки твердых частиц, источником которых являются объекты теплоэнергетики, проводился анализ золы. Гранулометрический и морфологический состав частиц золы определялся методом растровой электронной микроскопии с использованием микроскопа модели JSM-63090LV. Анализ твердых частиц золы размером до 100 мкм проводили для исключения возможного преобладания частиц размером более 10 мкм. Для оценки размеров и формы частиц твердых компонентов золы получены микрофотографии при увеличениях 30, 150 и 350 крат. Химический состав золы определялся методом микрозондового рентгеноспектрального анализа. Для анализа изображений с получением количественных характеристик дисперсности и морфологии частиц использовалась программа Image J – Fiji (модуль «Analyze Particles»).

Для каждой точки жилой застройки селитебной территории города выполнены расчеты показателей риска для здоровья до реализации мероприятий Комплексного плана. Оценка риска осуществлялась в соответствии с положениями Руководства по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920-04), действовавшего на момент начала реализации мероприятий. Процесс оценки риска включал последовательное выполнение нескольких этапов: идентификацию опасных факторов, оценку уровня экспозиции, установление взаимосвязи между степенью воздействия и реакцией организма, анализ неопределенностей, связанных с оценочными данными. Характеристика риска осуществлялась в соответствии с МР 2.1.10.0156-19 [56]. Оценка риска выполнялась для всего населения на репрезентативной территории. По каждому из выбранных химических веществ в каждой расчетной точке определены максимальные разовые и/или среднегодовые концентрации. Оценка риска здоровью проводилась для двух временных срезов: до реализации воздухоохраных мероприятий и после их внедрения (прогнозный период).

Оценка ассоциированных с качеством атмосферного воздуха случаев заболеваний до реализации мероприятий Комплексного плана проводилась в соответствии с МР 5.1.0095-14 [60]. Для этого согласно адресному реестру репрезентативной территории осуществлена привязка случаев заболеваний по данным обращаемости населения (дети 0-17 лет, взрослые трудоспособного и старше трудоспособного возраста) за медицинской помощью (данные ТФОМС за 2020 г.) к точкам проживания населения. Случаи заболеваний по кодам МКБ-10 объединены в основные классы болезней в соответствии с возрастными группами. Выполнено построение и анализ причинно-следственных связей в формализованной системе «аэрогенная экспозиция химических факторов – заболеваемость населения по данным обращаемости за медицинской помощью». В качестве основного параметра аэрогенной экспозиции химических веществ при моделировании причинно-следственных взаимосвязей применялась среднегодовая концентрация соответствующего вещества, отражающая длительное хроническое воздействие. Общая математическая форма множественной регрессионной модели представлена следующим выражением (2.4):

$$y_j = b_0 + \sum_i b_{ij} \langle x_i - qkp_i \rangle, \quad (2.4)$$

где y_j – показатель нарушения здоровья населения по j -му классу заболеваний, сл./100 тыс.;

x_i – концентрация i -го загрязняющего вещества, мг/м³;

qkp_i – критический (недействующий) уровень i -го показателя загрязнения атмосферного воздуха, мг/м³;

$\langle x \rangle$ – скобки Мак–Кейли (McCauley): $\langle x \rangle = 0$ при $x < 0$ и $\langle x \rangle = x$ при $x \geq 0$;

b_0 , b_{ij} – параметры модели.

При выполнении множественного регрессионного анализа получены статистические оценки параметров моделей, проведена процедура проверки статистических гипотез относительно коэффициентов и проведена оценка адекватности моделей, сопровождаемая расчетом коэффициента детерминации (R^2) и уровня значимости (p). Дополнительная ассоциированная заболеваемость рассчитывалась в случае наличия превышения в расчетной точке анализируемой концентрации вещества относительно референтного уровня (Р 2.1.10.1920-04).

Ассоциированная заболеваемость от объектов теплоэнергетики рассчитывалась как разница между двумя величинами: ассоциированной заболеваемостью от всех источников выбросов репрезентативной территории и ассоциированной заболеваемостью, формируемой всеми источниками выбросов, за исключением предприятий теплоэнергетики. Расчеты проводились в каждой расчётной точке города. Гигиеническая оценка заболеваемости, ассоциированной с загрязнением атмосферного воздуха выбросами от объектов теплоэнергетики, проводилась для двух временных срезов: до реализации воздухоохраных мероприятий и после их внедрения (прогнозный период).

Для уточнения негативных эффектов, обусловленных причиненным вредом здоровью, в качестве зоны наблюдения выбрана территория, на которой концентрации загрязняющих веществ превышали предельно допустимые уровни, – зона влияния крупной ТЭЦ на репрезентативной территории. Указанная зона сформирована совокупностью изолиний, соответствующих превышению 1 ПДКм.р. (расчетные значения) по всем веществам, выбрасываемым исключительно источниками данной ТЭЦ.

Сравнительная оценка причиненного вреда здоровью населения выполнена для зоны максимального влияния ТЭЦ-1 г. Красноярск (46,3 тыс. человек) и территории сравнения, характеризующейся относительным санитарно-эпидемиологическим благополучием (население г. Дивногорска – 54,9 тыс. человек), на основе данных ТФОМС за 2020 г. Репрезентативная территория и территория сравнения сопоставимы по всем иным характеристикам среды обитания и социально-экономическому состоянию. Совокупный причиненный вред здоровью (Δr) у детей и взрослых группы наблюдения оценивался по 124 нозологическим группам (блокам) в соответствии с МКБ-10 относительно аналогичных показателей группы сравнения.

В целях анализа уровня заболеваемости населения на репрезентативной территории и в зоне сравнения, основанного на фактических данных о медицинских обращениях (данные ТФОМС), осуществлена комплексная подготовительная работа. В рамках данного этапа выполнена выборка и систематизация информации о медицинских обращениях с учетом места жительства, возрастных групп, систематизация заболеваний и их сопряженная оценка с использованием ГИС-систем с показателями экспозиции факторов риска. На основе полученных данных проводили расчет относительных показателей заболеваемости за анализируемый год.

Расчет степени тяжести совокупного причиненного вреда здоровью, детерминированного длительным аэрогенным воздействием химических веществ у экспонированной группы лиц проводился с применением усовершенствованного алгоритма, изложенного в МУ 2.1.10.3675-20 [63]. Совершенствование алгоритма заключалось в определении степени тяжести совокупного вреда здоровью по каждой нозологической группе, учете полного спектра негативных эффектов каждого отдельного загрязняющего вещества, определении относительной частоты и дополнительной вероятности возникновения каждой группы заболеваний в общей структуре выявленных случаев. На основе этих данных, с использованием популяционных данных ТФОМС, вычислялся совокупный причиненный вред здоровью в разрезе конкретных нозологических категорий, выраженный через число зарегистрированных случаев заболеваний. Под *детерминированным причиненным популяционным вредом* принимался установленный и количественно оцененный ущерб для здоровья группы людей (популяции), причинно обусловленный хроническим влиянием определенного аэрогенного химического фактора.

Исследование распределения осевших твердых частиц в различных отделах дыхательной системы проводилось с участием 15 человек-волонтеров. Исследование биологических сред проводилось с соблюдением этических норм Хельсинкской декларации (принята на XVII сессии Всемирной ассамблеи здравоохранения в 1964 г. с последующими дополнениями, включая редакцию 2013 г.), в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52379-2005 «Надлежащая клиническая практика» (утвержден Приказом Ростехрегулирования от 27.09.2005 № 232-ст.) и принципами волонтерского движения, предусматривающими оформление информированного согласия. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (протокол заседания № 9 от 28.12.2022). Выполнен сопряженный анализ параметров загрязнения атмосферного воздуха в точке 1 (точка влияния крупной ТЭЦ) и биологических сред волонтеров, находившихся в данной зоне и дышавших местным воздухом в этот же период. Анализ включал оценку градиентного распределения твердых частиц в дыхательном тракте путем сравнения их содержания во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе (Рисунок 2.3).

Методология исследования предусматривала одновременный тридцатиминутный отбор проб атмосферного и выдыхаемого воздуха. В ходе эксперимента после предварительной санации

носовой полости волонтеры осуществляли вдох через нос и выдох через рот в специализированное устройство для улавливания твердых частиц (фильтродержатель ИРА-20-2 с фильтром АФА-ВП-20 для осаждения частиц, соединительный шланг, газовый счетчик). Одновременно проводился забор биологических сред: смывы носовых ходов, мазки со слизистой носоглотки стерильным зондом, мокрота (включая пробы при натужном кашле), венозная кровь (2 мл) для электронной микроскопии. Дифференцированный подход к оценке осаждения частиц базировался на анатомической привязке проб: смывы из носовых ходов соответствуют начальному отделу дыхательных путей (носовой полости); мазки со слизистой носоглотки – более глубокие отделы, в частности, глотки; мокрота без стимуляции и при стимуляции – средним и нижним отделам дыхательных путей соответственно. Анализ венозной крови позволил оценить проникновение частиц через альвеолярно-капиллярный барьер.

Оценка экономического ущерба, причиненного деятельностью объектов теплоэнергетики с учетом их долевого вклада в загрязнение атмосферного воздуха до реализации мероприятий Комплексного плана, рассчитанного на основе количественных характеристик ассоциированных случаев заболеваний, проводилась в соответствии с МР 5.1.0095-14 [60]. Расчет включал учет бюджетных потерь на различных уровнях – затраты на оказание медицинской помощи, расходы на социальное страхование, недополученные налоговые поступления вследствие снижения объемов производства продукции и услуг.

Для оценки качества атмосферного воздуха, расчета риска здоровью населения и риск-реализованных нарушений здоровья (ассоциированных случаев заболеваний), связанных с деятельностью объектов теплоэнергетики после реализации мероприятий Комплексного плана, осуществлялся прогнозный расчет и оценка уровней загрязнения атмосферного воздуха с получением максимально разовых и среднегодовых концентраций в соответствии с персонифицированными параметрами изменения выбросов на источнике. Для верификации прогнозных расчетных данных использовались коэффициенты соответствия расчетных и натурных данных, полученные на период до реализации мероприятий Комплексного плана в каждой расчетной точке по каждому веществу. На основе полученных прогнозных верифицированных и расчетных данных по концентрациям осуществляли расчет параметров риска здоровью и расчёт ассоциированных случаев заболеваний в соответствии с подходами изложенными выше.

Установление безопасного уровня концентрации PM₁ в атмосферном воздухе при длительном ингаляционном воздействии осуществлялось в соответствии с методическими подходами, изложенными в научном исследовании [95], включая критериальный отбор и критическую оценку релевантных исследований (анализ дизайна научного исследования, характеристик экспозиции и эффектов на здоровье), выделение значимых научных работ для обоснования уровня концентрации PM₁, установление исходного значения уровня экспозиции, расчет совокупного модифицирующего фактора и последующее вычисление допустимого уровня

содержания PM₁. Предложенная величина может быть рекомендована в качестве критерия допустимости при проведении оценки рисков для здоровья населения (референтная концентрация), а также она может быть интегрирована в систему санитарно-эпидемиологического нормирования (среднегодовая ПДК). В рассматриваемых исследованиях PM₁ трактовались как мелкодисперсные твердые частицы с аэродинамическим диаметром не более 1 мкм [95]. В частности, на первоначальном этапе исследования осуществлялся систематический поиск и отбор доступных данных, полученных в ходе отечественных и международных научных исследований, опубликованных в рецензируемых журналах и посвящённых изучению отрицательного влияния взвешенных частиц фракции PM₁ на здоровье при ингаляционном воздействии. В анализ включались полнотекстовые статьи, отвечающие следующим критериям: детализированное качественное и количественное описание методологии исследования, характеристика экспозиционной нагрузки (в том числе тип и значение исходной точки отсчёта – POD), выявленные эффекты на здоровье, описание исследуемого контингента, применение адекватных и корректных методов математической обработки данных.

Величина модифицирующих факторов, которые учитывали межвидовые и внутривидовые вариации, управляемость режима воздействия, тип отправной экспозиционной точки, полноту и качество исходных данных, продолжительность воздействия, варьировалась в диапазоне от 1 до 10 в зависимости от специфики и дизайна исследования. Для определения безопасного уровня содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе применялся совокупный (комплексный) фактор неопределённости, рассчитываемый как произведение не более трёх наиболее существенных модифицирующих факторов. Детальное изложение используемых методологических подходов представлено в соответствующих научных публикациях [95].

Для оценки эффективности воздухоохраных мероприятий, минимизации аэрогенных рисков и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия в жилой зоне репрезентативной территории реализована методика определения оптимальных направлений регулирующих воздействий в соответствии с положениями МР 2.1.6.0320-23 [58]. Оптимизация выполняется на основе критерия соблюдения гигиенических нормативов в каждой расчетной точке с применением алгоритма ветвей и границ линейного программирования и направлена на подбор оптимальных параметров с использованием целевой функции, обеспечивающей минимально необходимое снижение выбросов (в %) от всех источников, в том числе объектов теплоэнергетики, на всей территории жилой застройки. Дополнительно проведен сопоставительный анализ мероприятий Комплексного плана в части достижения целевых показателей снижения выбросов, обозначенных в Комплексном плане, и установленных направлений регулирующих воздействий на основе дифференцированных подходов, полученных в результате решения оптимизационной задачи на репрезентативной территории. Анализ эффективности реализованных мероприятий по снижению валового выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух к 2024 г. проводился с

учетом переноса сроков окончания реализации мероприятий Комплексного плана для репрезентативной территории на 2026 г. Согласно положениям МР 2.1.6.0320-23 [58], дифференцированный подход предполагает избирательное регулирование выбросов на отдельных хозяйствующих субъектах по конкретным приоритетным веществам. Дифференцированное сокращение валовых выбросов от этих источников позволит достичь соблюдения гигиенических нормативов качества воздуха на всей территории жилой застройки, минимизировать риски для здоровья до референтных уровней и, как следствие, улучшить состояние здоровья населения за счёт снижения ассоциированных случаев заболеваний.

Для решения поставленной задачи использован специализированный программный модуль, реализующий метод ветвей и границ в среде R-studio (номер государственной регистрации программного обеспечения для ЭВМ 2022669645). В основе модуля лежит решение задачи математической оптимизации, заключающееся в определении минимально необходимых сокращений масс выбросов от объектов квотирования. Критерием оптимальности выступает одновременное достижение в контрольных точках гигиенических нормативов (ПДК) и критериев приемлемого риска. Данный расчет является базовым для всего последующего анализа. На основе полученного оптимального сценария программно формируются структурированные перечни приоритетных загрязняющих веществ, вносящих наибольший вклад в превышение нормативов и неприемлемые риски для здоровья населения; и перечень объектов, требующих первоочередного регулирующего воздействия, с учетом критериев оптимизации и выбранной целевой функции.

В рамках статистической обработки данных осуществлялось установление причинно-следственных связей в системе «концентрация вещества в атмосферном воздухе – ответ» посредством множественного регрессионного анализа. Референтный уровень применялся в качестве порогового критерия: превышение данного уровня рассматривалось как свидетельство ассоциированности воздействия с ответом. Статистическая значимость гипотез оценивалась с использованием критерия Фишера (F); различия считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$. В рамках статистического анализа рассчитывались минимальные, средние и максимальные значения показателей экспозиции, уровней риска и соответствующих показателей заболеваемости. При установлении степени тяжести совокупного вреда здоровью, обусловленного факторами риска на территории наблюдения и территории сравнения, проводилась оценка статистической достоверности межгрупповых различий ($p \leq 0,05$). Статистический анализ выполнен с использованием программного комплекса Statistica 11.0. В ходе обработки данных исследовались показатели атмосферного воздуха в зоне влияния ТЭЦ в различные временные периоды, проводился анализ твердых частиц в разных отделах дыхательного тракта с определением среднего значения (M) и ошибки репрезентативности (m).

ГЛАВА 3 ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РИСКА ПРИЧИНЕНИЯ ВРЕДА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ, РАБОТАЮЩИХ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ, С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ВЫБРОСОВ В ЦЕЛЯХ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

В Российской Федерации доля угольной генерации в общей структуре теплоэнергетического сектора сохраняется на устойчиво высоком уровне, что связано с масштабами добычи, переработки и эксплуатации угля в энергетических целях. Вследствие этого возникает актуальная задача комплексной оценки воздействия выбросов при использовании данного топлива на состояние качества атмосферного воздуха и выявления потенциального риска причинения вреда здоровью населения, обусловленных его применением.

Формируемые риски, связанные с деятельностью объектов теплоэнергетики, могут определяться различными факторами, включая состав и количество сжигаемых углей, высоту дымовых труб, осуществляющих выбросы отходящих газов в атмосферу, местными климатическими условиями, рельефными особенностями и расположением источников загрязнения относительно жилых районов. Повышенные уровни риска, формируемые объектами теплоэнергетики, особенно актуальны для Сибири, где наблюдается резко континентальный климат и низкая способность атмосферы к самоочищению.

3.1 Гигиенический анализ пространственно-структурных особенностей распределения потенциального риска причинения вреда здоровью населения при осуществлении деятельности в области производства, передачи и распределения пара и горячей воды, кондиционирования воздуха

Анализ сведений, содержащихся в Реестре хозяйствующих субъектов (включающем юридические лица и индивидуальных предпринимателей) по состоянию на 1 января 2024 года, показывает, что на территории Российской Федерации более одного миллиона предприятий подлежит санитарно-эпидемиологическому надзору, осуществляемому Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. В рамках анализируемого сегмента, охватывающего виды деятельности по обеспечению электрической энергией, газом и паром, услуги по кондиционированию воздуха, регистрационный учёт содержит сведения о более

чем 21 тысяче хозяйствующих субъектов. При этом 6,1 тысячи из них классифицированы в качестве относящихся к высоким категориям риска исходя из оценки потенциальной угрозы причинения вреда охраняемым законом ценностям.

Средний уровень потенциального риска причинения вреда здоровью на один хозяйствующий субъект (R_{cp}^l) в рамках данной отрасли по всей России составил $5,44 \cdot 10^{-4}$, что несколько выше показателя, зафиксированного в группе «Деятельность промышленных предприятий» ($4,62 \cdot 10^{-4}$). Коэффициент масштаба воздействия объектов, характеризующий численность населения (включая работающих) под воздействием, чрезвычайно высокого и высокого уровней потенциального риска причинения вреда здоровью, колебался в пределах от 0,0093 до 0,0928 млн человек и от 0,00092 до 0,00921 млн человек соответственно. Уровни потенциального риска причинения вреда здоровью в этих категориях находились в диапазоне от $1,03 \cdot 10^{-2}$ до $1,01 \cdot 10^{-3}$ и от $9,9 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^{-4}$ соответственно.

В разрезе федеральных округов по количеству хозяйствующих субъектов, относящихся к высоким категориям потенциального риска причинения вреда здоровью и осуществляющих деятельность в области «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха», лидирующие позиции занимают Центральный (1 292 субъекта), Сибирский (1 114 субъектов) и Приволжский (1 100 субъектов) федеральные округа (Рисунок 3.1).

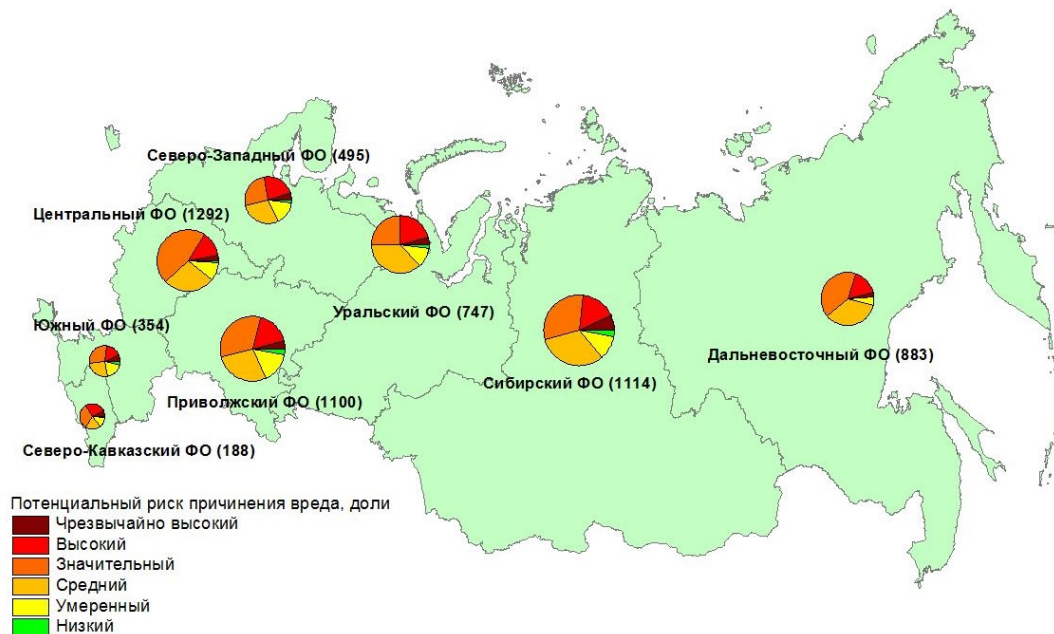


Рисунок 3.1 – Распределение (количественное и доленое) хозяйствующих субъектов, осуществляющих деятельность в сфере «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха», в соответствии с категориями потенциального риска причинения вреда здоровью населения по федеральным округам Российской Федерации

Доля хозяйствующих субъектов, функционирующих в области «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» и классифицированных в группы чрезвычайно высокого и высокого потенциального риска причинения вреда здоровью

населения (соответственно первая и вторая категории), составила 21,7 % от общего числа данных субъектов. В структуре распределения хозяйствующих субъектов по категориям риска причинения вреда здоровью на долю объектов с третьей категорией (значительный потенциальный риск) приходится 34,6 %; четвертой категорией (средний риск) – 30,4 %; пятой категорией (умеренный риск) – 11,5 %; шестой категорией (низкий риск) – 1,8 % (Рисунок 3.2).

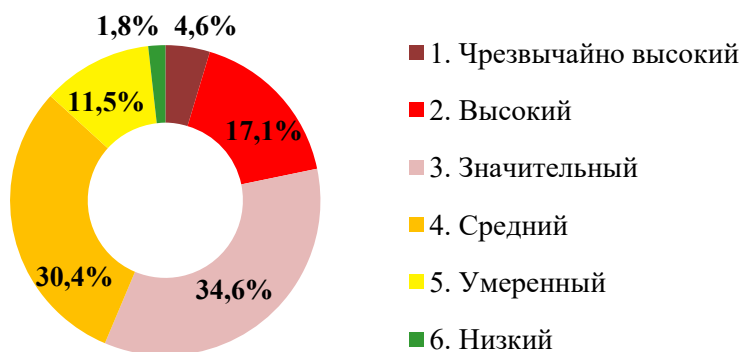


Рисунок 3.2 – Структура хозяйствующих субъектов (ЮЛ / ИП), осуществляющих деятельность в области «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха», по категориям потенциального риска причинения вреда здоровью населения на территории Российской Федерации

Деятельность по обеспечению электрической энергией, газом, паром и кондиционированию воздуха, отнесенная к категориям чрезвычайно высокого и высокого потенциального риска для здоровья населения, выявлена во всех регионах Российской Федерации, при этом её распространённость и количественные показатели варьируются в зависимости от территориальных особенностей (Рисунок 3.3). Согласно данным пространственного анализа размещения хозяйствующих субъектов, осуществляющих рассматриваемый вид деятельности и отнесенных к категориям чрезвычайно высокого (I категория) и высокого (II категория) потенциального риска причинения вреда здоровью, их максимальное количество наблюдается в пяти федеральных округах: Сибирском, Приволжском, Центральном, Уральском и Дальневосточном. В совокупности в перечисленных округах локализовано 78,5 % от общего числа объектов, классифицируемых по данным категориям риска.

Региональное распределение хозяйствующих субъектов в сфере обеспечения электрической энергией, газом, паром и кондиционирования воздуха с дифференциацией по категориям потенциального риска причинения вреда здоровью (юридические лица и индивидуальные предприниматели) (Рисунок 3.3), выявило, что наибольшая концентрация субъектов, отнесённых к первой и второй категориям риска – чрезвычайно высокой и высокой степени потенциальной опасности соответственно, сосредоточена в ЦФО (включая Тульскую, Костромскую, Владимирскую, Тамбовскую, Смоленскую, Московскую, Рязанскую, Липецкую и Тверскую области), СФО (Республика Тыва, Омская, Кемеровская, Томская, Иркутская, Тюменская, Новосибирская области и Красноярский край) и ПФО (Республика Марий Эл,

Республика Мордовия, Республика Башкортостан, Ульяновская, Нижегородская, Пензенская, Оренбургская области, Чувашская и Удмуртская республики).

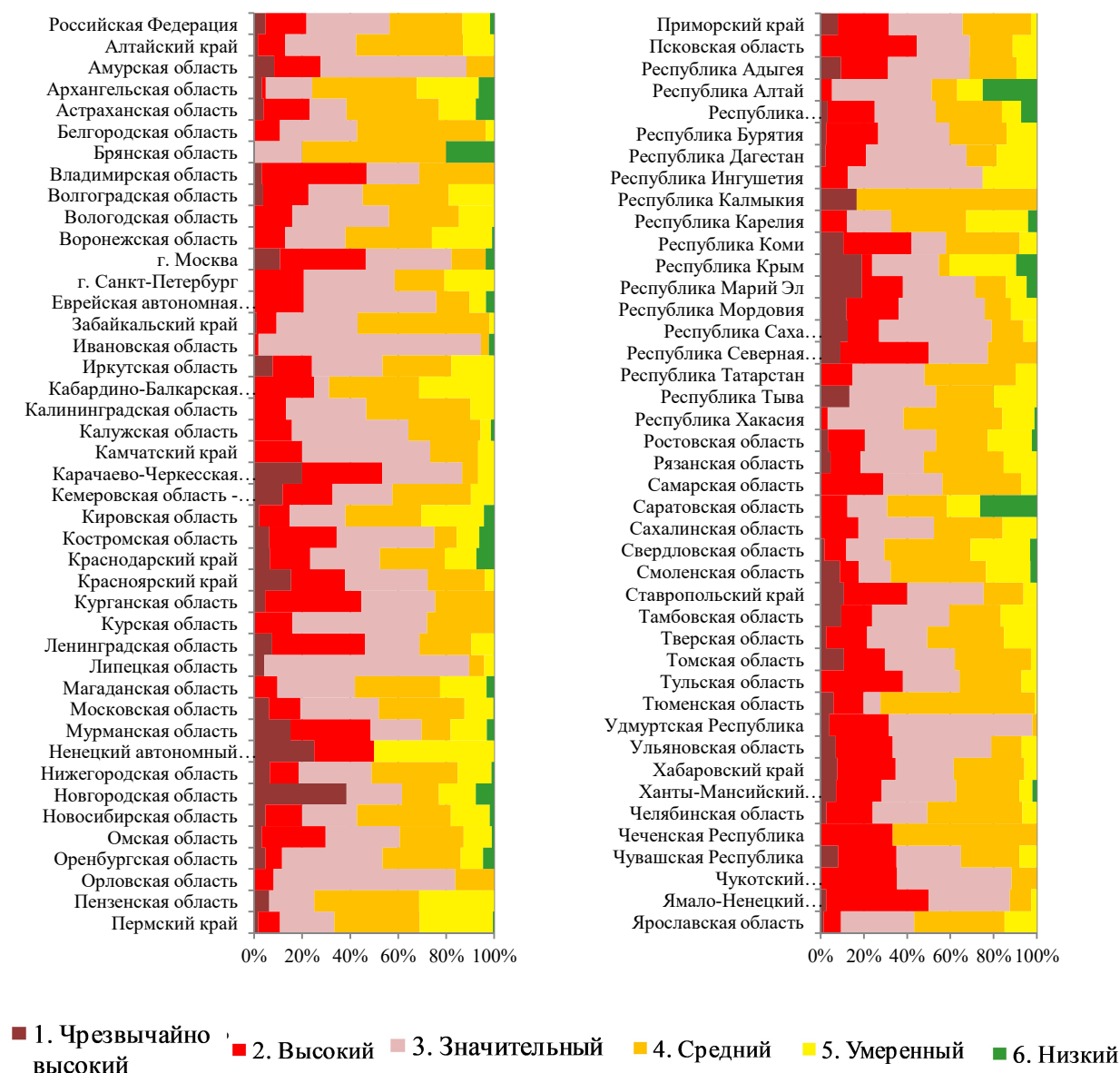


Рисунок 3.3 – Региональная структура субъектов, осуществляющих деятельность «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха», по категориям потенциального риска причинения вреда здоровью населения

В рамках указанных федеральных округов, характеризующихся наибольшей численностью хозяйствующих субъектов с высокой степенью потенциального риска, зафиксировано максимальное значение среднего показателя потенциального риска причинения вреда здоровью на один субъект (R_{cp}^I) в СФО, достигшее величины $9,9 \cdot 10^{-4}$. Данный показатель является лидирующим среди предприятий, относящихся к группе «Деятельность промышленных предприятий» (Рисунок 3.4, 3.5).

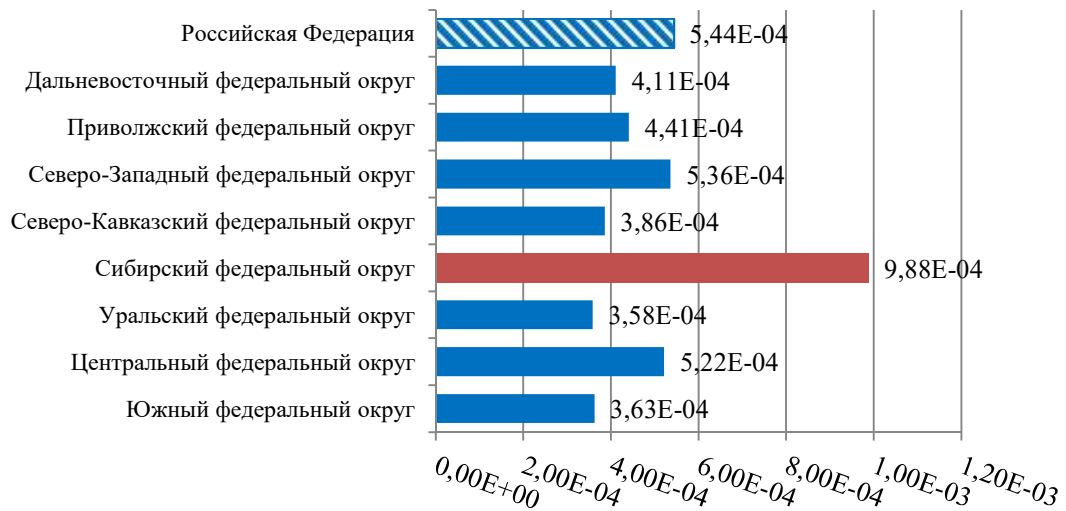


Рисунок 3.4 – Средний уровень потенциального риска причинения вреда здоровью населения на один хозяйствующий субъект (R^l_{cp}), реализующий деятельность в области обеспечения электрической энергией, газом, паром и кондиционирования воздуха с учетом распределения по федеральным округам Российской Федерации

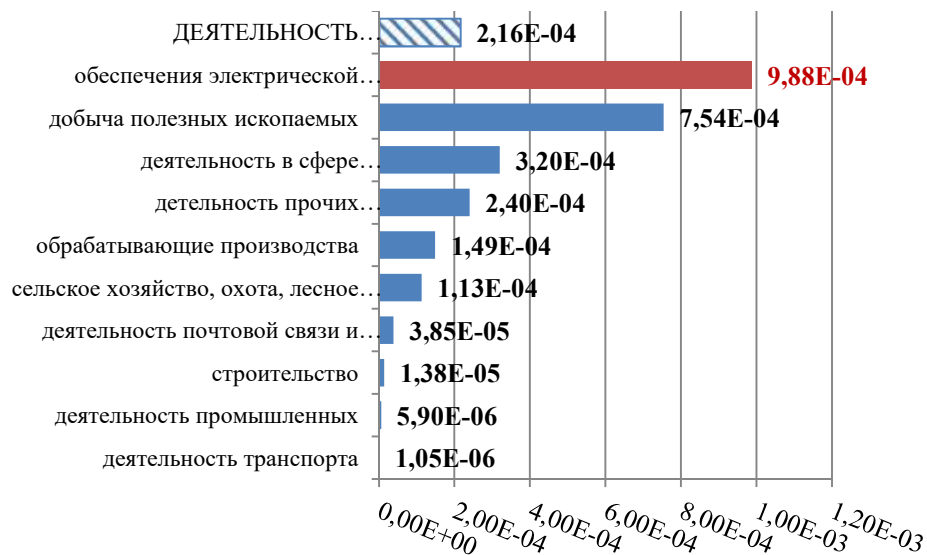


Рисунок 3.5 – Средний показатель потенциального риска причинения вреда здоровью на один хозяйствующий субъект, реализующий деятельность в области обеспечения электрической энергией, газом, паром и кондиционирования воздуха, относительно других видов деятельности промышленного сектора в Сибирском федеральном округе

Основным топливом, на котором работают большинство объектов теплоэнергетики в СФО, являются уголь и мазут, уровень газификации сибирских регионов остается на низком уровне (Рисунки 3.6, 3.7). Климатические особенности Сибирского округа, характеризующиеся низкими температурами, уменьшенной скоростью воздушных потоков и повышенной влажностью, создают условия, затрудняющие эффективное рассеивание химических веществ. В результате происходит накопление загрязняющих элементов в атмосферном воздухе, что способствует увеличению концентрации вредных веществ и, как следствие, формированию повышенных уровней загрязнения всех компонентов окружающей среды [83].

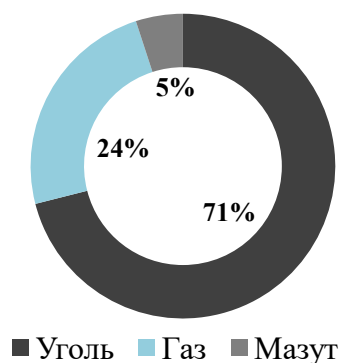


Рисунок 3.6 Энергетический баланс тепловых электростанций СФО, %



Рисунок 3.7 Схема газификации регионов Российской Федерации на 2021–2025 гг. [122]

В Сибирском федеральном округе структура распределения хозяйствующих субъектов, осуществляющих деятельность в рассматриваемой сфере, по категориям потенциального риска причинения вреда здоровью характеризуется следующими показателями: 23,2 % объектов отнесено к категориям чрезвычайно высокого и высокого риска (I и II категории); 31,2 % – к категории значительного риска (III категория); 32,2 % – к категории среднего риска (IV категория); 11,3 % – к категории умеренного риска (V категория); 2,1 % – к категории низкого риска (VI категория) (Рисунок 3.8).

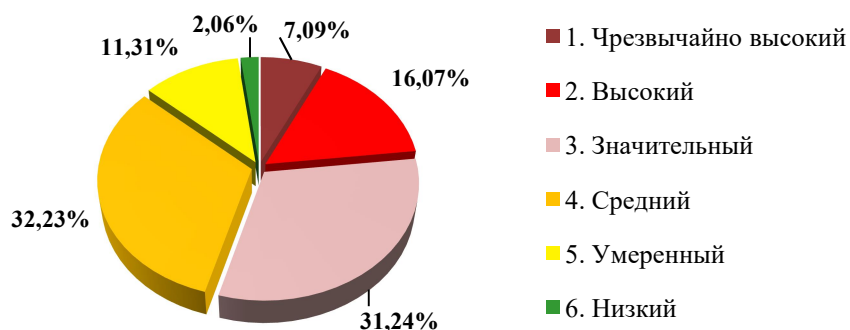


Рисунок 3.8 – Структура распределения субъектов теплоэнергетической отрасли по категориям потенциального риска причинения вреда здоровью населения в Сибирском федеральном округе

Около 8 млн человек составляет численность населения, подверженного воздействию хозяйствующих субъектов теплоэнергетической сферы в СФО, которые отнесены к категориям чрезвычайно высокого и высокого потенциального риска причинения вреда здоровью (масштаб воздействия – M_i^l). Значения уровня потенциального риска причинения вреда здоровью (R^l) для субъектов данных категорий находятся в пределах от $1,11 \cdot 10^{-3}$ до 0,17 – для категории чрезвычайно высокого риска и от $1,0 \cdot 10^{-4}$ до $9,8 \cdot 10^{-4}$ – для категории высокого риска.

Проведённый анализ распределения данных субъектов в СФО с учетом категорий потенциального риска причинения вреда здоровью выявил, что наибольшая концентрация организаций, относящихся к первой и второй категориям – характеризующимся чрезвычайно

высоким и высоким уровнем потенциального риска, наблюдается в Красноярском крае (37,9 %), Республике Тыва (13,0 %), Кемеровской (32,6 %), Томской (29,7 %), Иркутской (24,0 %), Новосибирской (20,0 %), Омской областях (15,0%), Алтайском крае (10,0 %). Хозяйствующие субъекты с низкой категорией потенциального риска причинения вреда здоровью в Красноярском, Алтайском краях, Республики Тыва, Кемеровской, Томской и Иркутской областях отсутствуют (Рисунок 3.9 а, б).



Рисунок 3.9 – Процентное распределение хозяйствующих субъектов, занимающихся деятельностью по «Обеспечению электрической энергией, газом и паром; кондиционированию воздуха», согласно категориям потенциального риска причинения вреда здоровью на территории Сибирского федерального округа: а) пространственно-структурное распределение в разрезе субъектов СФО; б) структурное ранжирование субъектов СФО по доле хозяйствующих субъектов высоких категорий потенциального риска причинения вреда

В городе Красноярске, характеризующемся наибольшей среди городов Сибирского федерального округа концентрацией хозяйствующих субъектов (объектов топливно-энергетического комплекса), отнесенных к высоким категориям потенциального риска (23,2 %), в зонах влияния объектов теплоэнергетики, зафиксированы превышения гигиенических нормативов по следующим загрязняющим веществам: взвешенным веществам – в 1,61 раза, PM_{2.5} – в 1,24 раза, PM₁₀ – в 1,20 раза, оксиду азота – в 1,35 раза, гидрохлориду – в 1,28 раза, стиролу – в 1,12 раза, формальдегиду – в 5,53 раза, бенз(а)пирену – в 5,35 раза и другим компонентам.

Таким образом, анализ данных по федеральным округам Российской Федерации выявил, что максимальный уровень потенциального риска причинения вреда здоровью населения характерен для СФО. В частности, наибольшая концентрация хозяйствующих субъектов, классифицируемых в первую и вторую категории по степени потенциального риска причинения вреда здоровью, зафиксирована в Красноярском крае. Данный факт обуславливает необходимость усиленного мониторинга и комплексной оценки воздействия деятельности указанных предприятий на состояние здоровья населения региона. В г. Красноярске, лидирующем среди

городов СФО по концентрации объектов теплоэнергетики высоких категорий потенциального риска, выявлены превышения гигиенических нормативов от 1,2 до 5,5 раза по взвешенным веществам, PM_{2.5}, PM₁₀, оксиду азота, гидрохлориду, стиролу, формальдегиду, бенз(а)пирену и другим компонентам.

3.2 Гигиенический пространственно-динамический анализ аэрогенного воздействия производственной деятельности объектов теплоэнергетики в Российской Федерации

По данным Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, совокупный объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух за период с 2017 по 2023 гг. в целом по РФ снизился на 31,5 % (10 092,0 тыс. т.) и в 2023 году составил 21 976 тыс. т. За период 2017-2023 гг. наблюдалось сокращение объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, выбрасываемых от стационарных источников, включая предприятия по обеспечению электрической энергией, газом и паром. Относительно уровня 2017 года суммарная масса выбросов от стационарных источников уменьшилась на 3 %, достигнув к 2023 году показателя 16 952 тыс. тонн, что составляет 77,1 % от общего объема всех выбросов.

Валовой выброс вредных веществ в атмосферу в целом по отрасли – «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» снизился по сравнению с 2017 г. на 10,9 % и составил в 2023 г. – 3 156,9 тыс. т. (18,6 % всех выбросов от стационарных источников) (Рисунок 3.10).



Рисунок – 3.10 Динамика объема выбросов от всех источников, стационарных и предприятий теплоэнергетики за 2017–2023 гг., тыс. тонн

Согласно сведениям Государственных докладов о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения, в период с 2017 года по 2023 год на территории Российской Федерации

наблюдалось увеличение доли проб атмосферного воздуха, не соответствующих гигиеническим нормативам, в 1,1 раза. В 2023 году удельный вес таких проб составил 0,75 % (в городских поселениях – 0,78 %, в сельских – 0,58 %). В 2023 году на территориях 16 субъектов Российской Федерации, а именно в г. Санкт-Петербурге, Архангельской, Вологодской, Ульяновской, Тверской и Тульской областях, Республике Коми, Республике Адыгея, Республике Калмыкия, Кабардино-Балкарской, Карачаево-Черкесской и Чеченской республиках, Республике Северная Осетия – Алания, Республике Алтай, Ямало-Ненецком автономном округе, Ненецком автономном округе, превышения гигиенических нормативов содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе не зарегистрированы как в городских, так и в сельских поселениях (Рисунок 3.11).



Рисунок – 3.11 Распределение субъектов Российской Федерации по доле (%) проб атмосферного воздуха с превышением ПДК, 2023 год

В Уральском, Дальневосточном и Сибирском федеральных округах доля проб атмосферного воздуха с превышением предельно допустимых концентраций в городских и сельских поселениях превышает среднероссийский уровень в 1,8–2,2 раза (Таблица 3.1). В качестве одной из причин, обуславливающих высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха поселений Урала, Сибири и Дальнего Востока, выступает их расположение в Азиатской части страны, где рассеивающая способность атмосферы ниже по сравнению с Европейской частью. Неблагоприятные условия рассеивания приводят к аккумуляции химических веществ в атмосфере и формированию повышенных концентраций примесей, поступающих в атмосферный воздух при сжигании как жидкого (мазут, дизельное топливо и др.), так и твердого (уголь, древесина и др.) топлива. Так, например, уголь используется на 80 % генерирующих мощностей тепловых электростанций, расположенных в восточной части России.

Таблица 3.1 – Доля проб атмосферного воздуха с превышением ПДК в городских и сельских поселениях, %

№ п/п	Федеральный округ	Доля проб атмосферного воздуха с превышением ПДК (городские и сельские поселения), %							Темп прироста/ снижения к 2017 г., %
		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Российская Федерация – в целом		0,69	0,68	0,58	0,77	0,79	0,75	0,75	+8,7
1	Уральский	1,06	0,66	0,64	1,54	1,92	1,59	1,63	+53,8
2	Дальневосточный	0,66	0,67	0,88	1,51	2,30	2,08	1,59	+140,9
3	Сибирский	1,92	1,81	1,68	1,88	1,36	1,41	1,38	–28,1
4	Центральный	0,29	0,58	0,28	0,33	0,38	0,33	0,35	+20,7
5	Приволжский	0,40	0,32	0,44	0,26	0,31	0,35	0,30	–25,0
6	Северо-Кавказский	0,34	0,65	0,28	0,28	0,22	0,30	0,30	–11,8
7	Северо-Западный	0,11	0,35	0,21	0,15	0,09	0,05	0,12	+9,1
8	Южный	0,44	0,39	0,25	0,27	0,07	0,11	0,11	–75,0

В 2023 году в отношении 52 загрязняющих веществ, подлежащих контролю в атмосферном воздухе населенных мест, установлены факты превышения гигиенических нормативов. Нарушения гигиенических нормативов наиболее часто формировались повышенными концентрациями следующих соединений: этилбензола (5,61 % проб с превышением предельно допустимой концентрации), бенз(а)пирена (5,33 %), диметилсульфида (3,97 %), взвешенных частиц PM_{2.5} (3,59 %) и PM₁₀ (2,19 %), акролеина (проп-2-ен-1-аль) (2,98 %), пропан-1-тиола (1,98 %), метантиола (1,51 %), дигидросульфида (1,15 %), трихлорэтилена (0,93 %), углеводородов (0,85 %), в том числе ароматических (1,15 %), среди которых бензол (0,82 %), толуол (0,61 %), ксилол (2,33 %) и стирол (0,38 %), иных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений Российской Федерации.

В СФО доля выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников, в том числе объектов теплоэнергетики, составила более 30 % от общего суммарного выброса стационарных источников в целом по РФ. За период с 2017 по 2023 гг. уровень выбросов от стационарных источников в СФО снизился незначительно относительно показателя Российской Федерации – на 1,7 % и составил в 2023 г. 5 511,8 тыс. т. Выбросы от стационарных источников в Красноярском крае составляют более 45 % от всех выбросов стационарных источников по СФО, которые с 2017 года снизились незначительно – на 5,3 % и составили 2 488,5 тыс. тонн (Рисунок 3.12).

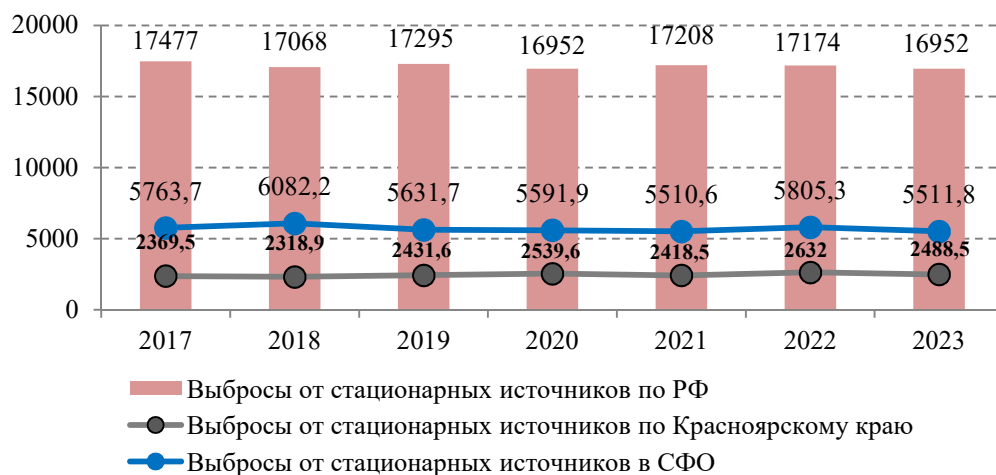


Рисунок – 3.12 Динамика объема выбросов от стационарных источников, в том числе объектов теплоэнергетики, в целом по РФ, по Сибирскому ФО и Красноярскому краю за 2017-2023 гг., тыс. тонн

Результаты структурного анализа выбросов загрязняющих веществ в Красноярском крае свидетельствуют о том, что в 2023 г. относительно 2017 г. уменьшились выбросы диоксида серы (на 27,0 тыс. тонн) и твердых веществ (на 14,2 тыс. тонн), тогда как выбросы оксидов азота увеличились на 12,0 тыс. тонн, оксида углерода – на 112,2 тыс. тонн, летучих органических соединений – на 47,2 тыс. тонн. При этом в 7 городах края, в том числе в г. Красноярске, ИЗА остается высоким (больше 7).

Таким образом, за период 2017–2023 гг. общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу снизился на 31,5 % (10 092,0 тыс. т) и в 2023 году составил 21 976 тыс. т; за тот же период выбросы от стационарных источников снизились на 3 % по сравнению с 2017 годом и достигли 16 952 тыс. тонн (77,1 % от общего объема). Валовой выброс вредных веществ по отрасли «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» снизился на 10,9 % к 2023 году и составил 3 156,9 тыс. тонн (18,6 % от всех выбросов стационарных источников). По данным официальной статистики в 2023 году регистрируется увеличение доли проб атмосферного воздуха, превышающих гигиенические нормативы до 0,75 % (городские поселения – 0,78 %, сельские – 0,58 %); в Уральском, Дальневосточном и Сибирском ФО доля проб с превышением ПДК выше среднероссийского уровня составляет 1,8–2,2 раза.

В СФО доля выбросов от стационарных источников превышает 30 % от общего объема по РФ. За период 2017–2023 гг. уровень выбросов от стационарных источников в СФО снизился на 1,7 % и составил 5 511,8 тыс. тонн, причём в Красноярском крае доля таких выбросов достигает более 45 % от суммарных выбросов СФО и за тот же период снизилась на 5,3 % до 2 488,5 тыс. т. Структурный анализ выбросов 2023 года по отношению к 2017 году демонстрирует снижение выбросов диоксида серы на 27,0 тыс. тонн и твердых веществ на 14,2 тыс. тонн, однако зафиксирован рост оксидов азота на 12,0 тыс. тонн, оксида углерода на 112,2 тыс. тонн и ЛОС на 47,2 тыс. тонн, при этом в семи городах края ИЗА остаётся выше порога (> 7).

3.3 Меры государственного регулирования качества атмосферного воздуха в рамках реализации Федерального проекта «Чистый воздух»

В современных условиях государственное управление в области охраны атмосферного воздуха в Российской Федерации ориентировано на создание благоприятных условий среды обитания и обеспечение охраны здоровья граждан. В качестве приоритетных механизмов реализации данного регулирования выступают государственный надзор, осуществляемый в части соблюдения санитарно-эпидемиологических и экологических требований, разработка и реализация комплексных планов и целевых программ, нацеленных на снижение объемов выбросов загрязняющих веществ, применение системы квотирования выбросов (подробнее данные инструменты освещены в разделе 1.3). До начала реализации проектной деятельности на территориях с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха указанные механизмы служили основой нормативного регулирования, а в ходе реализации ФП «Чистый воздух» они обеспечивают контроль и выполнение установленных требований санитарного и экологического законодательства, способствуя достижению целевых и индикативных показателей снижения загрязнения воздуха и охране здоровья населения.

Федеральный проект «Чистый воздух» инициирован в ответ на недостаточную эффективность действующих механизмов государственного регулирования в области охраны атмосферного воздуха, которые до его реализации не обеспечивали необходимого снижения уровня загрязнения и адекватной защиты здоровья населения в регионах с высокой степенью промышленного и транспортного загрязнения атмосферы. Несмотря на наличие надзора, норм и программ, фактическое качество воздуха на таких территориях оставалось на опасно высоком уровне, что обусловило необходимость внедрения более комплексных, целевых и координированных мер, способных обеспечить достижение конкретных нормативных и индикативных показателей по снижению выбросов и улучшению санитарно-эпидемиологической и экологической обстановки для охраны здоровья населения.

До начала реализации Федерального проекта «Чистый воздух» в ряде регионов наблюдался значительный уровень загрязнения атмосферного воздуха. В 2017 году приоритетное внимание уделялось городам, расположенным в Сибирском, Уральском и Дальневосточном федеральных округах Российской Федерации. В течение отчетного периода наибольший удельный вес проб атмосферного воздуха с превышением максимально допустимой концентрации максимально разовых выбросов (ПДКм.р.) загрязняющих веществ зафиксирован в Чукотском автономном округе (ДФО), Республике Бурятия, Иркутской области и Красноярском крае (СФО), в Челябинской области (УФО) и некоторых других регионах. Доля нестандартных проб с превышением 1 ПДКм.р. по содержанию загрязняющих веществ в воздухе на данных территориях регистрировалась от 2,22 до 42,86 % (Рисунок 3.13). В зонах влияния

промышленных предприятий доля проб с превышением гигиенических нормативов в 2017 г. составляла 0,47 %.

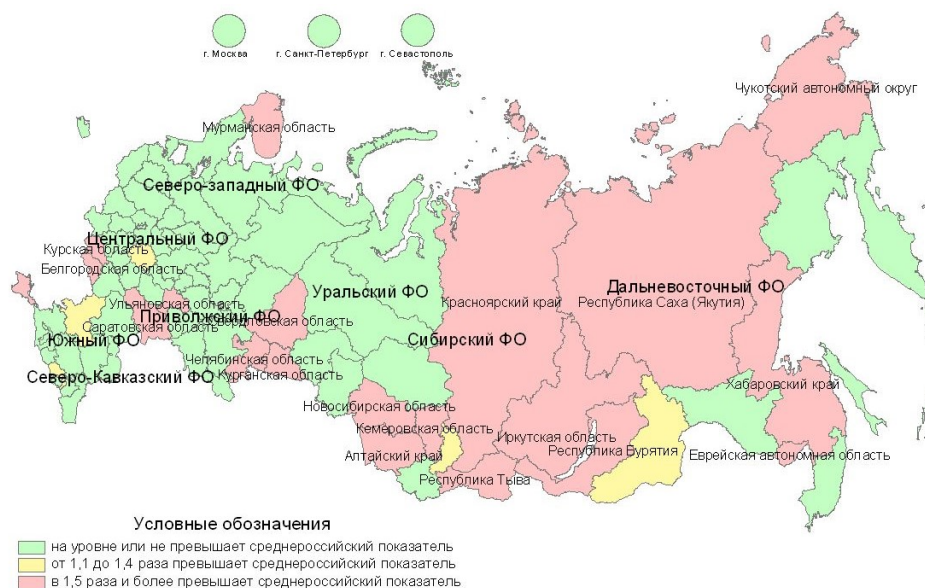


Рисунок – 3.13. Распределение субъектов Российской Федерации по доле проб (%) атмосферного воздуха с содержанием загрязняющих веществ, превышающих ПДКм.р., 2017 год

В 2017 году в атмосфере городов Российской Федерации приоритетными загрязнителями выступали бенз(а)пирен, тяжелые металлы, фтористый водород, сероводород, фенол, взвешенные вещества. Доля проб атмосферного воздуха, в которых выявлялись концентрации указанных веществ, превышающие установленные нормативные значения, варьировалась в пределах от 1,14 % до 3,39 %.

Результаты проведения анализа качества атмосферного воздуха показали вариабельность степени его влияния на формирование состояния здоровья населения в различных субъектах Российской Федерации. В среднем по стране в 2017 году число дополнительных случаев заболеваний, ассоциированных с загрязнением атмосферного воздуха в населённых пунктах, достигло 1 657,7 тыс. случаев. К числу ведущих факторов риска, обуславливающих негативное воздействие на качество атмосферного воздуха, относились взвешенные вещества, оксиды азота, оксид углерода, гидроксibenзол и его производные, ароматические углеводороды. Помимо этого, значительное внимание уделяется аммиаку, бенз(а)пирену, формальдегиду, дигидросульфиду, ксилолу, серной кислоте, толуолу, тяжелым металлам и другим химическим веществам, способным оказывать токсическое влияние на окружающую среду и здоровье населения.

В 2017 году зарегистрирована статистически значимая корреляция между уровнем заболеваемости населения Российской Федерации патологиями органов дыхания и уровнем загрязнения атмосферного воздуха такими компонентами, как взвешенные вещества, аммиак, толуол, гидроксibenзол и его производные, оксиды азота, формальдегид, бенз(а)пирен, ксилол, ароматические углеводороды, соединения фтора и хлора, иными вредными веществами, выявленная в 43 субъектах РФ. Вероятностное влияние загрязнения воздуха обусловило прирост

заболеваемости респираторными заболеваниями в диапазоне от 1,47 случая на 100 тыс. человек в Санкт-Петербурге до 18 782,4 случая на 100 тыс. населения в Иркутской области. К территориям с наиболее высокой интенсивностью заболеваемости, предположительно связанной с аэрогенными факторами окружающей среды, относятся Иркутская область, Республика Бурятия, Кемеровская область, Алтайский край, Астраханская и Белгородская области, Хабаровский и Красноярский края, Республика Башкортостан, где количество дополнительных случаев варьирует от 1 595,8 до 18 782,4 на 100 тыс. человек.

В частности, загрязнение атмосферного воздуха способствует увеличению числа новых случаев хронического и неутонченного бронхита, эмфиземы среди детского населения в 36 субъектах Российской Федерации. Уровни заболеваемости варьируют от 0,01 до 38,6 случаев на 100 тыс. детей соответствующего возраста. Наивысшие показатели зарегистрированы в Республике Башкортостан, Красноярском крае, Иркутской, Ростовской, Омской, Ульяновской, Орловской, Оренбургской и Мурманской областях, в Кабардино-Балкарской Республике, где заболеваемость колеблется от 3,27 до 38,6 случаев на 100 тыс. детского населения (Рисунок 3.14).

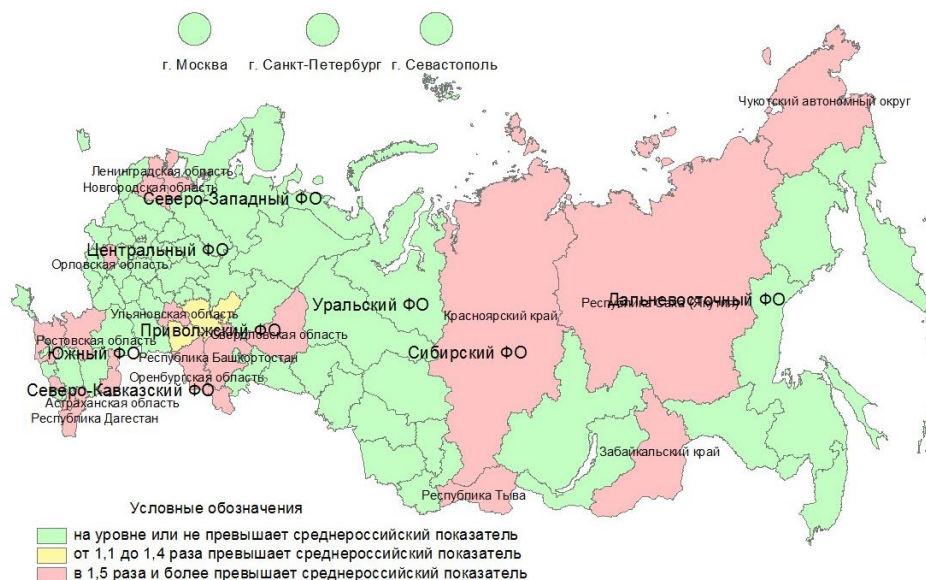


Рисунок 3.14 – Распределение регионов Российской Федерации по показателям заболеваемости детей в возрасте 0-14 лет хроническим и неутонченным бронхитом, эмфиземой за 2017 год

В рамках национального проекта «Экология» осуществляется федеральный проект «Чистый воздух», ориентированный на комплексное улучшение эколого-гигиенической ситуации путем снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Пилотными территориями для реализации мероприятий, направленных на улучшение качества атмосферного воздуха, избраны 12 крупных промышленных центров Российской Федерации, а именно: Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец, Чита. С августа 2021 года полномочия по управлению данным проектом переданы Министерству природных ресурсов и экологии РФ. Предполагается, что реализация запланированных мероприятий, направленных на сокращение выбросов со стороны

промышленных предприятий, объектов коммунальной и транспортной инфраструктуры, позволит существенно повысить качество воздуха в данных населённых пунктах. В соответствии с плановыми показателями предусмотрено достижение минимального сокращения совокупного объема выбросов на 20 % в установленный срок, обеспечение к 2036 году двукратного снижения выбросов опасных загрязняющих веществ, характеризующихся наиболее выраженным негативным воздействием на окружающую среду и здоровье населения, в городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха. С 2023 года к числу участников эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ присоединены 29 городских поселений и городских округов, отнесенных к категориям с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха.

В рамках Федерального проекта «Чистый воздух» предусматривается реализация мероприятий по уменьшению выбросов токсичных веществ посредством модернизации морально и физически устаревших технологических процессов, обновления оборудования и технических средств. В проекте предусмотрено внедрение экологически чистых энергосберегающих технологий в промышленности. Дополнительно, планируется организация системы мониторинга качества воздуха для оценки уровня загрязнения атмосферы. Реализация данных мероприятий, согласно международному опыту, может привести к улучшению санитарно-эпидемиологической ситуации в России и оказать положительное воздействие на экономическую сферу.

Во всех городах, участвующих в проекте, наблюдаются превышения установленных гигиенических нормативов по одному либо нескольким приоритетным загрязняющим веществам: оксид азота (3,32 ПДКс.г.) и диоксид азота (4,60 ПДКс.г.), взвешенные вещества (1,21 ПДКс.г.), бенз(а)пирен (до 2,07 ПДКс.г.), бензол (до 4,81 ПДКс.г.), диметилбензол (до 1,79 ПДКс.г.), проп-2-ен-1-аль (до 5,61 ПДКс.г.), серная кислота (до 26,4 ПДКс.г.), трихлорэтилен (до 1,43 ПДКс.г.), формальдегид (до 1,13 ПДКс.г.), этенилбензол (до 2,87 ПДКс.г.), марганец (до 5,6 ПДКс.г.), оксид меди (до 15,4 ПДКс.г.) и др. химические вещества.

Для проведения анализа эффективности государственных механизмов регулирования качества атмосферного воздуха в роли репрезентативной территории выбран город Красноярск, выступающий участником федеральной программы «Чистый воздух». Данный город представляет собой крупный экономический, промышленный и энергетический центр, обеспечивающий процессы генерации, транспортировки и распределения электрической и тепловой энергии. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в данном городе классифицируется как «очень высокий» и характеризуется ИЗА равным 5, превышающим значение 14. Ежегодно на территории города регистрируются превышения гигиенических нормативов: среднегодовые концентрации взвешенных веществ (в 1,61 раза выше ПДКс.г.), взвешенных частиц PM_{2.5} (в 1,24 раза выше ПДКс.г.), PM₁₀ (в 1,20 раза выше ПДКс.г.), оксида азота (в 1,35 раза выше ПДКс.г.), гидрохлорида (в 1,28 раза выше ПДКс.г.), стирола (в 1,12 раза выше ПДКс.г.), формальдегида (в 5,53 раза выше ПДКс.г.) и бенз(а)пирена (в 5,35 раза выше ПДКс.г.) и др. веществ воздуха.

Важно отметить, что метеорологические условия Красноярска, характеризующиеся преобладанием штиля и значительной долей безветренных дней (почти половина года), создают ситуацию, аналогичную «газовой камере», когда атмосферный воздух насыщается загрязняющими веществами, поступающими от алюминиевого завода и угольных теплоэлектростанций. Наряду с алюминиевым заводом, угольные котельные представляют собой значимый источник антропогенного воздействия на качество атмосферного воздуха в городской среде. Применение бурого угля с низкими эксплуатационными характеристиками, характеризующегося высокой зольностью и повышенной концентрацией оксидов азота в продуктах сгорания, способствует усугублению санитарно-эпидемиологической обстановки, что приводит к интенсивному загрязнению атмосферного воздуха и, как следствие, оказывает отрицательное влияние на состояние здоровья населения.

Красноярск регулярно занимает ведущие позиции в мировых рейтингах качества атмосферного воздуха, публикуемых на портале IQAir. Данный проект, являющийся швейцарской инициативой и производителем систем воздухоочистки, агрегирует и обновляет данные с датчиков в режиме реального времени, отражая динамику уровня загрязнения.

Таким образом, до начала реализации Федерального проекта «Чистый воздух» в ряде регионов России наблюдался высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха, особенно в Сибирском, Уральском и Дальневосточном федеральных округах. В 2017 году наибольший удельный вес проб с превышением ПДКм.р. зафиксирован в Чукотском автономном округе, Республике Бурятия, Иркутской области и Красноярском крае, в Челябинской области. Основными загрязняющими веществами являются бенз(а)пирен, тяжелые металлы и взвешенные вещества. Анализ показал связь между загрязнением воздуха и увеличением заболеваний органов дыхания, с наибольшими показателями в Иркутской области и Республике Бурятия. Проект «Чистый воздух» направлен на снижение выбросов и улучшение эколого-гигиенической ситуации в двенадцати крупных промышленных центрах с целью сократить совокупные выбросы на 20 % к 2026 году и вдвое к 2036 году. В Красноярске, выбранном для анализа, уровень загрязнения классифицируется как «очень высокий», что усугубляется метеорологическими условиями и выбросами от промышленных объектов.

ГЛАВА 4 МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНИРУЕМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ПО КРИТЕРИЯМ МИТИГАЦИИ РИСКОВ И ВРЕДА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ

4.1 Методические подходы к гигиенической оценке эффективности мер регулирования качества атмосферного воздуха

Первоначальным и базовым этапом предлагаемых методических подходов является этап целеполагания. В соответствии с МР 2.1.10.3675-20 [63], эффективность любых воздухоохраных мероприятий должна оцениваться относительно четко установленных целевых показателей. На данном этапе производится формализация целей, которыми могут выступать как целевые показатели государственных программ и комплексных планов (например, планируемое снижение валовых выбросов в тоннах/год), так и установленные гигиенические нормативы (ПДК), приемлемые уровни риска для здоровья населения, показатели ассоциированных дополнительных случаев нарушений здоровья экспонированного населения.

Концептуальная схема комплексной оценки эффективности воздухоохраных мероприятий представлена на рисунке 4.1 [112].

Для оценки эффективности воздухоохраных мероприятий в рамках Комплексных планов разработан научно обоснованный алгоритм, базирующийся на интегральном анализе системы многокомпонентных показателей, универсальный для применения в оценках к различным видам хозяйственной деятельности и исследуемым территориям. Оценка эффективности осуществляется на основе последовательного проведения ряда расчетов и аналитических процедур:

1. Анализ выполнения Комплексных планов воздухоохраных мероприятий по целевому снижению валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (тонн/год);
2. Гигиеническая оценка влияния хозяйственной деятельности на качество атмосферного воздуха с позиций соблюдения гигиенических нормативов (ПДК);
3. Оценка риска здоровью населения с расчетом показателей при канцерогенном (суммарный канцерогенный риск, CR), остром и хроническом неканцерогенном (коэффициенты опасности – HQ, индексы опасности – HI) воздействии;
4. Расчет дополнительных случаев заболеваемости населения, ассоциированных с качеством атмосферного воздуха.

По результатам проведения указанных оценок формируются четыре группы критериев, комплексно отражающих эффективность реализации воздухоохраных мероприятий.

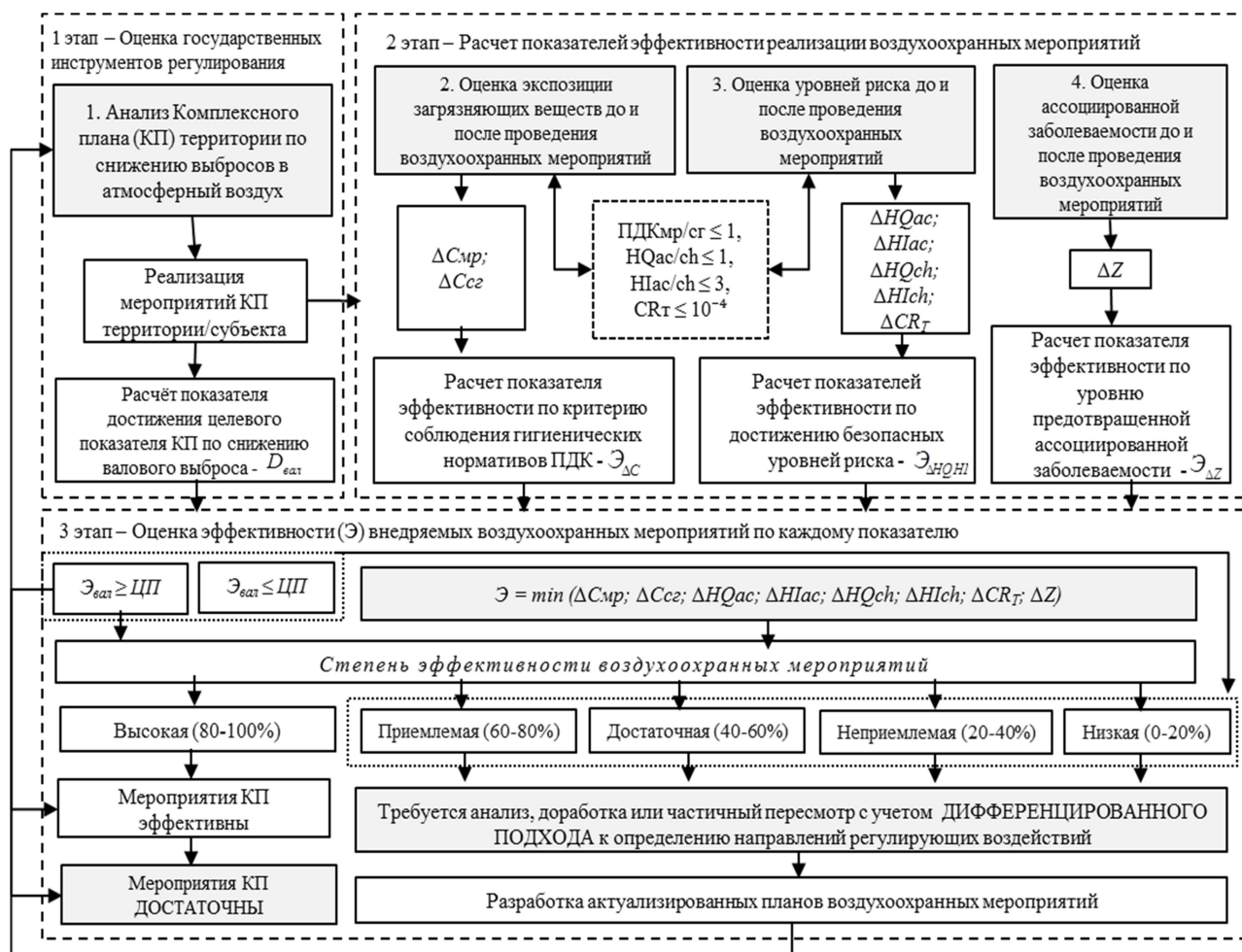


Рисунок 4.1 – Концептуальная алгоритм-схема комплексной оценки эффективности воздухоохраных мероприятий

В рамках разработанного алгоритма для интегрированной количественной оценки эффективности воздухоохраных мероприятий выполнено поэтапное вычисление показателей эффективности – Δ . Показатель эффективности по критерию валового снижения выбросов загрязняющих веществ (критерий 1) характеризует степень достижения целевого показателя Комплексного плана; показатели эффективности, отражающие соблюдение гигиенических нормативов (ПДК_{м.р.}, ПДК_{с.г.}) (критерий 2), достижение допустимых уровней риска для здоровья населения ($HQ_{\text{ас}}/\text{ch} \leq 1$, $HI_{\text{ас}}/\text{ch} \leq 3$, $CR_T \leq 10^{-4}$) (критерий 3) и сокращение ассоциированной заболеваемости (критерий 4), обеспечивают количественную оценку результативности реализованных воздухоохраных мероприятий через параметр предотвращения данных превышений, уровней и случаев соответственно.

Анализ эффективности воздухоохраных мероприятий, реализуемых в рамках Комплексных планов и иных мер регулирования выбросов, осуществляется путем сравнительного анализа указанных критериев до и после внедрения данных мероприятий с целью определения степени достижения целевых показателей и количественной оценки произошедших изменений показателей.

Разработанный алгоритм по оценке эффективности воздухоохраных мероприятий включает три последовательных этапа вычислений. На **первом этапе** оценки эффективности

воздухоохранных мероприятий осуществляется расчет показателя эффективности по критерию 1 – достижение целевого показателя Комплексного плана по критерию валового снижения выбросов загрязняющих веществ по формулам 4.1 и 4.2:

$$B_{вал} = \frac{\sum_i B_i^{до} - \sum_i B_i^{после}}{\sum_i B_i^{до}} \times 100\% \quad (4.1)$$

где $B_{вал}$ – показатель снижения валового выброса загрязняющих веществ, %;

$B_i^{до}$ – объем выбросов i -го загрязняющего вещества до реализации воздухоохраных мероприятий (т/год);

$B_i^{после}$ – объем выбросов i -го загрязняющего вещества после реализации воздухоохраных мероприятий (т/год).

$$D_{вал} = \frac{B_{вал}}{ЦП} \times 100\% \quad (4.2)$$

где $D_{вал}$ – показатель достижения целевого показателя Комплексного плана, %;

$B_{вал}$ – параметр снижения валового выброса загрязняющих веществ, %;

ЦП – целевой показатель снижения валового выброса загрязняющих веществ согласно Комплексному плану, %.

Данная оценка направлена на установление степени выполнения воздухоохраных мероприятий, предусмотренных Комплексными планами действий по снижению выбросов загрязняющих веществ до уровня целевого показателя валового снижения (от 0 до 100 %).

На **втором этапе** осуществляется расчет гигиенических показателей, соответствующих критериям 2–4, с целью количественной оценки эффективности проведенных мероприятий.

В рамках Критерия 2 анализируется динамика концентраций загрязняющих веществ после проведения мероприятий в сопоставлении с гигиеническими нормативами (ПДКм.р., ПДКс.г.). Для веществ, не имеющих утверждённой среднегодовой предельно допустимой концентрации, в качестве оценочного критерия используется среднесуточная ПДК (ПДКс.с.).

Расчет предусматривает анализ динамики концентраций приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на исследуемой территории с охватом всех жилых зон города, включая локальные участки, подверженные влиянию выбросов хозяйствующих субъектов и иных источников загрязнения, с учетом проведенных воздухоохраных мероприятий. Соответствие состояния атмосферного воздуха санитарно-эпидемиологическим требованиям констатируется при достижении уровней загрязняющих веществ, не превышающих установленные нормативы (1 ПДК).

Для количественной оценки эффективности воздухоохраных мероприятий в отношении соблюдения гигиенических нормативов рассчитывается показатель, отражающий превышение концентраций загрязняющих веществ в долях ПДК на исследуемой территории. Его расчет выполняется путем определения разницы между суммарными отношениями концентраций

загрязняющих веществ ($\Delta C_{сг}$; $\Delta C_{мр}$) к соответствующим гигиеническим нормативам до и после внедрения мероприятий в исследуемых точках жилых массивов для каждого вещества, превышающего гигиенические нормативы (формулы 4.3, 4.4):

$$\mathcal{E}_{\Delta C_{сг}} = \frac{\sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \frac{C_{сг\ i}^{до\ k}}{ПДК_{сг}^i} - 1 \right\rangle - \sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \frac{C_{сг\ i}^{после\ k}}{ПДК_{сг}^i} - 1 \right\rangle}{\sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \frac{C_{сг\ i}^{до\ k}}{ПДК_{сг}^i} - 1 \right\rangle} \times 100\% \quad (4.3)$$

где $\mathcal{E}_{\Delta C_{сг}}$ – показатель эффективности в отношении соблюдения гигиенических нормативов ПДК_{с.г.} после реализации воздухоохраных мероприятий, %;

$C_{сг\ i}^{до\ k}$ – среднегодовая концентрация i -го загрязняющего вещества в k -ой точке до реализации воздухоохраных мероприятий, мг/м³;

$C_{сг\ i}^{после\ k}$ – среднегодовая концентрация i -го загрязняющего вещества в k -ой точке после реализации воздухоохраных мероприятий, мг/м³;

$ПДК_{с.г.}^i$ – ПДК_{с.г.} для i -го загрязняющего вещества, мг/м³;

k_i – количество точек с превышениями гигиенического норматива по i -му загрязняющему веществу до реализации мероприятий.

$$\mathcal{E}_{\Delta C_{мр}} = \frac{\sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \frac{C_{мр\ i}^{до\ k}}{ПДК_{м.р.}^i} - 1 \right\rangle - \sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \frac{C_{мр\ i}^{после\ k}}{ПДК_{м.р.}^i} - 1 \right\rangle}{\sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \frac{C_{мр\ i}^{до\ k}}{ПДК_{м.р.}^i} - 1 \right\rangle} \times 100\% \quad (4.4)$$

где $\mathcal{E}_{\Delta C_{мр}}$ – показатель эффективности в отношении соблюдения гигиенических нормативов ПДК_{м.р.} после реализации воздухоохраных мероприятий, %;

$C_{мр\ i}^{до\ k}$ – максимальная разовая концентрация i -го загрязняющего вещества в k -ой точке до реализации воздухоохраных мероприятий, мг/м³;

$C_{мр\ i}^{после\ k}$ – максимальная разовая концентрация i -го загрязняющего вещества в k -ой точке после реализации воздухоохраных мероприятий, мг/м³;

$ПДК_{м.р.}^i$ – ПДК_{м.р.} для i -го загрязняющего вещества, мг/м³;

k_i – количество точек с превышениями гигиенического норматива по i -му загрязняющему веществу до реализации мероприятий.

Расчет по группе критериев 3 направлен на отражение изменения расчетных показателей канцерогенного, острого и хронического неканцерогенного риска до приемлемых уровней ($HQ \leq 1$, $HI \leq 3$, $CR_T \leq 10^{-4}$). Указанные критерии предполагают снижение повышенных уровней риска до значений приемлемого (допустимого) риска на исследуемой территории после реализации

воздухоохранных мероприятий. Достижение приемлемых уровней риска служит индикатором результативности принятых мер.

Оценка эффективности мероприятий по снижению неканцерогенного риска для здоровья, обусловленного качеством атмосферного воздуха, проводится на основе анализа снижения коэффициента опасности (НҚ) и индекса опасности (НІ). Общий принцип оценки заключается в расчете относительного снижения совокупного превышения референтных концентраций до и после реализации воздухоохранных мероприятий по каждому веществу в каждой расчетной точке – $\Delta R_{НҚ}, \Delta R_{НІ}$ отнесенные к соответствующим показателям до реализации воздухоохранных мероприятий. Расчет эффективности по достижению безопасных уровней риска здоровью по группе критериев 3 осуществляется по формулам 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 и 4.9.

1) Расчет показателя эффективности по достижению безопасных уровней риска здоровью по критерию НҚ при остром неканцерогенном воздействии:

$$\mathcal{E}_{\Delta H_{Qac}} = \frac{\sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \frac{C_{mp_i}^{доk}}{ARfc_i} - 1 \right\rangle - \sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \frac{C_{mp_i}^{послеk}}{ARfc_i} - 1 \right\rangle}{\sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \frac{C_{mp_i}^{доk}}{ARfc_i} - 1 \right\rangle} \times 100\% \quad (4.5)$$

где $\mathcal{E}_{\Delta H_{Qac}}$ – показатель эффективности по достижению безопасных уровней риска здоровью по критерию НҚас при остром неканцерогенном воздействии после реализации воздухоохранных мероприятий, %;

$C_{mp_i}^{доk}$ – максимальная разовая концентрация i -го загрязняющего вещества, рассчитанная в k -ой точке до реализации воздухоохранных мероприятий, мг/м³;

$C_{mp_i}^{послеk}$ – максимальная разовая концентрация i -го загрязняющего вещества, рассчитанная в k -ой точке после реализации воздухоохранных мероприятий, мг/м³;

$ARfc_i$ – референтный уровень острого воздействия i -го загрязняющего вещества, мг/м³;

k_i – количество точек с превышениями коэффициента опасности (НҚас) по i -му загрязняющему веществу до реализации мероприятий.

2) Расчет показателя эффективности по достижению безопасных уровней риска здоровью по критерию НІ при остром неканцерогенном воздействии:

$$\mathcal{E}_{\Delta H_{Iac}} = \frac{\sum_j \frac{1}{k_j} \sum_k \left\langle HI_{acj}^{доk} - 3 \right\rangle - \sum_j \frac{1}{k_j} \sum_k \left\langle HI_{acj}^{послеk} - 3 \right\rangle}{\sum_j \frac{1}{k_j} \sum_k \left\langle HI_{acj}^{доk} - 3 \right\rangle} \times 100\% \quad (4.6)$$

где $\mathcal{E}_{\Delta H_{Iac}}$ – показатель эффективности по достижению безопасных уровней риска здоровью по критерию НІас при остром неканцерогенном воздействии после реализации воздухоохранных мероприятий, %;

$HI_{acj}^{доk}$ – индекс опасности при остром воздействии, рассчитанный в k -ой точке для j -ой критической системы до реализации воздухоохраных мероприятий;

$HI_{acj}^{послеk}$ – индекс опасности при остром воздействии, рассчитанный в k -ой точке для j -ой критической системы после реализации воздухоохраных мероприятий;

k_i – количество точек с превышениями индекса опасности (Нас) по j -ой критической системе до реализации мероприятий.

3) Расчет показателя эффективности по достижению безопасных уровней риска здоровью по критерию НQ при хроническом неканцерогенном воздействии:

$$\mathcal{E}_{\Delta HQch} = \frac{\sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \frac{C_{сз\ i}^{доk}}{Rfc_i} - 1 \right\rangle - \sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \frac{C_{сз\ i}^{послеk}}{Rfc_i} - 1 \right\rangle}{\sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \frac{C_{сз\ i}^{доk}}{Rfc_i} - 1 \right\rangle} \times 100\% \quad (4.7)$$

где $\mathcal{E}_{\Delta HQch}$ – показатель эффективности по достижению безопасных уровней риска здоровью по критерию НQ при хроническом неканцерогенном воздействии после реализации воздухоохраных мероприятий, %;

$C_{сз\ i}^{доk}$ – среднегодовая концентрация i -го загрязняющего вещества, рассчитанная в k -ой точке до реализации воздухоохраных мероприятий, мг/м³;

$C_{сз\ i}^{послеk}$ – среднегодовая концентрация i -го загрязняющего вещества, рассчитанная в k -ой точке после реализации воздухоохраных мероприятий, мг/м³;

Rfc_i – референтный уровень хронического воздействия i -го загрязняющего вещества, мг/м³;

k_i – количество точек с превышениями коэффициента опасности (НQch) по i -му загрязняющему веществу до реализации мероприятий.

4) Расчет показателя эффективности по достижению безопасных уровней риска здоровью по критерию НI при хроническом неканцерогенном воздействии:

$$\mathcal{E}_{\Delta HIch} = \frac{\sum_j \frac{1}{k_j} \sum_k \left\langle HI_{ch\ j}^{доk} - 3 \right\rangle - \sum_j \frac{1}{k_j} \sum_k \left\langle HI_{ch\ j}^{послеk} - 3 \right\rangle}{\sum_j \frac{1}{k_j} \sum_k \left\langle HI_{ch\ j}^{доk} - 3 \right\rangle} \times 100\% \quad (4.8)$$

где $\mathcal{E}_{\Delta HIch}$ – показатель эффективности по достижению безопасных уровней риска здоровью по критерию НI при хроническом неканцерогенном воздействии после реализации воздухоохраных мероприятий, %;

$HI_{ch\ j}^{доk}$ – индекс опасности при хроническом воздействии, рассчитанный в k -ой точке для j -ой критической системы до реализации воздухоохраных мероприятий;

$HI_{ch\ j}^{послеk}$ – индекс опасности при хроническом воздействии, рассчитанный в k -ой точке для j -ой критической системы после реализации воздухоохраных мероприятий;

k_i – количество точек с превышениями индекса опасности (Hlch) по j -ой критической системе до реализации мероприятий.

5) Расчет показателя эффективности по достижению безопасных уровней суммарного канцерогенного риска здоровью по CR_T :

$$\mathcal{E}_{\Delta CR_T} = \frac{\sum_k \frac{1}{k} \left\langle \sum_i CR_{ik}^{до} - 10^{-4} \right\rangle - \sum_k \frac{1}{k} \left\langle \sum_i CR_{ik}^{после} - 10^{-4} \right\rangle}{\sum_k \frac{1}{k} \left\langle \sum_i CR_{ik}^{до} - 10^{-4} \right\rangle} \times 100\% \quad (4.9)$$

где $\mathcal{E}_{\Delta CR_T}$ – показатель эффективности по достижению безопасных уровней суммарного канцерогенного риска здоровью после реализации воздухоохраных мероприятий, %;

$CR_{ik}^{до}$ – канцерогенный риск от i -го загрязняющего вещества, рассчитанный в k -ой точке до реализации воздухоохраных мероприятий;

$CR_{ik}^{после}$ – канцерогенный риск от i -го загрязняющего вещества, рассчитанный в k -ой точке после реализации воздухоохраных мероприятий;

k – количество расчетных точек с превышением суммарного канцерогенного риска до реализации мероприятий.

Расчет критерия 4. Оценка изменения количества дополнительных случаев заболеваний, ассоциированных с загрязнением атмосферного воздуха, проводится на основе расчета соответствующих показателей до начала и после реализации воздухоохраных мероприятий (ΔZ). Прямой и наиболее значимым признаком эффективности принятых мер является отсутствие таких заболеваний. Эффективность рассчитывается по формуле 4.10:

$$\mathcal{E}_{\Delta Z} = \frac{\sum_k \sum_j \sum_i Z_{kji}^{до} - \sum_k \sum_j \sum_i Z_{kji}^{после}}{\sum_k \sum_j \sum_i Z_{kji}^{до}} \times 100\% \quad (4.10)$$

где $\mathcal{E}_{\Delta Z}$ – показатель эффективности по уровню предотвращенной ассоциированной заболеваемости в результате внедрения воздухоохраных мероприятий, %;

$Z_{kji}^{до}$ – количество случаев j -ого вида заболеваний, ассоциированных с загрязнением атмосферного воздуха в k -ой точке i -ым химическим веществом до реализации воздухоохраных мероприятий, сл.;

$Z_{kji}^{после}$ – количество случаев j -ого вида заболеваний, ассоциированных с загрязнением атмосферного воздуха в k -ой точке i -ым химическим веществом после реализации воздухоохраных мероприятий, сл.;

На **третьем этапе** итоговая оценка эффективности ($\mathcal{E}$) внедренных воздухоохраных мероприятий рассчитывается на основании *наихудшего (минимального)* значения среди группы индикаторов по формуле 4.11:

$$\mathcal{E} = \min (\mathcal{E}_{\Delta C_{mp}} ; \mathcal{E}_{\Delta C_{cz}} ; \mathcal{E}_{\Delta HQac} ; \mathcal{E}_{\Delta Hlac} ; \mathcal{E}_{\Delta HQch} ; \mathcal{E}_{\Delta Hlch} ; \mathcal{E}_{\Delta CR_T} ; \mathcal{E}_{\Delta Z}) \quad (4.11)$$

где $\mathcal{E}$ – итоговое значение эффективности внедренных воздухоохраных мероприятий, %;

$\min (...)$ – функция, определяющая минимальное значение эффективности среди всех критериев.

Итоговое значение эффективности воздухоохраных мероприятий проводится путем сопоставления со шкалой нормирования [63] (Таблица 4.1):

Таблица 4.1 – Шкала оценки эффективности запланированных (внедренных) воздухоохраных мероприятий [63]

Степень эффективности	Эффективность мероприятий*, %
Неприемлемая	0-20
Низкая	20-40
Приемлемая	40-60
Достаточная	60-80
Высокая	80-100
* В соответствии с п. 3.10.7 МУ 2.1.10.3675-20	

Величина интегрального показателя выражается в диапазоне от 0 до 100 %, при этом нулевое значение констатирует факт невыполнения поставленных задач в полном объеме, тогда как значение, равное 100 %, фиксирует их исчерпывающую реализацию. На основании результатов оценки результативности предусмотренных (реализованных) природоохраных мероприятий в части соблюдения гигиенических критериев формируется таблица согласно шаблону, приведенному в Таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Форма представления результатов оценки итоговой эффективности запланированных (внедренных) воздухоохраных мероприятий по гигиеническим критериям [63]

Гигиенический критерий	Эффективность (Э), %	Степень эффективности
$\mathcal{E}_{\Delta X}$	Э	...

Таким образом, предложенный алгоритм гигиенической оценки эффективности воздухоохраных мероприятий, основанный на интегральном анализе комплекса показателей, отражающих изменение уровней загрязнения атмосферного воздуха, риска и ассоциированного вреда здоровью (в виде дополнительных случаев ассоциированной заболеваемости), обеспечивает репрезентативность и научную обоснованность анализа регулирующих воздействий в отношении источников загрязнения атмосферного воздуха и приоритетных загрязняющих веществ. Данный методический подход является системным, позволяет одновременно учитывать разнородные, но взаимосвязанные и взаимообусловленные критерии, и на этой основе оценить достаточность достижения целевых уровней государственных инструментов по снижению негативного воздействия выбросов на атмосферный воздух и количественно оценить эффект таких мероприятий на состояние здоровья населения.

Предложенный методический подход к оценке эффективности реализации комплексных планов воздухоохраных мероприятий ориентирован на анализ изменений параметров выбросов от всей совокупности источников загрязнения атмосферы исследуемой территории. С точки зрения задач государственного контроля исполнения комплексных планов существенную

значимость имеет определение эффективности мероприятий, реализуемых в отношении выбросов конкретных хозяйствующих субъектов или группы субъектов (в части данного диссертационного исследования – всех объектов теплоэнергетики).

Для решения данной задачи требуется получение количественных оценок по предложенной системе критериев, базирующихся на вкладах отдельных хозяйствующих субъектов (или группы субъектов) как в уровень загрязнения атмосферного воздуха, так и в показатели риска и ассоциированного вреда здоровью экспонированного населения. Определение вкладов хозяйствующих субъектов в уровень загрязнения атмосферы осуществляется на основании результатов расчёта рассеивания химических веществ от стационарных и передвижных источников. Данные расчеты позволяют определить не только уровни расчётных концентраций загрязняющих веществ от всех источников атмосферного загрязнения, включая отдельные хозяйствующие субъекты (или группы субъектов), но и оценить их вклад в общую концентрацию. В дальнейшем это позволяет рассчитать соответствующий вклад в показатели риска и ассоциированный вред здоровью экспонированного населения.

Расчет вкладов предприятия / группы предприятий (объектов) в концентрации загрязняющих веществ проводится по формулам 4.12–4.15:

$$\delta_{c2\ i}^{do\ k} = \frac{\tilde{C}_{c2\ i}^{do\ k}}{C_{c2\ i}^{do\ k}}; \delta_{c2\ i}^{после\ k} = \frac{\tilde{C}_{c2\ i}^{после\ k}}{C_{c2\ i}^{после\ k}}; \delta_{mr\ i}^{do\ k} = \frac{\tilde{C}_{mr\ i}^{do\ k}}{C_{mr\ i}^{do\ k}}; \delta_{mr\ i}^{после\ k} = \frac{\tilde{C}_{mr\ i}^{после\ k}}{C_{mr\ i}^{после\ k}} \quad (4.12-4.15)$$

где, $\delta_{c2\ i}^{do\ k}, \delta_{c2\ i}^{после\ k}, \delta_{mr\ i}^{do\ k}, \delta_{mr\ i}^{после\ k}$ – вклады предприятия / группы предприятий (объектов) в концентрацию (среднегодовую или максимальную разовую) i -го загрязняющего вещества в k -ой точке исследуемой территории до и после проведения воздухоохраных мероприятий, доли единицы;

$\tilde{C}_{c2\ i}^{do\ k}, \tilde{C}_{c2\ i}^{после\ k}, \tilde{C}_{mr\ i}^{do\ k}, \tilde{C}_{mr\ i}^{после\ k}$ – расчетные концентрации (среднегодовые и максимальные разовые) i -го загрязняющего вещества в k -ой точке исследуемой территории, формируемые выбросами отдельного предприятия (или группы предприятий (объектов)), до и после проведения воздухоохраных мероприятий, мг/м³;

$C_{c2\ i}^{do\ k}, C_{c2\ i}^{после\ k}, C_{mr\ i}^{do\ k}, C_{mr\ i}^{после\ k}$ – расчетные концентрации (среднегодовые и максимально-разовые) i -го загрязняющего вещества в k -ой точке исследуемой территории от всех источников до и после проведения воздухоохраных мероприятий, мг/м³.

Определение долевого участия предприятия или совокупности предприятий (объектов) по показателям коэффициентов опасности (НҚ) производится с использованием методического подхода, идентичного применяемому при вычислении их вклада в уровень концентрации загрязняющих веществ. Вклады предприятия в показатели риска (индексы опасности и показатели канцерогенного риска) в каждой расчетной точке определяются на основе концентраций, формируемых отдельным предприятием (группой предприятий (объектов)) в точке

с последующим расчетом коэффициентов опасности и индексов опасности и соотносением последних с индексами опасности, рассчитанными по концентрациям от всех источников на исследуемой территории (формулы 4.16–4.21):

$$\gamma_{acj}^{\partial o^k} = \frac{\tilde{HI}_{acj}^{\partial o^k}}{HI_{acj}^{\partial o^k}}; \gamma_{acj}^{после^k} = \frac{\tilde{HI}_{acj}^{после^k}}{HI_{acj}^{после^k}}; \gamma_{chj}^{\partial o^k} = \frac{\tilde{HI}_{chj}^{\partial o^k}}{HI_{chj}^{\partial o^k}}; \gamma_{chj}^{после^k} = \frac{\tilde{HI}_{chj}^{после^k}}{HI_{chj}^{после^k}};$$

$$\gamma_{CR}^{\partial o^k} = \frac{\sum_i \tilde{CR}_i^{\partial o^k}}{\sum_i CR_i^{\partial o^k}}; \gamma_{CR}^{после^k} = \frac{\sum_i \tilde{CR}_i^{после^k}}{\sum_i CR_i^{после^k}} \quad (4.16-4.21)$$

где $\gamma_{acj}^{\partial o^k}$, $\gamma_{acj}^{после^k}$, $\gamma_{chj}^{\partial o^k}$, $\gamma_{chj}^{после^k}$ – вклады предприятия / группы предприятий (объектов) в индексы опасности при остром / хроническом воздействии по j -ой критической системе в k -ой точке исследуемой территории до и после проведения воздухоохраных мероприятий, доли единицы;

$\gamma_{CR}^{\partial o^k}$, $\gamma_{CR}^{после^k}$ – вклады предприятия / группы предприятий (объектов) в уровни канцерогенного риска в k -ой точке исследуемой территории до и после проведения воздухоохраных мероприятий, доли единицы;

$\tilde{HI}_{acj}^{\partial o^k}$, $\tilde{HI}_{acj}^{после^k}$, $\tilde{HI}_{chj}^{\partial o^k}$, $\tilde{HI}_{chj}^{после^k}$ – индексы опасности при остром / хроническом воздействии по j -ой критической системе в k -ой точке исследуемой территории до и после проведения воздухоохраных мероприятий, обусловленные выбросами отдельного предприятия (группы предприятий (объектов));

$HI_{aci}^{\partial o^k}$, $HI_{aci}^{после^k}$, $HI_{chj}^{\partial o^k}$, $HI_{chj}^{после^k}$ – индексы опасности при остром / хроническом воздействии по j -ой критической системе в k -ой точке исследуемой территории до и после проведения воздухоохраных мероприятий, обусловленные выбросами от всех источников;

$\tilde{CR}_i^{\partial o^k}$, $\tilde{CR}_i^{после^k}$ – канцерогенный риск по j -ой критической системе в k -ой точке исследуемой территории до и после проведения воздухоохраных мероприятий, обусловленный выбросами отдельного предприятия (группы предприятий (объектов));

$CR_i^{\partial o^k}$, $CR_i^{после^k}$ – канцерогенный риск по j -ой критической системе в k -ой точке исследуемой территории до и после проведения воздухоохраных мероприятий, обусловленный выбросами от всех источников.

Учет вкладов предприятия / группы предприятий (объектов) при расчете коэффициентов эффективности осуществляется по аналогичной методологии в соответствии со следующими соотношениями (формулы 4.22-4.29):

$$\mathfrak{E}_{\Delta Cc2} = \frac{\sum_i \sum_k \frac{\delta_{c2\ i}^{\partial o^k}}{k_i} \left\langle \frac{C_{c2\ i}^{\partial o^k}}{ПДК_{c2}^i} - 1 \right\rangle - \sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \delta_{c2\ i}^{\text{после}^k} \frac{C_{c2\ i}^{\text{после}^k}}{ПДК_{c2}^i} - 1 \cdot \delta_{c2\ i}^{\partial o^k} \right\rangle}{\sum_i \sum_k \frac{\delta_{c2\ i}^{\partial o^k}}{k_i} \left\langle \frac{C_{c2\ i}^{\partial o^k}}{ПДК_{c2}^i} - 1 \right\rangle} \times 100\% \quad (4.22)$$

$$\mathfrak{E}_{\Delta Cmp} = \frac{\sum_i \sum_k \frac{\delta_{mp\ i}^{\partial o^k}}{k_i} \left\langle \frac{C_{mp\ i}^{\partial o^k}}{ПДК_{mp}^i} - 1 \right\rangle - \sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \delta_{mp\ i}^{\text{после}^k} \frac{C_{mp\ i}^{\text{после}^k}}{ПДК_{mp}^i} - 1 \cdot \delta_{mp\ i}^{\partial o^k} \right\rangle}{\sum_i \sum_k \frac{\delta_{mp\ i}^{\partial o^k}}{k_i} \left\langle \frac{C_{mp\ i}^{\partial o^k}}{ПДК_{mp}^i} - 1 \right\rangle} \times 100\% \quad (4.23)$$

$$\mathfrak{E}_{\Delta HQac} = \frac{\sum_i \sum_k \frac{\delta_{mp\ i}^{\partial o^k}}{k_i} \left\langle \frac{C_{mp\ i}^{\partial o^k}}{ARfc_i} - 1 \right\rangle - \sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \delta_{mp\ i}^{\text{после}^k} \frac{C_{mp\ i}^{\text{после}^k}}{ARfc_i} - 1 \cdot \delta_{mp\ i}^{\partial o^k} \right\rangle}{\sum_i \sum_k \frac{\delta_{mp\ i}^{\partial o^k}}{k_i} \left\langle \frac{C_{mp\ i}^{\partial o^k}}{ARfc_i} - 1 \right\rangle} \times 100\% \quad (4.24)$$

$$\mathfrak{E}_{\Delta HIac} = \frac{\sum_j \frac{1}{k_j} \sum_k \gamma_{ac\ j}^{\partial o^k} \left\langle HI_{ac\ j}^{\partial o^k} - 3 \right\rangle - \sum_j \frac{1}{k_j} \sum_k \left\langle \gamma_{ac\ j}^{\text{после}^k} HI_{ac\ j}^{\text{после}^k} - 3 \cdot \gamma_{ac\ j}^{\partial o^k} \right\rangle}{\sum_j \frac{1}{k_j} \sum_k \gamma_{ac\ j}^{\partial o^k} \left\langle HI_{ac\ j}^{\partial o^k} - 3 \right\rangle} \times 100\% \quad (4.25)$$

$$\mathfrak{E}_{\Delta HQch} = \frac{\sum_i \sum_k \frac{\delta_{c2\ i}^{\partial o^k}}{k_i} \left\langle \frac{C_{c2\ i}^{\partial o^k}}{Rfc_i} - 1 \right\rangle - \sum_i \sum_k \frac{1}{k_i} \left\langle \delta_{c2\ i}^{\text{после}^k} \frac{C_{c2\ i}^{\text{после}^k}}{Rfc_i} - 1 \cdot \delta_{c2\ i}^{\partial o^k} \right\rangle}{\sum_i \sum_k \frac{\delta_{c2\ i}^{\partial o^k}}{k_i} \left\langle \frac{C_{c2\ i}^{\partial o^k}}{Rfc_i} - 1 \right\rangle} \times 100\% \quad (4.26)$$

$$\mathfrak{E}_{\Delta HIch} = \frac{\sum_j \frac{1}{k_j} \sum_k \gamma_{ch\ j}^{\partial o^k} \left\langle HI_{ch\ j}^{\partial o^k} - 3 \right\rangle - \sum_j \frac{1}{k_j} \sum_k \left\langle \gamma_{ch\ j}^{\text{после}^k} HI_{ch\ j}^{\text{после}^k} - 3 \cdot \gamma_{ch\ j}^{\partial o^k} \right\rangle}{\sum_j \frac{1}{k_j} \sum_k \gamma_{ch\ j}^{\partial o^k} \left\langle HI_{ch\ j}^{\partial o^k} - 3 \right\rangle} \times 100\% \quad (4.27)$$

$$\mathfrak{E}_{\Delta CR_T} = \frac{\sum_k \gamma_{CR}^{\partial o^k} \left\langle \sum_i CR_i^{\partial o^k} - 10^{-4} \right\rangle - \sum_k \left\langle \gamma_{CR}^{\text{после}^k} \sum_i CR_i^{\text{после}^k} - \gamma_{CR}^{\partial o^k} \cdot 10^{-4} \right\rangle}{\sum_k \gamma_{CR}^{\partial o^k} \left\langle \sum_i CR_i^{\partial o^k} - 10^{-4} \right\rangle} \times 100\% \quad (4.28)$$

$$\mathfrak{E}_{\Delta z} = \frac{\sum_k \sum_j \sum_i \delta_{c2\ i}^{\partial o^k} Z_{kji}^{\partial o} - \sum_k \sum_j \sum_i \delta_{c2\ i}^{\text{после}^k} Z_{kji}^{\text{после}}}{\sum_k \sum_j \sum_i \delta_{c2\ i}^{\partial o^k} Z_{kji}^{\partial o}} \times 100\% \quad (4.29)$$

Итоговая оценка эффективности ($\mathfrak{E}$) внедренных воздухоохраных мероприятий рассчитывается на основании наихудшего (минимального) значения среди группы индикаторов по формуле 4.11 и в соответствии со шкалой (Таблица 4.1). Значение интегрального показателя выражается в диапазоне от 0 до 100 %, где 0 % соответствует полному отсутствию достижения поставленных целей, а 100 % – их полному выполнению.

Проведение расчетов коэффициентов эффективности комплексных планов воздухоохраных мероприятий в отношении отдельных предприятий (группы предприятий (объектов)) является исключительно важным этапом контроля хода выполнения планов по достижению стратегических целей управления качеством среды обитания, позволяющие оценивать интенсивность проводимых мер, вносить обоснованные корректировки. Следует отметить, что агрегированные оценки эффективности, полученные для исследуемой территории на основе анализа выбросов всей совокупности источников (хозяйствующие субъекты, автодороги, АИТ и др.), нивелируют вклад отдельных, зачастую градообразующих и социально значимых, предприятий. Расчет показателей эффективности в отношении отдельных хозяйствующих субъектов (или группы субъектов) направлен на повышение объективности оценок и выделение проблемных областей управления, требующих оперативного вмешательства со стороны надзорных органов и органов исполнительной власти.

4.2 Усовершенствованный алгоритм оценки степени тяжести совокупного причиненного вреда здоровью, детерминированного длительным аэрогенным воздействием химических веществ

Усовершенствованный алгоритм расчёта степени тяжести совокупного причинённого вреда здоровью позволяет детально оценить негативные эффекты, вызванные компонентами выбросов объектов теплоэнергетики. Данные о детализированной заболеваемости получены для двух временных срезов: до реализации воздухоохраных мероприятий и после их внедрения (прогнозный период) и количественно подтверждают причинно-следственную связь между выбросами и наблюдаемыми нарушениями здоровья.

Усовершенствованный алгоритм расчета степени тяжести совокупного причиненного вреда здоровью, базирующийся на положениях МУ 2.1.10.3675-20 [63], предусматривал выполнение нижеперечисленных этапов:

1. Присвоение ранга негативному ответу (нозологической группе в соответствии с МКБ-10 от C00 до R99) (l) с учетом ее тяжести, ранжированной в диапазоне значений от 0 до 1 (приложение Г);
2. Определение веса (частоты встречаемости) каждой ранжированной по степени тяжести нозологической группы в совокупном негативном ответе (P_l) по правилу Фишберна (4.30) [46]:

$$P_l = \frac{2(T-l+1)}{(T+1)T}, \quad (4.30)$$

где P_l – вес ранжированной нозологической группы в совокупном негативном ответе;

T – общее количество нозологических групп, установленных в совокупном негативном ответе, связанным с аэрогенной экспозицией веществ;

l – ранг опасности негативного ответа в виде нозологической группы по степени тяжести.

3. Распространение установленного веса каждой нозологической группы (P_l) на каждое вещество, формирующее экспозицию и связанный с ней совокупный негативный ответ (G_i).

4. Определение веса причиненного вреда по каждой нозологической группе (наблюдаемого веса) согласно правилу перехода от значений хронической средней суточной дозы вещества к весам причиненного вреда здоровью, детерминированного аэрогенной экспозицией, по формуле 4.31:

$$P_k = \sum_i G_i \cdot \mu_{ki}, k=1,2,3,4,5, \quad (4.31)$$

где P_k – вес причиненного вреда по каждой нозологической группе, выявленной в совокупном негативном ответе, связанном с совокупной аэрогенной экспозицией веществ;

G_i – вес каждого вещества, формирующего аэрогенную экспозицию и связанный с ней совокупный негативный ответ;

μ_{ki} – значение функции принадлежности хронической средней суточной дозы каждого вещества, отнесенное к соответствующему диапазону шкалы значений хронических средних суточных доз веществ, потенциально опасных по причинению вреда;

k – категория средней суточной дозы вещества по потенциальной опасности причинения вреда.

5. Расчет величины совокупного вреда (r) осуществляли на основании установленного веса (тяжести) причиненного вреда по каждой нозологической группе, выявленной в совокупном негативном ответе и связанной с совокупной аэрогенной экспозицией, по формуле 4.32:

$$r = \sum_{k=1}^5 \bar{r}_k \cdot P_k \quad (4.32)$$

где r – значение переменной, отражающей совокупный причиненный вред в виде заболевания определенной степени тяжести (нозологическая группа), детерминированного аэрогенной комбинированной экспозицией веществ;

$\bar{r}_k$ – середина каждого диапазона шкалы значений степени тяжести причиненного вреда;

P_k – вес причиненного вреда (тяжесть) по каждой нозологической группе, выявленной в совокупном негативном ответе, связанном с совокупной аэрогенной экспозицией.

6. Проведение оценки степени тяжести совокупного вреда (R) проводили на основании определения значения функции принадлежности величины причиненного вреда ($\mu_k(r)$) и присвоения ранга. Шкалы функции принадлежности величины причиненного вреда представлены диапазонами значений: $R_1 \in [0;0,25]$ – пренебрежимо малая степень тяжести совокупного причиненного вреда; $R_2 \in [0,15;0,45]$ – низкая степень; $R_3 \in [0,35;0,65]$ – средняя степень; $R_4 \in [0,55;0,85]$ – высокая степень; $R_5 \in [0,75;1]$ – очень высокая степень; ранги представлены с 1 по 5.

7. Проведение оценки вклада каждого вещества в величину совокупного причиненного вреда здоровью проводили по формуле 4.33:

$$Q_i = \frac{\overline{r_k} \cdot G_i \cdot \mu_{ki}}{\sum_i \overline{r_k} \cdot G_i \cdot \mu_{ki}} \cdot 100\% \quad (4.33)$$

где Q_i – вклад каждого вещества в величину совокупного причиненного вреда здоровью;

$\overline{r_k}$ – середина каждого диапазона шкалы значений степени тяжести совокупного причиненного вреда здоровью;

G_i – вес каждого вещества, формирующего аэрогенную экспозицию и связанный с ней совокупный негативный ответ;

μ_{ki} – значение функции принадлежности хронической средней суточной дозы каждого вещества, отнесенное к соответствующему диапазону шкалы значений среднесуточных доз веществ, потенциально опасных по причинению вреда.

8. Определение величины совокупного причиненного вреда, выраженного в виде негативного эффекта для конкретной нозологической категории (Δr_j), в популяции, подвергшейся воздействию, относительно соответствующей неэкспонированной группы осуществлялось на основании формулы 4.34:

$$\Delta r_j = r_1 - r_2, \quad (4.34)$$

где Δr_j – величина совокупного причиненного вреда здоровью экспонированных лиц относительно нарушений здоровья у неэкспонированной группы лиц за аналогичный период наблюдения (1 год);

r_1 – величина совокупного причиненного вреда здоровью лиц в зоне под экспозицией;

r_2 – величина нарушений здоровья у лиц в зоне вне экспозиции.

При Δr , принадлежащем диапазону шкалы 0–0,25, степень тяжести совокупного причиненного вреда считается пренебрежимо малой; принадлежащем диапазону 0,26–0,45 – низкой; принадлежащем диапазону 0,46–0,65 – средней; принадлежащем диапазону 0,66–0,85 – высокой; принадлежащем диапазону 0,86–1 – очень высокой.

9. Вычисление величины совокупного причиненного вреда в виде негативного эффекта по конкретному классу болезни (Δr) для экспонированной группы относительно аналогичной группы неэкспонированных лиц осуществлялось по формуле 4.35:

$$\Delta r = \sum_j \Delta r_j, \quad (4.35)$$

где Δr – величина совокупного причиненного вреда здоровью экспонированных лиц относительно нарушений здоровья у неэкспонированной группы лиц за аналогичный период наблюдения (1 год) по классу болезней;

Δr_j – величина совокупного причиненного вреда здоровью экспонированных лиц относительно нарушений здоровья у неэкспонированной группы лиц за аналогичный период наблюдения (1 год) по каждой нозологической группе, входящей в класс болезней.

10. Определение относительной частоты появления каждой нозологической группы заболеваний в общей совокупности выявленных случаев заболевания в выборке из зоны под экспозицией и вне зоны экспозиции осуществлялось по формуле 4.36:

$$W_i = \frac{K_i}{K} \text{ и } \overline{W}_i = \frac{\overline{K}_i}{\overline{K}}, \quad (4.36)$$

где W_i – относительная частота появления каждой нозологической группы заболеваний в общей совокупности выявленных случаев заболевания в выборке из зоны под экспозицией;

$\overline{W}_i$ – относительная частота появления каждой нозологической группы заболеваний в общей совокупности выявленных случаев заболевания в выборке из зоны вне экспозиции;

K_i – количество случаев заболеваний, выявленных по каждой нозологической группе болезней, в выборке из зоны под экспозицией;

K – количество случаев заболеваний, выявленных в целом по всему спектру нозологических групп болезней в выборке из зоны под экспозицией;

$\overline{K}_i$ – количество случаев заболеваний, выявленных по каждой нозологической группе болезней, в выборке из зоны вне экспозиции;

$\overline{K}$ – количество случаев заболеваний, выявленных в целом по всему спектру нозологических групп болезней в выборке из зоны вне экспозиции.

11. Определение дополнительной вероятности появления заболевания, соотнесенного с нозологической группой болезней, в зоне под экспозицией, осуществлялось по формуле 4.37:

$$W_{ad} = W_i - \overline{W}_i, \quad (4.37)$$

где W_{ad} – дополнительная вероятность появления заболевания, соотнесенного с нозологической группой болезней, в зоне под экспозицией;

W_i – относительная частота появления каждой нозологической группы заболеваний в общей совокупности выявленных случаев заболевания в выборке из зоны под экспозицией;

$\overline{W}_i$ – относительная частота появления каждой нозологической группы заболеваний в общей совокупности выявленных случаев заболевания в выборке из зоны вне экспозиции.

12. Определение величины совокупного причинённого ущерба, выраженного в форме негативного эффекта для конкретной нозологической категории (Δr_{jf}), обусловленного числом зарегистрированных случаев, производился для экспонированной выборки по сравнению с аналогичной неэкспонированной группой с использованием формулы 4.38:

$$\Delta r_{jf} = \Delta r \cdot W_{ad}, \quad (4.38)$$

где Δr_{if} – величина совокупного причиненного вреда в виде негативного эффекта по конкретной нозологической группе, связанного с количеством выявленных случаев;

Δr – величина совокупного причиненного вреда здоровью экспонированных лиц относительно нарушений здоровья у неэкспонированной группы лиц за аналогичный период наблюдения (1 год) по классу болезней;

W_{ad} – дополнительная вероятность появления заболевания, соотнесенного с нозологической группой болезней, в зоне под экспозицией.

13. Вычисление доли каждого класса заболеваний в общем спектре выявленных классов заболеваний по формуле 4.39:

$$DKlj = \frac{\Delta r}{\sum_j \Delta r} * 100\%, \quad (4.39)$$

где $DKlj$ – доля каждого класса заболеваний в общем спектре выявленных классов заболеваний;

Δr – величина совокупного причиненного вреда здоровью экспонированных лиц относительно нарушений здоровья у неэкспонированной группы лиц за аналогичный период наблюдения (1 год) по классу болезней.

Таким образом: применение усовершенствованного алгоритма расчета степени тяжести совокупного причиненного вреда здоровью, основанного на положениях МУ 2.1.10.3675-20 [63], позволяет количественно оценить вклад компонентов выбросов объектов теплоэнергетики в формирование негативных эффектов со стороны здоровья населения. Методика обеспечивает возможность сравнительного анализа двух временных срезов (до и после реализации воздухоохраных мероприятий) и служит инструментом подтверждения причинно-следственной связи между уровнем аэрогенной экспозиции и наблюдаемыми нарушениями здоровья с учетом их тяжести и частоты встречаемости.

ГЛАВА 5 ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУХООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ, РАБОТАЮЩИХ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

5.1 Гигиенический анализ Комплексных планов мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Модельным объектом проведения гигиенического анализа и оценки эффективности воздухоохраных мероприятий выступил Комплексный план мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух города Красноярска, использующий в качестве базового для расчета снижения выбросов 2017 год. Комплексный план мероприятий по сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух города Красноярска⁵ (в дальнейшем – Комплексный план) имеет целью уменьшение объёмов выбросов на 42,58 тысячи тонн, что соответствует снижению на 22,33 % к 2026 году. Реализация данного плана предусматривает финансовое обеспечение в размере 68,69 миллиарда рублей. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от объектов теплоэнергетики из общего числа выбросов планируется снизить на 20,96 тыс. тонн, что составляет от общего объема всех источников выбросов территории – 10,99 %, при этом суммарный выброс от объектов теплоэнергетики от базового уровня необходимо снизить на 38 %. В Комплексном плане запланировано начало реализации мероприятий с 1 квартала 2018 года, фактически мероприятия по снижению выбросов загрязняющих веществ от предприятий теплоэнергетики и частного сектора (п. 3 раздела 4 Комплексного плана «Объем финансового обеспечения по годам реализации, млрд рублей») начались в 2020 году.

Согласно Комплексному плану после реализации запланированных мероприятий выбросы 15 приоритетных загрязняющих веществ (азота диоксид, углерод, сера диоксид, бенз(а)пирен, взвешенные вещества, углерод оксид, хром, пыль неорганическая: 70–20 % SiO₂, до 20 % SiO₂, марганец, бензол, формальдегид, соединения никеля, дигидросульфид, меди оксид) прогнозно снизятся на 8,9 тыс. тонн (16,2 % от суммарного выброса объектов теплоэнергетики).

Комплексный план включает следующие мероприятия по снижению выбросов загрязняющих веществ от предприятий теплоэнергетики и частного сектора:

⁵ Комплексный план мероприятий по сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух города Красноярска утвержден 28 декабря 2018 года заместителем Председателя Правительства Российской Федерации (приказ № 11024п-П6)

1. Программа модернизации Акционерного общества «Красноярская ТЭЦ-1» предполагает возведение дымовой трубы, высотная отметка которой составляет не менее 270 метров, выполнение комплексной реконструкции котельного парка с оснащением электрофильтрами, выведение из эксплуатации турбоагрегатов с низким коэффициентом полезного действия, установку нового турбинного оборудования и систем охлаждения. Данный комплекс технических мероприятий направлен на сокращение общего объема выбросов загрязняющих веществ на 7 тысяч тонн;

2. Замещение 35 малоэффективных угольных котельных мощностями Красноярских ТЭЦ путем закрытия указанных котельных, расположенных на территории города Красноярска, что позволит сократить совокупный объем выбросов на 10,8 тысяч тонн;

3. Проведение мероприятий по переселению населения из аварийного жилого фонда, оборудованного печным отоплением, что в совокупности обеспечит снижение валового объема выбросов на 0,3 тысячи тонн;

4. Газификация жилых домов, частных домовладений, зданий различного назначения с использованием сжиженного газа (снижение валового выброса на 0,7 тыс. тонн);

5. Разработка и принятие нормативно-правовых актов, ограничивающих использование бурого и каменного угля без предварительной переработки и очистки на источниках выбросов в пределах города Красноярска, что позволит снизить валовые выбросы на 2,16 тысячи тонн;

В частности, в соответствии с Комплексным планом мероприятия по снижению выбросов от объектов теплоэнергетики параметризованы по следующим источникам:

1. **ООО «Сибирская генерирующая компания».** Разработка и внедрение новых генерирующих мощностей на Красноярской ТЭЦ-3, направленных, в том числе, на обеспечение баланса тепловой нагрузки в контексте замещения 35 низкоэффективных угольных котельных установок. Перечень веществ и объемы предполагаемого снижения валового выброса от реализации мероприятия по замещению 35 малоэффективных угольных котельных представлен в Таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Объемы снижения выбросов от замещения 35 котельных

Код в-ва	Наименование вещества	Снижение выбросов, т/год
1	2	3
110	диВанадий пентоксид (пыль)	0,000070
123	диЖелезо триоксид (Железа оксид) (в пересчете на железо)	0,071
143	Марганец и его соединения (в пересчете на марганца (IV))	0,0013
203	Хром (Хром шестивалентный) (в пересчете на хрома (VI) оксид)	0,0001
301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	1077,775
304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	175,121
328	Углерод (Сажа)	1053,976

Продолжение Таблицы 5.1

1	2	3
330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	1351,962
333	Дигидросульфид (Сероводород)	0,000034
337	Углерод оксид	6156,626
342	Фториды газообразные	0,00017
344	Фториды плохо растворимые	0,00072
703	Бенз(а)пирен (3,4-Бензпирен)	0,0067
2732	Керосин	0,553
2754	Углеводороды предельные C12-C19	9,823
2908	Пыль неорганическая: 70-20% SiO ₂	967,322
2909	Пыль неорганическая: до 20% SiO ₂	21,160
2930	Пыль абразивная (Корунд белый, Монокорунд)	0,005
2936	Пыль древесная	0,005
Итого:		10 814,408

В соответствии с положениями Комплексного плана, с учетом фактических параметризованных мероприятий, направленных на снижение выбросов, реализация указанных мероприятий на данных источниках обеспечивает сокращение суммарного объема выбросов загрязняющих веществ по 19 наименованиям на 10,8 тыс. тонн, что соответствует 5,66 % от суммарного валового выброса всех источников и 19,6 % от суммарного выброса только объектов теплоэнергетики.

2. В рамках мероприятий, направленных на **переселение граждан из аварийного жилого фонда** с печным отоплением, прогнозируется снижение валового объема выбросов загрязняющих веществ на 0,3 тыс. тонн. В результате реализации мероприятий предполагается снос 289 домов с печным отоплением, расположенных в г. Красноярск. Предполагаемый эффект снижения валового выброса от реализации мероприятия представлен в Таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Снижение валового выброса при сносе жилых домов

Код в-ва	Наименование вещества	Снижение выбросов (т/год)
301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	6,777
304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	1,172
330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	3,576
337	Углерод оксид	256,250
703	Бенз(а)пирен (3,4-Бензпирен)	0,000
2902	Взвешенные вещества	32,739
2908	Пыль неорганическая: 70-20% SiO ₂	10,095
Итого:		310,609

Данное мероприятие, реализуемое в соответствии с Комплексным планом и его параметризованными характеристиками, обеспечит сокращение общего объема выбросов по сравнению с уровнем 2017 года на 0,16 % от суммарного валового выброса всех источников и на 0,56 % от суммарного выброса только объектов теплоэнергетики.

3. В рамках деятельности ООО «Сибирская генерирующая компания» предусмотрена модернизация АО «Красноярская ТЭЦ-1», включающая возведение дымовой трубы высотой не менее 270 метров, проведение реконструкции котлоагрегатов с оснащением их электрофильтрами, прекращение эксплуатации турбоагрегатов с низкой эффективностью, внедрение нового турбинного оборудования и систем охлаждения, наряду с реализацией прочих технических мероприятий.

В настоящее время Красноярская ТЭЦ-1 осуществляет выброс в атмосферу 36 видов загрязняющих веществ общей массой свыше 16 тыс. тонн. В соответствии с Комплексным планом на данном объекте предполагается снижение валового объема выбросов на 7,0 тыс. тонн, что составляет 3,67 % от суммарного валового выброса всех источников и 12,7 % от суммарного выброса только объектов теплоэнергетики.

Параметризованные данные по мероприятиям: принятие нормативных правовых актов об ограничении использования бурого и каменного угля без систем переработки и очистки на источнике и газификация жилых домов, частных домовладений, зданий различного назначения с использованием сжиженного газа, предусматривавшие снижение валового выброса загрязняющих веществ на 2,16 тыс. и 0,7 тыс. тонн, отсутствовали.

Таким образом, Комплексный план мероприятий по сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух г. Красноярска предусматривает снижение общего объёма выбросов к 2026 году на 42,58 тысячи тонн (22,33 %), включая сокращение выбросов от теплоэнергетических объектов на 20,96 тысячи тонн (10,99 %), посредством модернизации ТЭЦ, замещения малоэффективных угольных котельных, газификации, переселения из аварийного жилья, внедрения нормативных ограничений и систем мониторинга, строительства нового энергоблока, при финансовом обеспечении в размере 68,69 млрд рублей.

Реализация воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики обеспечит снижение валового объема выбросов более чем 20 загрязняющих веществ (в том числе взвешенные вещества, диоксид азота, оксид азота (II), сажа (углерод), диоксид серы, хром, неорганическую пыль с содержанием SiO_2 в диапазоне от 20 до 70 % и менее 20 % и др. вещества) совокупно на 20,96 тысячи тонн (10,99 %), что соответствует целевому показателю с учетом долевого вклада объектов теплоэнергетики в суммарное загрязнение атмосферного воздуха. При этом суммарный выброс от объектов теплоэнергетики относительно базового уровня (2017 г.) сокращается на 38 %; снижение выбросов приоритетных загрязняющих веществ составит 8,9 тыс. тонн (16,2 % от совокупного выброса объектов теплоэнергетики).

5.2 Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха на репрезентативной территории от всех источников, в том числе от объектов теплоэнергетики до и после реализации воздухоохраных мероприятий

Согласно сводной базе данных по источникам загрязнения атмосферного воздуха на базовый для расчета снижения выбросов 2017 год, из 807 промышленных предприятий территории исследования 302 предприятия относятся к энергетическому сектору, либо эксплуатируют собственные источники теплоснабжения. В пределах городской зоны насчитывается более 1,2 тыс. единиц источников выбросов, относящихся к объектам теплоэнергетики. Дополнительно к указанному числу зарегистрирован 171 автономный источник теплоты (АИТ), функционирующий в жилых массивах индивидуальной застройки (Рисунок 5.1).

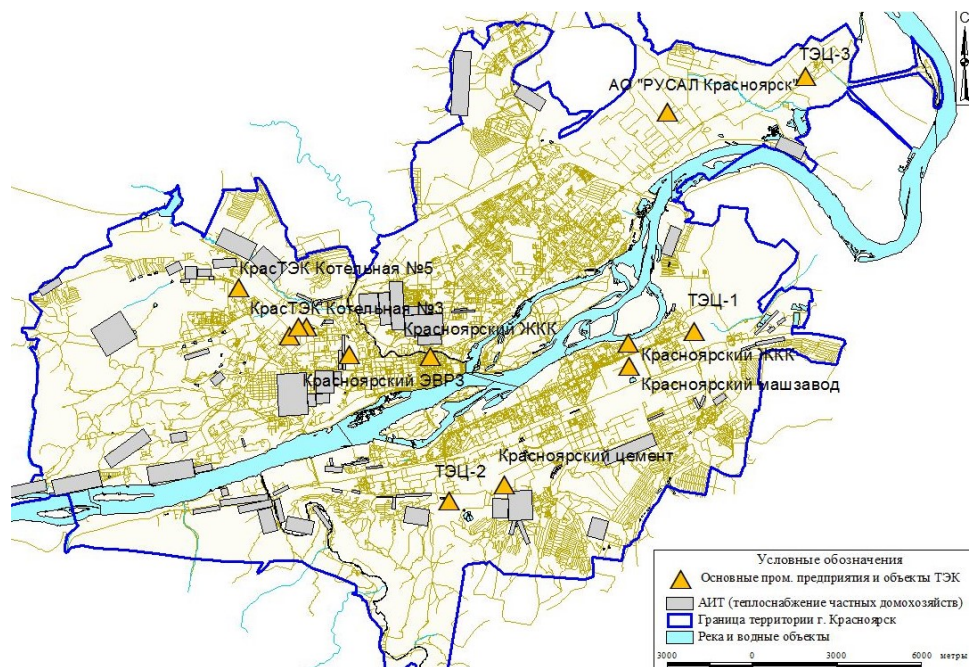


Рисунок 5.1 – Пространственное расположение основных объектов теплоэнергетики и промышленных предприятий с объектами теплоснабжения на репрезентативной территории

Градостроительная организация города характеризуется равномерным и диффузным размещением объектов теплоэнергетики, включающих теплоэлектроцентрали, районные котельные и АИТ, непосредственно прилегающих к жилым зонам. Особое значение имеют низкие источники выбросов с высотой менее 50 метров, к которым относятся преимущественно АИТ. Эти объекты способны формировать локальные превышения концентраций загрязняющих веществ на уровне отдельных кварталов или микрорайонов, существенно влияя на общий уровень загрязнения атмосферного воздуха в пределах городской территории.

На репрезентативной территории, согласно данным Реестра хозяйствующих субъектов, подлежащих санитарно-эпидемиологическому надзору (по состоянию на 1 января 2022 года), доля предприятий, отнесенных к категориям чрезвычайно высокого и высокого потенциального риска причинения вреда здоровью населения, в сферах обеспечения и распределения электроэнергии, газа, пара и кондиционирования воздуха составила 70 % (17 организаций). Масштаб воздействия данных субъектов оценивается в пределах от 0,226 до 0,518 млн человек для категории чрезвычайно высокого риска, и от 0,00108 до 0,0065 млн человек для категории высокого риска. Величина потенциального риска причинения вреда здоровью (R^l) для объектов чрезвычайно высокой категории превышает $1,98 \cdot 10^{-3}$ и варьируется для предприятий высокой категории риска от $7,1 \cdot 10^{-4}$ до $1,2 \cdot 10^{-4}$. Наивысшие значения потенциального риска причинения вреда здоровью населения ассоциируются с крупными объектами теплоэнергетического комплекса, такими как АО «Красноярская ТЭЦ-1», филиалы АО «Енисейская ТГК (ТГК-13)» – «Красноярская ТЭЦ-2» и «Красноярская ТЭЦ-3».

Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха репрезентативной территории по данным результатов расчетов рассеивания загрязняющих веществ от всех источников, в том числе от объектов теплоэнергетики

Гигиеническая оценка состояния атмосферного воздуха на репрезентативной территории, выполненная на основании результатов моделирования расчетов рассеивания, осуществлялась в отношении 55 веществ, выбросы которых обусловлены деятельностью объектов теплоэнергетики [143].

По данным сводной базы источников загрязнения атмосферного воздуха репрезентативной территории показал, что в результате деятельности объектов теплоэнергетики ежегодно выбрасывается более 55 тыс. тонн загрязняющих веществ (Таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Перечень веществ, выбрасываемых в атмосферу репрезентативной территории от объектов теплоэнергетики, работающих на твёрдом топливе

№	Загрязняющее вещество		Валовый выброс, т/г	ПДКм.р. (ОБУВ*), мг/м ³	ПДКс.с., мг/м ³	ПДКс.г., мг/м ³	Класс опасности
	Код	Наименование					
1	2	3	4	5	6	7	8
1	101	диАлюминий триоксид	32,07989	—	0,01	0,005	2
2	110	диВанадий пентоксид (пыль)	0,038901	—	0,002	0,00007	1
3	113	Вольфрам триоксид	1,52E-05	—	0,15	—	3
4	123	Железа оксид	32,54555	—	0,04	—	3
5	143	Марганец и его соединения	0,703937	0,01	0,001	0,00005	2

Продолжение Таблицы 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8
6	146	Медь оксид (в пересчете на медь)	0,045788	—	0,002	0,00002	2
7	164	Никель оксид	0,385198	—	0,001	—	2
8	168	Олово (II) оксид	0,000633	—	0,02	—	3
9	184	Свинец и его соединения	0,002141	0,001	0,0003	0,00015	1
10	203	Хром (в пересчете на хрома (VI) оксид)	0,026287	—	0,0015	0,000008	1
11	301	Азота диоксид	6698,255	0,2	0,1	0,04	3
12	303	Аммиак	17,96797	0,2	0,1	0,04	4
13	304	Азот (II) оксид	1388,742	0,4	—	0,06	3
14	322	Серная кислота	0,16734	0,3	0,1	0,001	2
15	328	Углерод	811,1581	0,15	0,05	0,025	3
16	330	Сера диоксид	10842	0,5	0,05	—	3
17	333	Дигидросульфид	0,765445	0,008	—	0,002	2
18	337	Углерода оксид	27185,96	5	3	3	4
19	342	Фториды газообразные	198,6248	0,02	0,014	0,005	2
20	343	Фториды хорошо растворимые	0,002268	0,03	0,01	—	2
21	344	Фториды плохо растворимые	164,7334	0,2	0,03	—	2
22	402	Бутан	2,335681	200	—	—	4
23	410	Метан	138,0258	50*	—	—	
24	415	Смесь предельных углеводородов $C_1H_4-C_5H_{12}$	61,62801	200	50	—	4
25	416	Смесь предельных углеводородов $C_6H_{14}-C_{10}H_{22}$	22,37282	50	5	—	3
26	418	Пропан	12,3154	50*	—	—	
27	501	Амилены	3,41815	1,5	—	—	4
28	602	Бензол	2,180704	0,3	0,06	0,005	2
29	616	Диметилбензол (смесь о-, м-, п- изомеров)	28,90215	0,2	—	0,1	3
30	621	Метилбензол	14,33791	0,6	—	0,4	3
31	627	Этилбензол	0,495284	0,02	—	0,04	3
32	703	Бенз(а)пирен	0,457618	—	0,000001	0,000001	1
33	1042	Бутан-1-ол	2,783151	0,1	—	—	3
34	1061	Этанол	12,70239	5	—	—	4
35	1071	Гидроксibenзол	0,816143	0,01	0,006	0,003	2
36	1119	Этиловый эфир этиленгликоля	2,563517	0,7*	—	—	
37	1210	Бутилацетат	5,921515	0,1	—	—	4
38	1240	Этилацетат	1,70621	0,1	—	—	4
39	1325	Формальдегид	1,797626	0,05	0,01	0,003	2

Продолжение Таблицы 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8
40	1401	Пропан-2-он	7,591749	0,35	–	–	4
41	1728	Этилмеркаптан	1,52E-05	0,00005	–	–	3
42	2704	Бензин (нефтяной, малосернистый)	98,01875	5	1,5	–	4
43	2732	Керосин	120,5296	1,2*	–	–	
44	2735	Масло минеральное нефтяное	5,551578	0,05*	–	–	
45	2750	Сольвент нафта	5,695773	0,2*	–	–	
46	2752	Уайт-спирит	25,38659	1*	–	–	
47	2754	Алканы C ₁₂ -C ₁₉ (в пересчете на C)	19,31322	1	–	–	4
48	2868	Эмульсол	0,878938	0,05*	–	–	
49	2902	Взвешенные вещества	240,8191	0,5	0,15	0,075	3
50	2904	Мазутная зола теплоэлектростанций	0,973244	–	0,002	–	2
51	2908	Пыль неорганическая: 70-20% SiO ₂	6696,603	0,3	0,1	–	3
52	2909	Пыль неорганическая: до 20% SiO ₂	1070,181	0,5	0,15	–	3
53	2930	Пыль абразивная	2,567707	0,04*	–	–	
54	2936	Пыль древесная	16,70708	0,5*	–	–	
55	2978	Пыль резинового вулканизата	0,21731	0,1*	–	–	

Анализ данных, приведенных в таблице 5.3, свидетельствует о том, что предприятия теплоэнергетического комплекса выбрасывают четыре вещества, относящиеся к первому классу опасности (в частности, пентоксид диВанадия, свинец, хром и бенз(а)пирен), 13 веществ второго класса, 16 – третьего и 11 – четвертого классов опасности. Для 24 из данных веществ установлены ПДКм.р., для 27 – среднесуточные ПДКс.с., для 21 – среднегодовые ПДКс.г., и для 11 веществ определены ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ).

По результатам расчетов рассеивания приземных концентраций загрязняющих веществ от всех стационарных и передвижных источников выбросов репрезентативной территории, в зонах проживания населения выявлены превышения максимальных разовых допустимых концентраций атмосферных загрязнителей по 12 компонентам, включая марганец, азота диоксид, углерод, серы диоксид, углерода оксид, газообразные фториды, бензол, гидроксibenзол, взвешенные вещества, абразивную, неорганическую пыль с содержанием диоксида кремния (SiO₂) в диапазоне от 20 % до 70 % и менее 20 %. Значения превышений варьировались в пределах до 6,3-кратного превышения нормативных максимальных разовых концентраций (Таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Диапазоны максимальных разовых расчетных концентраций загрязняющих веществ, превышающих ПДКм.р. в точках жилой застройки репрезентативной территории (вклад всех источников)

Код в-ва	Название вещества	Доли ПДКм.р.		
		Минимум	Среднее	Максимум
143	Марганец и его соединения	менее 0,01	0,03	1,03
301	Азота диоксид	0,47	1,65	6,25
328	Углерод	0,11	0,31	1,55
330	Сера диоксид	0,17	0,32	1,06
337	Углерод оксид	0,11	0,54	3,86
342	Фториды газообразные	0,07	0,29	1,37
602	Бензол	0,01	0,04	2,09
1071	Гидроксibenзол	0,01	0,08	2,08
2902	Взвешенные вещества	0,02	0,21	3,21
2908	Пыль неорганическая: 70-20% SiO ₂	0,20	0,87	5,07
2909	Пыль неорганическая: до 20% SiO ₂	0,02	0,11	1,59
2930	Пыль абразивная	менее 0,01	0,05	2,01

Превышение максимальных разовых предельно допустимых концентраций (ПДКм.р.) более чем в 5 раз зарегистрировано для диоксида азота и неорганической пыли, содержащей от 20 % до 70 % диоксида кремния (SiO₂) (Таблица 5.4).

Выполненное расчетное моделирование рассеивания загрязняющих веществ от всех источников выявило превышение среднегодовых концентраций по трем показателям – марганцу, диоксиду азота и бенз(а)пирену. Уровни превышения варьировались в диапазоне до 11,07-кратных значений установленных предельно допустимых среднегодовых концентраций (ПДКс.г.). Как видно из представленных данных, приземные концентрации соединений марганца составляют выше 10 ПДКс.г., что потенциально может формировать угрозу для здоровья населения репрезентативной территории (Таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Диапазоны среднегодовых расчетных концентраций веществ, превышающих ПДКс.г. в точках жилой застройки репрезентативной территории (вклад всех источников)

Код в-ва	Название вещества	Доли ПДКс.г.		
		Минимум	Среднее	Максимум
143	Марганец и его соединения	0,02	0,16	11,07
301	Азота диоксид	0,05	0,54	1,98
703	Бенз(а)пирен	0,31	0,86	4,47

Гигиеническая оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха на репрезентативной территории, формируемого исключительно деятельностью объектов теплоэнергетики, выполненная на основе результатов расчетного моделирования рассеивания загрязняющих веществ в селитебных зонах, выявила превышения гигиенических нормативов по максимально-разовым концентрациям по 8 веществам: серы диоксиду (до 1,02 ПДКм.р.), азота диоксиду (до 3,04 ПДКм.р.), углероду (до 1,52 ПДКм.р.), углерода оксиду (до 3,84 ПДКм.р.), взвешенным

веществам (до 3,19 ПДКм.р.), неорганической пыли с содержанием SiO_2 70–20 % (до 5,08 ПДКм.р.), неорганической пыли с содержанием SiO_2 менее 20 % (до 1,09 ПДКм.р.) и пыли абразивной (до 2,01 ПДКм.р.) (Таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Диапазоны максимальных разовых расчетных концентраций загрязняющих веществ, превышающих ПДКм.р. в точках проживания населения репрезентативной территории от объектов теплоэнергетики

Код в-ва	Название вещества	Доли ПДКм.р.		
		Минимум	Среднее	Максимум
301	Азота диоксид	0,17	0,49	3,04
328	Углерод	0,10	0,29	1,52
330	Сера диоксид	0,10	0,26	1,02
337	Углерода оксид	0,06	0,50	3,84
2902	Взвешенные вещества	0,01	0,20	3,19
2908	Пыль неорганическая: 70-20% SiO_2	0,19	0,85	5,08
2909	Пыль неорганическая: до 20% SiO_2	0,01	0,07	1,09
2930	Пыль абразивная	менее 0,01	0,01	2,01

Сводные расчеты рассеивания загрязняющих веществ, выбрасываемых теплоэнергетическими предприятиями в жилых районах репрезентативной территории, свидетельствуют об отсутствии превышений предельно допустимых концентраций по среднегодовым значениям гигиенических нормативов.

Результаты оценки вклада теплоэнергетических объектов в формирование приземных концентраций загрязняющих веществ как в максимальном разовом, так и в среднегодовом аспектах, проведенной с использованием методов расчетного моделирования в пределах городской территории, показали, что доля вклада наблюдаемых 55 веществ в концентрации варьируется в интервале от 1 % до 100 % в различных зонах города. При этом значительная доля, превышающая 50 %, характерна для большинства веществ, по которым моделирование выявило превышение установленных гигиенических нормативов (таблицы 5.7 и 5.8).

Таблица 5.7 – Диапазоны вклада теплоэнергетических предприятий в максимальные разовые приземные концентрации загрязняющих веществ в жилых районах города, характеризующиеся превышением гигиенических нормативов согласно результатам расчетного моделирования

Код в-ва	Наименование примеси	Вклад объектов ТЭ в максимальную разовую концентрацию, %		
		Минимум	Среднее	Максимум
1	2	3	4	5
143	Марганец и его соединения	0,14	6,15	100,00
301	Азота диоксид	3,77	32,64	82,73
328	Углерод	21,53	93,12	100,00
330	Сера диоксид	19,38	78,87	100,00

Продолжение Таблицы 5.7

1	2	3	4	5
337	Углерод оксид	13,18	85,63	100,00
342	Фториды газообразные	0,01	0,11	5,34
602	Бензол	0,09	15,40	100,00
1071	Гидроксibenзол	менее 0,01	0,01	0,10
2902	Взвешенные вещества	1,41	93,74	100,00
2908	Пыль неорганическая: 70-20% SiO ₂	19,29	96,83	100,00
2909	Пыль неорганическая: до 20% SiO ₂	3,10	55,34	100,00
2930	Пыль абразивная	0,26	16,49	100,00

Таблица 5.8 – Диапазоны вклада теплоэнергетических объектов в формирование среднегодовых приземных концентраций загрязняющих веществ с превышением гигиенических нормативов от всех источников выбросов в жилых зонах города по расчетным данным

Код в-ва	Наименование примеси	Доля вклада объектов ТЭ в суммарный валовый выброс, %*	Вклад объектов ТЭ в среднегодовую концентрацию, %		
			Минимум	Среднее	Максимум
143	Марганец и его соединения	0,8	0,01	0,82	9,45
301	Азота диоксид	69,3	4,17	22,77	66,41
703	Бенз(а)пирен	1,3	0,20	1,81	6,33

Примечание: *приведены суммарные показатели вклада исключительно от ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, 35 котельных и АИТ.

Суммарный вклад объектов теплоэнергетики в среднегодовое загрязнение атмосферного воздуха достигал 37 % (Рисунок 5.2).

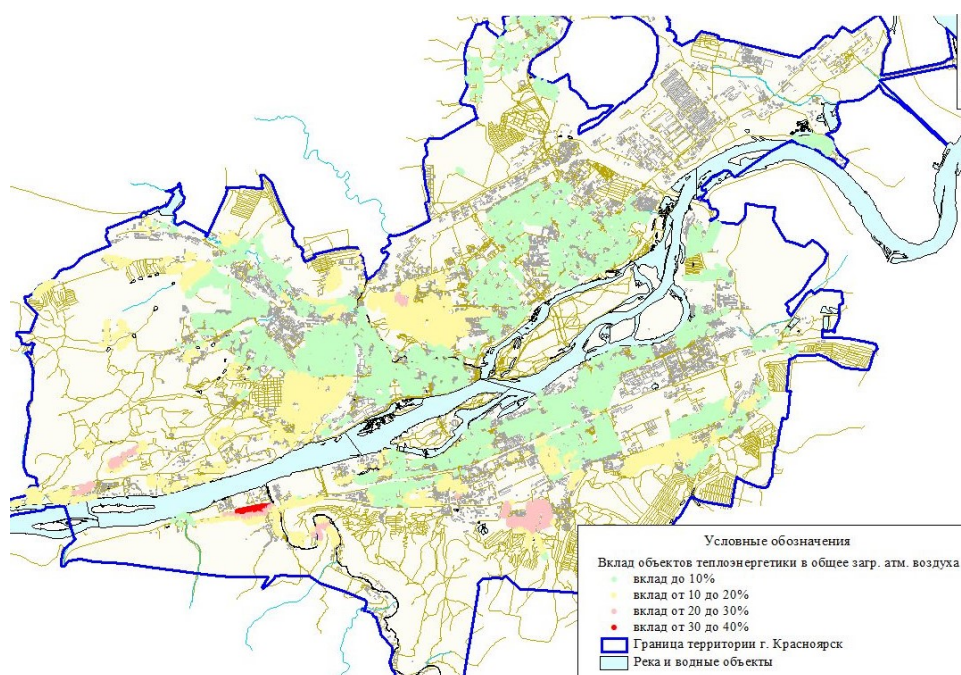


Рисунок 5.2 – Вклад объектов теплоэнергетики в среднегодовое загрязнение атмосферного воздуха на репрезентативной территории

В зонах влияния объектов теплоэнергетики, где вклад в суммарное загрязнение атмосферного воздуха составляет до 10 %, проживает порядка 715,2 тыс. человек. В зоне воздействия, где вклад объектов теплоэнергетики составляет 10–20 %, проживает 207,8 тыс. человек, 20–30 % – 10,3 тыс. человек, при вкладе более 30 % в суммарное загрязнение атмосферного воздуха – порядка 0,5 тыс. человек. При этом зона влияния с разным уровнем вклада объектов теплоэнергетики в суммарное загрязнение атмосферного воздуха распространяется на всю территорию жилой застройки города площадью более 340 кв. км.

Таким образом, в атмосферу репрезентативной территории выбрасывается 252 загрязняющих вещества, суммарный объём которых превышает 140 тыс. тонн. Согласно данным расчетов рассеивания загрязняющих веществ на репрезентативной территории, проведенных для всех источников выбросов, превышения максимальных разовых концентраций выявлены для 12 веществ (марганец и его соединения, диоксид азота, углерод, диоксид серы, оксид углерода, фториды газообразные, бензол, фенол, взвешенные вещества, пыль абразивная, пыль неорганическая с содержанием SiO_2 от 20 % до 70 %, пыль неорганическая с содержанием SiO_2 менее 20 %) с максимальным уровнем до 6,3 ПДКм.р.; превышения среднегодовых концентраций (по 3 веществам) – марганца, диоксида азота и бенз(а)пирена – зафиксированы до 11,07 ПДКс.г.

Для объектов теплоэнергетики превышения максимальных разовых концентраций установлены в отношении восьми веществ: диоксида серы, диоксида азота, углерода (сажи), оксида углерода, взвешенных веществ, неорганической пыли с содержанием SiO_2 70–20 %, неорганической пыли с содержанием SiO_2 до 20 % и абразивной пыли, при этом их величина не превышала 5,08 ПДКм.р.; превышений среднегодовых гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха установлено не было.

Вклад теплоэнергетических объектов в приземные концентрации загрязнителей в г. Красноярске варьируется от 1 % до 100 % в разных районах, при этом значительная доля, превышающая 50 %, характерна для большинства веществ, по которым моделирование выявило превышение установленных гигиенических нормативов. В зонах с вкладом до 10 % проживает порядка 715 тыс. человек, при вкладе 10–20 % – 207 тыс., 20–30 % – 10 тыс., а при > 30 % – порядка 500 человек, охватывая всю жилую площадь > 340 км².

Гигиенический анализ состояния атмосферного воздуха репрезентативной территории, по данным инструментальных измерений до реализации воздухоохраных мероприятий

По данным сводной базы параметризованных стационарных и передвижных источников (промышленные объекты, автотранспортные средства, АИТ и иные объекты) на репрезентативной территории в атмосферный воздух выбрасывается 252 загрязняющих вещества с общим объемом выбросов более 140,8 тыс. тонн (Приложение Б). Гигиеническая оценка

качества атмосферного воздуха репрезентативной территории по результатам инструментальных измерений проводилась в отношении веществ, выбрасываемых объектами теплоэнергетики.

Гигиеническая оценка результатов инструментальных измерений разовых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на репрезентативной территории за период 2018–2020 гг. выявила превышения ПДКм.р. по 17 химическим веществам. В рассматриваемом периоде приоритетными факторами, обуславливающими высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха, являлись азота (II) оксид, азота диоксид, аммиак, бензол, взвешенные вещества, гидрохлорид, ксилол, свинец и его неорганические соединения, сера диоксид, сероводород, толуол, углерода оксид, фенол, формальдегид, фториды неорганические плохо растворимые, фтористые газообразные соединения, этилбензол. Значения превышений достигали до 60,0 ПДКм.р. (Таблица 5.9).

В динамике за последние 3 года увеличился уровень максимальных разовых концентраций практически всех веществ (темп прироста 59,4–5837,5 %). Тенденция к снижению уровня загрязнения атмосферы репрезентативной территории за исследуемый период зарегистрирована в отношении взвешенных веществ (на 23,7 %) и углерода оксида (на 0,56 %) (Таблица 5.9).

Таблица 5.9 – Максимальные разовые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе репрезентативной территории в целом по городу за 2018–2020 гг., доли ПДКм.р.

Наименование примеси	2018	2019	2020	Максимум за 2018-2020 гг.	Темп прироста 2020 к 2018 гг., %
Азот (II) оксид	1,19	0,65	3,39	3,39	+184,87
Азота диоксид	1,50	2,53	2,93	2,93	+95,33
Аммиак	0,90	0,89	9,69	9,69	+976,67
Бензол	0,32	0,10	19,00	19,0	+5837,50
Взвешенные вещества	7,60	0,38	5,80	7,60	–23,68
Гидрохлорид	4,05	–	10,00	10,0	+146,91
Ксилол (смесь о-, м-, п- изомеров)	3,20	0,16	36,50	36,5	+1040,63
Свинец и его неорганические соединения	–	1,90	–	1,90	–
Сера диоксид	0,40	0,30	1,91	1,91	+377,50
Сероводород	0,19	0,18	2,79	2,79	+1368,42
Толуол	0,96	0,11	14,83	14,83	+1444,79
Углерод (Сажа)	–	–	0,31	0,31	–
Углерода оксид	3,60	1,13	3,58	3,6	–0,56
Фенол	1,80	0,46	24,29	24,29	+1249,44
Формальдегид	4,96	1,22	39,00	39,0	+686,29
Фториды неорганические плохо растворимые	0,55	0,13	2,05	2,05	+272,73
Фтористые газообразные соединения	2,55	0,63	10,96	10,9	+329,80
Этилбензол	4,55	0,00	60,00	60,0	+1218,68

По данным натурных замеров содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе репрезентативной территории от всех источников в среднем за 2018–2020 гг. средние концентрации бенз(а)пирена превысили ПДКс.с. в 1,85 раза (темп прироста составил 197,03 %), по формальдегиду превышения наблюдались в 2019 году на уровне 1,46 ПДКм.р. Для репрезентативной территории характерна тенденция к росту уровня загрязнения атмосферного

воздуха по четырем веществам, в отношении которых в течение рассматриваемого периода превышения нормативов не отмечались, – бензолу, гидрохлориду, диоксиду серы и формальдегиду. Темпы прироста их концентраций составляют от 54,17 % до 1200 %. Одновременно зафиксирована устойчивая тенденция к снижению загрязненности атмосферного воздуха по среднесуточным концентрациям диоксида азота, аммиака, взвешенных веществ, оксида углерода, фенола и газообразных фторсодержащих соединений, при этом темпы у варьируются от 16,7 % до 66,7 %. Следует отметить, что превышения предельно допустимых среднесуточных концентраций для указанных химических веществ не зафиксированы (таблицу 5.10).

Таблица 5.10 – Среднесуточные уровни концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе репрезентативной территории за период 2018–2020 годов, доли ПДКс.с.

Наименование примеси	2018	2019	2020	Среднее за 2018-2020 гг.	Темп прироста 2020 к 2018 гг., %
Азота диоксид	0,44	0,43	0,25	0,37	–43,18
Аммиак	0,06	0,08	0,05	0,06	–16,67
Бенз(а)пирен	1,01	1,54	3,00	1,85	+197,03
Бензол	0,01	0,01	0,13	0,05	+1200,0
Взвешенные вещества	0,77	0,59	0,57	0,64	–25,97
Гидрохлорид	0,01	0,16	0,02	0,06	+100,0
диАлюминий триоксид	–	–	0,04	0,04	–
Марганец и его соединения	–	–	0,07	0,07	–
Медь оксид	–	–	0,05	0,05	–
Никель	–	–	0,08	0,08	–
Свинец и его неорганические соединения	–	0,02	0,04	0,03	–
Сера диоксид	0,24	0,25	0,37	0,29	+54,17
Углерода оксид	0,18	0,15	0,14	0,16	–22,22
Фенол	0,03	0,03	0,01	0,02	–66,67
Формальдегид	0,22	1,46	0,40	0,69	+81,82
Фтористые газообразные соединения	0,06	0,09	0,04	0,06	–33,33
Хром (хром шестивалентный)	–	–	0,01	0,01	–

Согласно данным многолетних инструментальных измерений за 2018–2020 гг. содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе средние концентрации бенз(а)пирена превышали предельно допустимую среднегодовую концентрацию в 1,85 раза, взвешенных веществ – в 1,29 раза, формальдегида – в 2,31 раза, этилбензола – в 8,13 раза. По 8-ми веществам (азота диоксид, бензол, марганец, медь оксид, никель, сероводород, формальдегид, этилбензол) в течении трех лет регистрировались превышения до 24,3 ПДКс.г. (Таблица 5.11).

Таблица 5.11 – Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе репрезентативной территории в целом по городу за 2018–2020 гг., доли ПДКс.г.

Наименование примеси	2018	2019	2020	Среднее за 2018-2020 гг.	Темп прироста 2020 к 2018 гг., %
Азот (II) оксид	0,51	0,27	0,16	0,31	–68,63
Азота диоксид	1,09	1,08	0,63	0,93	–42,20
Аммиак	0,15	0,20	0,12	0,16	–20,0
Бенз(а)пирен	1,01	1,54	3,00	1,85	+197,03
Бензол	0,10	0,16	1,59	0,62	+1490,0
Взвешенные вещества	1,55	1,18	1,13	1,29	–27,10
Гидрохлорид	0,04	0,81	0,11	0,32	+175,0
диАлюминий триоксид	–	–	0,08	0,08	–
Ксилол	0,06	0,18	0,22	0,15	+266,7
Марганец и его соединения	–	–	1,37	1,37	–
Медь оксид	–	–	5,28	5,28	–
Никель	–	–	1,63	1,63	–
Свинец и его неорганические соединения	–	0,05	0,08	0,07	–
Сероводород	1,04	0,00	0,00	0,35	–100,0
Толуол	0,00	0,05	0,06	0,04	–
Углерода оксид	0,18	0,15	0,14	0,16	–22,2
Фенол	0,05	0,07	0,01	0,04	–80,0
Формальдегид	0,73	4,87	1,32	2,31	+80,82
Фториды неорганические плохо растворимые	0,15	–	0,01	0,08	–93,3
Фтористые газообразные соединения	0,16	0,24	0,11	0,17	–31,25
Хром (Хром шестивалентный)	–	–	0,95	0,95	–
Этилбензол	24,3	0,04	0,06	8,13	–99,75

За последние три года на репрезентативной территории сформировалась устойчивая негативная тенденция повышения уровней содержания бенз(а)пирена, бензола, гидрохлорида, ксилола и формальдегида, темпы прироста которых составляют от 80,82 % до 1490 %. Параллельно регистрируется положительная динамика снижения среднегодовых концентраций оксида азота, азота диоксида, аммиака, взвешенных веществ, сероводорода, углерода оксида, гидроксибензола, плохо растворимых неорганических фторидов, газообразных фтористых соединений и этилбензола, выражающаяся в уменьшении показателей загрязнения на 20,0–100,0 % (Таблица 5.11).

Таким образом, данные на постах наблюдения за качеством атмосферного воздуха на репрезентативной территории в 2018–2020 гг. показали превышения максимальных разовых концентраций по веществам: гидрохлорид, бензол, диметилбензол, метилбензол, гидроксибензол, формальдегид, фтористые газообразные соединения, этилбензол – в диапазоне до 60,0 ПДКм.р.; оксид азота, диоксид азота, аммиак, взвешенные вещества, свинец, диоксид серы, сероводород, оксид углерода, неорганические плохо растворимые фториды – до 9,69 ПДКм.р.; превышения среднесуточных концентраций за 2018–2020 гг. – по бенз(а)пирену и формальдегиду (до 3,0 ПДКс.с.). Превышения среднегодовых концентраций зафиксированы по диоксиду азота,

бенз(а)пирену, бензолу, взвешенным веществам, марганцу, оксиду меди, никелю, сероводороду, формальдегиду и этилбензолу с максимальной величиной до 24,3 ПДКс.г.

Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха репрезентативной территории по верифицированным данным от всех источников, в том числе от объектов теплоэнергетики до реализации воздухоохраных мероприятий

Учитывая различие натуральных и расчетных данных по ряду химических веществ в точках расположения постов мониторинга репрезентативной территории, выполнена верификация расчетных уровней данными натуральных исследований на существующее положение. На последующем этапе выполнена гигиеническая оценка степени загрязнения атмосферного воздуха репрезентативной территории, обусловленного деятельностью всех источников выбросов, включая объекты теплоэнергетики, по верифицированным данным в точках проживания населения с применением алгоритма, изложенного в МР 2.1.6.0157-19 [88] (Таблица 5.12).

Таблица 5.12 – Значения коэффициентов соответствия между натурными и расчетными концентрациями загрязняющих веществ в атмосферном воздухе репрезентативной территории в точках жилой застройки

Код в-ва	Наименование примеси	Вид концентрации	Значение коэффициента соответствия*	
			Минимум	Максимум
1	2	3	4	5
101	диАлюминий триоксид	Среднегодовая	5,81	17,71
143	Марганец и его соединения	Среднегодовая	7,55	17,04
146	Медь оксид	Среднегодовая	148,79	180,17
164	Никель оксид	Среднегодовая	49,48	100,11
184	Свинец и его неорганические соединения	Максимальная разовая	1,00	1,00
		Среднегодовая	26,75	4499,02
203	Хром	Среднегодовая	55,12	55,12
301	Азота диоксид	Максимальная разовая	0,09	1,81
		Среднегодовая	0,59	16,27
303	Аммиак	Максимальная разовая	0,27	90,16
		Среднегодовая	23,13	1592,28
304	Азот (II) оксид	Максимальная разовая	0,24	9,75
		Среднегодовая	1,04	18,52
328	Углерод	Максимальная разовая	1,00	1,00
		Среднегодовая	1,00	1,00
330	Сера диоксид	Максимальная разовая	0,03	4,05
		Среднегодовая	0,36	3,77
333	Дигидросульфид	Максимальная разовая	0,52	112,46
		Среднегодовая	8,96	1189,07
337	Углерода оксид	Максимальная разовая	0,28	11,44
		Среднегодовая	2,13	37,15
342	Фтористые газообразные соединения	Максимальная разовая	0,16	23,30
		Среднегодовая	0,85	52,29
344	Фториды неорганические плохо растворимые	Максимальная разовая	0,45	18,44
		Среднегодовая	0,75	66,89
602	Бензол	Максимальная разовая	0,04	49,11
		Среднегодовая	3,49	2799,90

Продолжение Таблицы 5.12

1	2	3	4	5
616	Диметилбензол (смесь о-, м-, п-изомеров)	Максимальная разовая	1,28	166,73
		Среднегодовая	0,50	58,69
621	Метилбензол	Максимальная разовая	0,22	22,04
		Среднегодовая	4,87	125,89
627	Этилбензол	Максимальная разовая	3,70	204,26
		Среднегодовая	4,07	232904,00
703	Бенз(а)пирен	Максимальная разовая	687,39	5878,94
		Среднегодовая	0,06	18,88
1071	Гидроксibenзол	Максимальная разовая	1,57	213,32
		Среднегодовая	0,88	218,53
1325	Формальдегид	Максимальная разовая	6,75	2272,38
		Среднегодовая	15,78	1536,52
2902	Взвешенные вещества	Максимальная разовая	0,46	106,68
		Среднегодовая	17,64	390,61

По результатам гигиенической оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха от всех источников репрезентативной территории, выполненной на основе верифицированных данных, полученных в жилых зонах, установлены превышения ПДКм.р. для ряда загрязняющих веществ. Для пяти химических веществ – диоксида азота, оксида азота (II), диоксида серы, углерода и метилбензола – выявлены концентрации, превышающие нормативы максимальных разовых предельно допустимых концентраций (ПДКм.р.) до 9,01 раза. В свою очередь, для десяти веществ, а именно аммиака, дигидросульфида, оксида углерода, газообразных фторидов, бензола, диметилбензола, этилбензола, гидроксibenзола, формальдегида и взвешенных веществ, зарегистрированы максимальные разовые концентрации, которые превышают десятикратную величину установленных нормативов (Таблица 5.13).

Таблица 5.13 – Диапазоны верифицированных максимальных разовых концентраций загрязняющих веществ, превышающих ПДКм.р. от всех источников в зонах жилой застройки г. Красноярск

Код в-ва	Название вещества	Доли ПДКм.р.		
		Минимум	Среднее	Максимум
301	Азота диоксид	0,11	0,98	9,01
303	Аммиак	менее 0,01	0,49	10,2
304	Азот (II) оксид	0,02	0,35	3,23
328	Углерод (сажа)	0,11	0,31	1,55
330	Сера диоксид	0,01	0,11	1,24
333	Дигидросульфид	менее 0,01	0,67	10,99
337	Углерода оксид	0,09	2,34	30,1
342	Фториды газообразные	0,10	1,51	12,03
602	Бензол	менее 0,01	0,51	54,26
616	Диметилбензол	0,05	2,60	56,95
621	Метилбензол	менее 0,01	0,24	5,54
627	Этилбензол	0,03	3,60	>100,00
1071	Гидроксibenзол	0,12	4,44	>100,00
1325	Формальдегид	0,11	2,27	31,50
2902	Взвешенные вещества	0,24	31,36	>100,00

Гигиеническая оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха на репрезентативной территории, выполненная по верифицированным данным, полученным в жилых зонах, показала наличие превышений среднегодовых предельно допустимых концентраций (ПДКс.г.) для ряда веществ, выбрасываемых всеми источниками. Для аммиака, оксида (II) азота, углерода оксида, газообразных фторидов, диметилбензола и гидроксибензола превышения ПДКс.г. составили от 1,23 до 8,5 раза. В отношении десяти других загрязняющих веществ, а именно этилбензола, марганца и его соединений, взвешенных веществ, оксида меди, бензола, хрома, формальдегида, дигидросульфида, бенз(а)пирена и диоксида азота, по результатам той же оценки установлены концентрации, превышающие норматив более чем в 10 раз (Таблица 5.14).

Таблица 5.14 – Диапазоны верифицированных среднегодовых концентраций загрязняющих веществ, превышающих ПДКс.г., от всех источников в зонах жилой застройки репрезентативной территории

Код в-ва	Название вещества	Доли ПДКс.г.		
		Минимум	Среднее	Максимум
143	Марганец и его соединения	0,28	1,64	более 10,0
146	Медь оксид	0,19	2,05	53,96
203	Хром	0,22	2,86	33,76
301	Азота диоксид	0,14	1,26	11,20
303	Аммиак	0,03	0,43	8,53
304	Азот (II) оксид	0,02	0,28	1,78
333	Дигидросульфид	6,91E-03	0,76	22,78
337	Углерод оксид	0,06	0,48	1,63
342	Фториды газообразные	0,07	0,42	2,17
602	Бензол	0,02	8,39	41,25
616	Диметилбензол	3,47E-04	0,05	2,46
627	Этилбензол	2,61E-04	43,29	более 60,0
703	Бенз(а)пирен	0,10	4,58	15,38
1071	Гидроксибензол	7,24E-04	0,08	1,26
1325	Формальдегид	0,10	4,66	26,34
2902	Взвешенные вещества	1,61	16,45	более 20,0

Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха репрезентативной территории по верифицированным данным в результате деятельности объектов теплоэнергетики до реализации воздухоохраных мероприятий

По результатам гигиенической оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха репрезентативной территории в результате деятельности объектов теплоэнергетики по верифицированным данным в зонах жилой застройки установлено наличие превышений гигиенических нормативов ПДКм.р. в отношении 11 веществ: азота диоксида (до 1,82 ПДКм.р.), азота (II) оксида (до 1,08 ПДКм.р.), углерода (до 1,52 ПДКм.р.), серы диоксида (до 1,11 ПДКм.р.), дигидросульфида (до 1,53 ПДКм.р.), диметилбензола (до 7,62 ПДКм.р.), этилбензола (до 10,04 ПДКм.р.), углерода оксида (до 29,92 ПДКм.р.), бензола (до 1,41 ПДКм.р.), формальдегида (до 18,3 ПДКм.р.), взвешенных веществ (до 14,97 ПДКм.р.) (Таблица 5.15). Численность населения,

проживающего в зонах с повышенными максимальными разовыми концентрациями, формируемыми выбросами объектов теплоэнергетики, составила 581,3 тыс. человек.

Таблица 5.15 – Диапазоны верифицированных максимальных разовых концентраций загрязняющих веществ, превышающих ПДКм.р., в зонах жилой застройки репрезентативной территории от объектов теплоэнергетики

Код в-ва	Наименование вещества	Доли ПДКм.р.		
		Минимум	Среднее	Максимум
184	Свинец и его неорганические соединения	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01
301	Азота диоксид	0,03	0,31	1,82
304	Азот (II) оксид	менее 0,01	0,10	1,08
328	Углерод	0,10	0,29	1,52
330	Сера диоксид	менее 0,01	0,08	1,11
333	Дигидросульфид	менее 0,01	0,05	1,53
337	Углерода оксид	0,05	2,17	29,92
602	Бензол	менее 0,01	0,05	1,41
616	Диметилбензол (смесь о-, м-, п- изомеров)	менее 0,01	0,23	7,62
627	Этилбензол	менее 0,01	0,23	10,04
1325	Формальдегид	0,01	0,51	18,28
2902	Взвешенные вещества	0,04	2,05	14,97

Установлены превышения среднегодовых гигиенических нормативов концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, обусловленные деятельностью объектов теплоэнергетики репрезентативной территории для азота диоксида, углерода оксида, формальдегида, взвешенных веществ, бензола и диметилбензола в диапазоне от 1,35 до 19,04 ПДКс.г. (Таблица 5.16). Численность населения, проживающего в зонах с повышенными среднегодовыми концентрациями, формируемыми выбросами объектов теплоэнергетики, составила 457,1 тыс. человек.

Таблица 5.16 – Диапазоны расчетных концентраций загрязняющих веществ, превышающих ПДКс.г. от объектов теплоэнергетики в селитебной зоне репрезентативной территории, верифицированные натурными измерениями, доли ПДКс.г.

Код в-ва	Наименование вещества	Доли ПДКс.г.		
		Минимум	Среднее	Максимум
301	Азота диоксид	0,03	0,26	3,20
337	Углерода оксид	0,03	0,32	1,35
1325	Формальдегид	0,02	0,74	19,04
2902	Взвешенные вещества	0,20	3,80	13,79
602	Бензол	3,41E-06	0,06	7,39
616	Диметилбензол	5,92E-06	0,03	1,45

Таким образом, на основе верифицированных данных на репрезентативной территории выявлены превышения максимальных разовых концентраций загрязняющих веществ от всех источников: для азота диоксида, азота (II) оксида, серы диоксида, углерода, метилбензола – до

9,01 ПДКм.р.; для аммиака, дигидросульфида, оксида углерода, газообразных фторидов, бензола, диметилбензола, этилбензола, гидроксибензола, формальдегида, взвешенных веществ – более 10 ПДКм.р. Превышения гигиенических нормативов по среднегодовым предельно допустимым концентрациям (ПДКс.г.) зафиксированы: для аммиака, оксида азота (II), оксида углерода, газообразных фторидов, диметилбензола и гидроксибензола – до 8,5 ПДКс.г.; для этилбензола, марганца и его соединений, взвешенных веществ, оксида меди, бензола, хрома, формальдегида, дигидросульфида, бенз(а)пирена, диоксида азота – более чем в 10 раз выше ПДКс.г.

По результатам верифицированных данных, уровни загрязнения атмосферного воздуха, обусловленные деятельностью объектов теплоэнергетики, по максимальным разовым концентрациям установлены для 11 веществ: диоксида азота, азота (II) оксида, углерода, серы диоксида, дигидросульфида, диметилбензола, этилбензола, оксида углерода, бензола, формальдегида, взвешенных веществ – в диапазоне от 1,08 до 29,92 ПДКм.р. Превышения среднегодовых предельно допустимых концентраций зафиксированы для азота диоксида, углерода оксида, формальдегида, взвешенных веществ, бензола и диметилбензола в интервале от 1,35 до 19,04 ПДКс.г.

Анализ компонентного и дисперсного состава твердых частиц атмосферного воздуха в зоне воздействия теплоэнергетических объектов на репрезентативной территории до реализации воздухоохраных мероприятий

Для последующего установления причинно-следственных связей между деятельностью конкретного источника (ТЭЦ) и рисками для здоровья населения, для разработки более эффективных мер по снижению загрязнения проводилось исследование компонентного и дисперсного состава атмосферного воздуха в зоне влияния крупной ТЭЦ в рамках углубленного анализа выбросов [146].

По результатам гигиенической оценки качества атмосферного воздуха в зоне воздействия объектов теплоэнергетики (крупной ТЭЦ) на соответствие нормативам СанПиН 1.2.3685-21, выполненной с использованием расчетных данных, верифицированных инструментальными измерениями, в точке эксперимента установлены превышения для следующих веществ: взвешенные вещества (3,29 ПДКм.р.; 1,36 ПДКс.г.), неорганическая пыль с содержанием SiO_2 70–20 % (1,52 ПДКм.р.), марганец и его соединения (1,08 ПДКс.г.), оксид меди (3,42 ПДКс.г.), неорганические плохо растворимые фториды (1,02 ПДКс.г.). В зоне, квалифицируемой как территория относительного санитарно-эпидемиологического благополучия по качеству атмосферного воздуха, превышений гигиенических нормативов не зарегистрировано.

В холодный период в точке влияния крупной ТЭЦ инструментальными измерениями фиксировались превышения: взвешенных веществ до 1,13 ПДКс.с., PM10 до 1,38 ПДКс.с., PM2.5 до 1,42 ПДКс.с.; в теплый период – взвешенных веществ до 1,3 ПДКс.с., PM10 до 1,14 ПДКс.с.,

PM2.5 до 1,0 ПДКс.с. Гигиеническая оценка в зоне сравнения не выявила превышений предельно допустимых концентраций ни одного из исследуемых веществ в оба сезонных периода.

Экспериментальное исследование проводилось в двух зонах (точках), различающихся по уровню экспозиции, по дисперсному, компонентному и морфологическому составу твердых частиц, содержащихся в атмосферном воздухе. Точка 1 располагалась в зоне преимущественного воздействия крупной теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). Точка 2 определена как зона относительного санитарно-эпидемиологического благополучия по качеству атмосферного воздуха и служила точкой сравнения. Анализ компонентного состава твердых фракций атмосферного воздуха на репрезентативной территории в зоне воздействия объектов теплоэнергетики выявил присутствие натрия, магния, железа, кремния, алюминия, калия, серы, фосфора, кальция, фтора и кислорода в составе оксидов (Таблица 5.17).

В холодный период года по сравнению с теплым наблюдается увеличение числа идентифицируемых компонентов в твердых частицах атмосферного воздуха, что, вероятно, объясняется интенсивным отопительным сезоном в зимние месяцы. В холодный сезон основная масса твердых частиц (58,6 %) отличается высоким содержанием алюминия, кремния, железа и натрия. В теплый период происходят изменения в химическом составе твердых фракций; при этом кремний и алюминий сохраняют лидирующие позиции, составляя около 50 % от общего объема твердых частиц. Оценка компонентного состава твердых частиц в зоне относительного санитарно-эпидемиологического благополучия показала, что как в теплый, так и в холодный периоды около половины содержания химических веществ в атмосферном воздухе формировалось за счет кремния.

Таблица 5.17 – Распределение химических элементов в составе твердых частиц атмосферного воздуха в зоне воздействия ТЭЦ-1 и в зоне относительного санитарно-эпидемиологического благополучия, %

Загрязняющее вещество	Холодное время года		Теплое время года	
	Точка в зоне влияния крупной ТЭЦ	Точка сравнения	Точка в зоне влияния крупной ТЭЦ	Точка сравнения
Натрий (Na)	11,9	–	0,45	–
Магний (Mg)	–	–	0,34	–
Железо (Fe)	12,68	–	–	–
Кремний (Si)	16,24	49,58	25,06	51,54
Алюминий (Al)	17,77	–	24,65	–
Калий (K)	6,56	–	8,03	–
Сера (S)	10,24	–	–	–
Фосфор (P)	10,85	–	–	–
Кальций (Ca)	4,51	–	–	–
Фтор (F)	–	–	6,68	–
Кислород (O)	9,27	51,42	34,78	48,46

Исследование дисперсного распределения твердых частиц в районе воздействия теплоэнергетических объектов на качество атмосферного воздуха в течение холодного и тёплого сезонов года показало изменчивость морфологического состава частиц. При этом преобладание наблюдается у мелкодисперсных фракций с размерами от 1,0 до 3,0 мкм, доля которых варьирует в пределах от 51,1 % до 58,6 % общего объёма эмиссий. Среди них частицы с размером менее 1,5 мкм составляют почти 20 % (Рисунок 5.3).

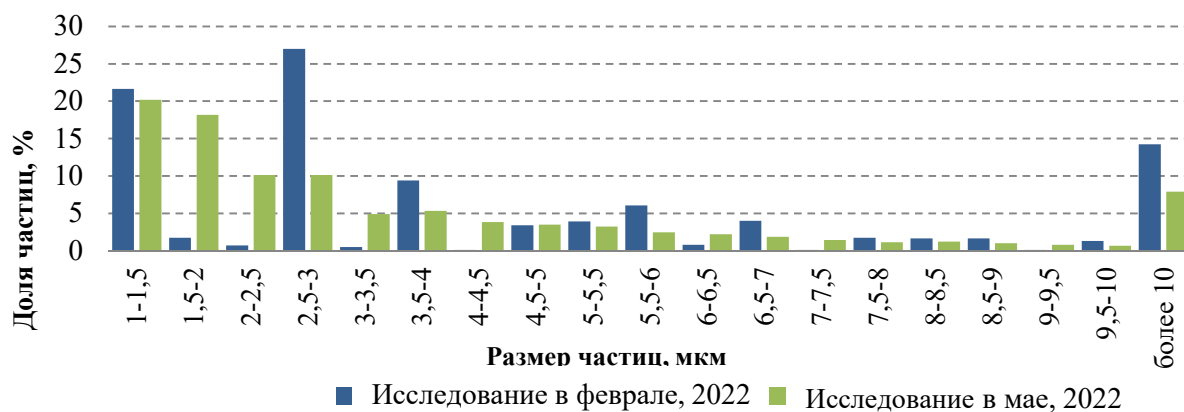


Рисунок 5.3 – Дисперсный состав твердых частиц в атмосферном воздухе в зоне воздействия ТЭЦ, %

Исследование морфологических характеристик твердых частиц в зоне воздействия теплоэнергетических объектов выявило, что в холодный и теплый периоды года порядка 28,4–30,4 % частиц характеризуются высокой округлостью с коэффициентом сферичности в диапазоне от 0,9 до 1,0 (Таблица 5.18).

Таблица 5.18 – Морфологический состав частиц атмосферного воздуха до 10 мкм (коэффициент сферичности), %

Коэффициент сферичности	Исследование, проведенное в холодный период года	Исследование, проведенное в теплое время года
0,1-0,2	0,33	0,00
0,2-0,3	7,60	13,23
0,3-0,4	8,92	13,94
0,4-0,5	10,57	7,96
0,5-0,6	10,79	12,21
0,6-0,7	10,90	6,52
0,7-0,8	9,58	12,09
0,8-0,9	10,90	5,69
0,9-1,0	30,40	28,37
Количество подсчитанных частиц, шт.	2015	1671

Оценка дисперсного состава твердых фракций в атмосферном воздухе показала, что преобладают частицы размером до 10 мкм – более 85%. При этом около 50 % частиц характеризуются повышенной округлостью с коэффициентом сферичности в интервале 0,7–1,0.

Таким образом, оценка дисперсного состава твердых фракций размером до 10 мкм в атмосферном воздухе показала, что основную массу частиц составляют алюминий, кремний, железо, натрий, кальций (более 50 %). Анализ дисперсного состава твердых частиц в зоне с максимальным влиянием объектов теплоэнергетики на качество атмосферного воздуха показал, что в выбросах преобладают частицы более мелкого диаметра (от 1,0 до 3,0 мкм) от 51,1 до 58,6 % и порядка 30,0 % частиц имеют сферичность от 0,9 до 1,0. Полученные данные свидетельствуют о том, что компонентный состав атмосферного воздуха отличается большей сложностью по сравнению с перечнем веществ, учитываемых при проведении инвентаризации выбросов от стационарных источников.

Анализ компонентного, размерного (дисперсного) и морфологического состава твердых фракций в золе, проведенный на репрезентативной территории

Для установления причинно-следственной связи между специфическими компонентами загрязнения атмосферного воздуха в жилой зоне и деятельностью конкретного промышленного источника (крупной ТЭЦ) проведён сравнительный анализ элементного состава воздуха в зоне влияния данной ТЭЦ и ее золы.

Объекты теплоэнергетики и теплоснабжения репрезентативной территории, а именно ТЭЦ-1 и АИТы, работающие на угле, выбрасывают 36 химических соединений, учитывая выбросы вспомогательных производств. Из совокупного перечня выбрасываемых веществ 11 компонентов классифицируются как твердые частицы, включающие соединения железа, марганца, никеля и хрома, сажу, слабо растворимые фториды, бенз(а)пирен, взвешенные вещества, абразивную пыль и неорганическую пыль с содержанием диоксида кремния (SiO_2) в диапазоне от менее 20 % до 70 %. Массовая доля твердых фракций в общей массе выбросов от ТЭЦ-1 превышает 30 %.

Микронзондовый рентгеноспектральный анализ золы позволил выявить химический состав твердых частиц размером до 100 мкм, который включает элементы: натрий, магний, железо, кремний, алюминий, калий, серу, фосфор, кальций, стронций, кислород в составе оксидных соединений. Указанные результаты согласуются с данными рентгеноспектрального анализа. Основная часть идентифицированных твердых частиц представляет собой соединения кальция, магния, железа, кремния, алюминия, натрия, калия, серы и фосфора, суммарная доля которых превышает 59 % (Рисунок 5.4, 5.5).

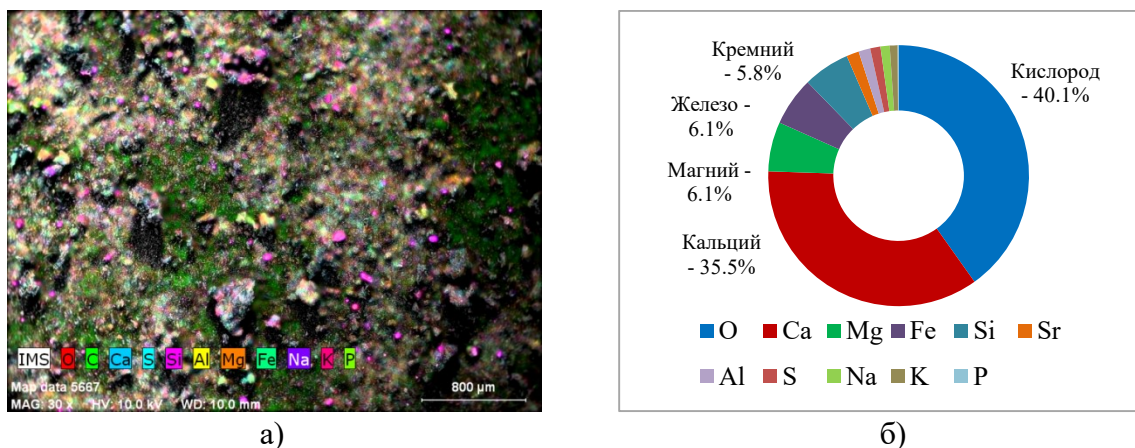


Рисунок 5.4 – Химический состав твердых частиц в золе: а) микрозондовый рентгеноспектральный анализ зола, б) компонентный состав зола, %

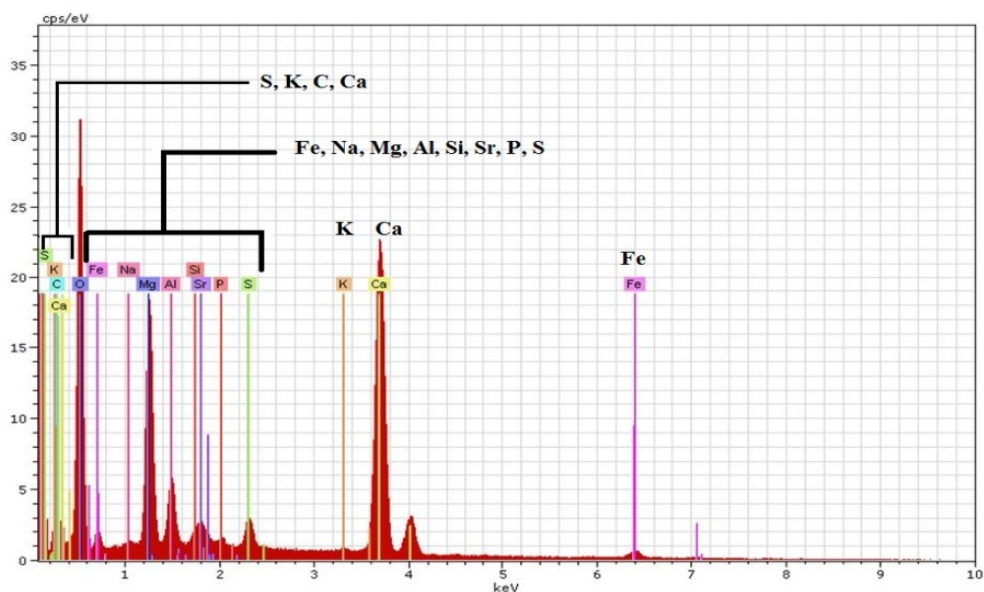


Рисунок 5.5 – Компонентный состав зола в результате спектрального анализа

Для оценки размеров и формы частиц твердых компонентов зола получены микрофотографии при увеличениях 30, 150 и 350 крат (Рисунок 5.6).

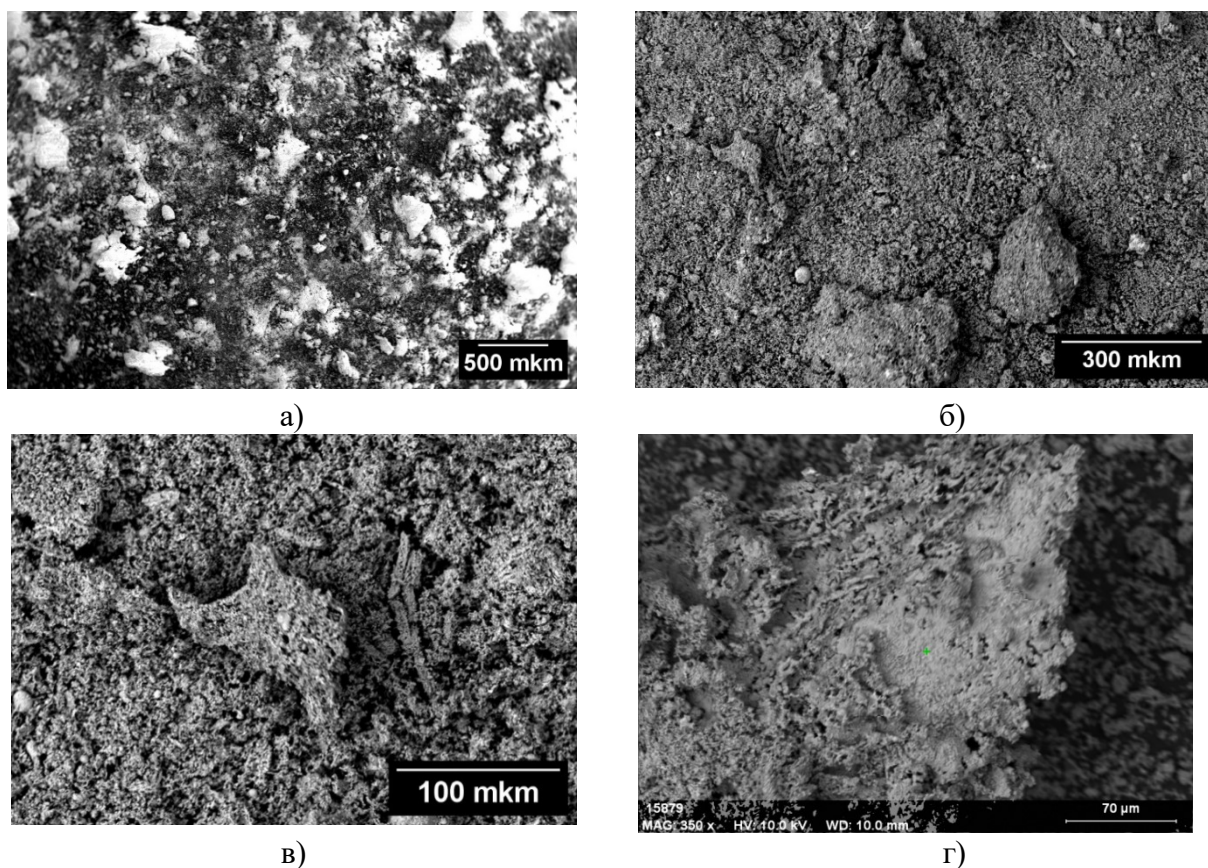


Рисунок 5.6 – Изображение твердых частиц золы с увеличением:
а) $\times 30$; б) $\times 150$; в), г) $\times 350$.

Исследование дисперсного распределения твердых частиц до 100 мкм в золе с помощью электронно-микроскопического анализа показало, что большая часть частиц имеет диаметр, не превышающий 10,0 мкм, при этом их доля составляет 63,8 % от общего количества твердых частиц (Рисунок 5.7).

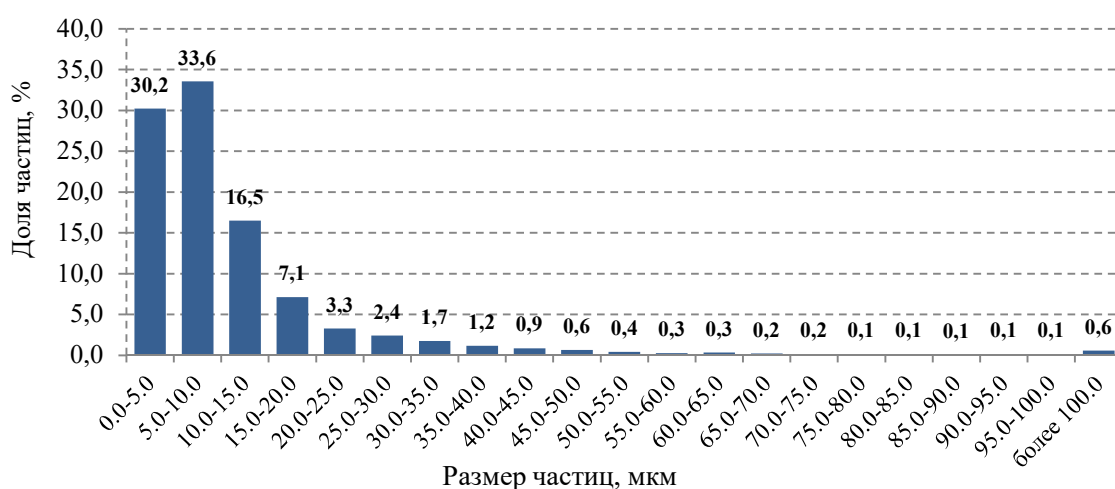


Рисунок 5.7 – Дисперсный состав твердых частиц размером 0-100 мкм в золе, %

Фракционный анализ частиц в диапазоне до 10 мкм показал относительно равномерное распределение, при этом более 50 % частиц имеют размер до 5,5 мкм (Рисунок 5.8).

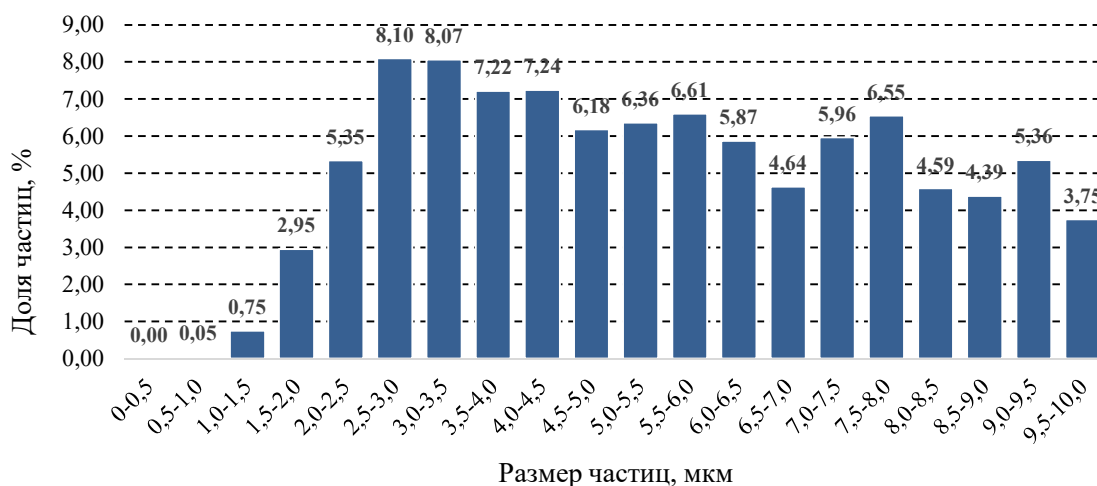


Рисунок 5.8 – Дисперсный состав твердых частиц размером 0-10 мкм в золе, %

Морфологический анализ твердых частиц размером до 10 мкм показал, что около 57 % частиц характеризуются коэффициентом сферичности в диапазоне 0,4–0,7, указывающим на неправильную форму частиц, способных задерживаться на различных уровнях дыхательных путей. Частицы преимущественно округлой морфологии с коэффициентом сферичности в диапазоне 0,7–1,0, характеризующиеся способностью проникать в глубокие отделы дыхательной системы, составляют около 32 % от общего числа исследованных частиц (Таблица 5.19).

Таблица 5.19 – Морфологический состав частиц золы до 10 мкм (коэффициент сферичности), %

Коэффициент сферичности	Содержание
0-0,1	0,00
0,1-0,2	0,02
0,2-0,3	1,79
0,3-0,4	8,25
0,4-0,5	16,59
0,5-0,6	20,04
0,6-0,7	20,36
0,7-0,8	16,56
0,8-0,9	11,07
0,9-1,0	5,33

Химический анализ золы показал присутствие в частицах размером до 10 мкм примесей кальция, магния, железа, кремния и алюминия, суммарная доля которых достигает более 54 %, наряду с присутствием других твёрдых компонентов основную долю твердых частиц в золе занимает кальций (38,9 %).

В результате микроскопического исследования золы (частицы размером до 100 мкм) установлен химический состав взвешенных частиц, включающий следующие элементы: натрий, магний, железо, кремний, алюминий, калий, кальций, стронций, серу и фосфор. В золе

преобладающую долю составляют частицы с диаметром менее 10,0 мкм (63,8 %), основу которых образуют взвешенные частицы кальция, магния, железа, кремния и алюминия, чья суммарная доля превышает 54 %. Морфологический анализ твердых частиц размером до 10 мкм показал, что около 57 % частиц характеризуются коэффициентом сферичности в диапазоне 0,4–0,7, указывающим на неправильную форму частиц, способных задерживаться на различных уровнях дыхательных путей.

Сопоставительный анализ компонентного, дисперсного и морфологического состава атмосферного воздуха в зоне влияния крупной ТЭЦ и золы

Компонентный состав твердых частиц атмосферного воздуха и золы сопоставим на 78%. Основу твердых частиц, присутствующих в атмосферном воздухе и золе, составляют такие элементы, как алюминий, кремний, железо, натрий, калий, кальций, сера и фосфор.

Исследование дисперсного распределения твердых частиц в атмосферном воздухе в зоне максимального влияния выбросов анализируемой теплоэлектростанции выявило незначительные отличия от состава золы в части содержания микроразмерных частиц. Размерный спектр частиц атмосферного воздуха характеризовался значительной вариабельностью, преобладающая доля (около 65 %) приходилась на фракции менее 4,0 мкм (из них доля частиц размером менее 1,5 мкм достигала 20,9 %), при этом в золе более 50 % частиц имели размер до 5,5 мкм (из них 17,2 % составляли частицы до 3,0 мкм).

Анализ морфологического состава атмосферного воздуха и золы показал, что 30 % частиц атмосферного воздуха обладали высокой степенью сферичности, оцениваемой в диапазоне от 0,9 до 1,0, в золе – от 0,7 до 1,0 (Таблица 5.20).

Таблица 5.20 – Морфологический анализ частиц золы и атмосферного воздуха размером до 10 мкм по коэффициенту сферичности, %

Коэффициент сферичности частиц	Содержание частиц в золе, %	Содержание частиц в атмосферном воздухе, %
0–0,1	0,00	0,00
0,1–0,2	0,02	0,33
0,2–0,3	1,79	7,60
0,3–0,4	8,25	8,92
0,4–0,5	16,59	10,57
0,5–0,6	20,04	10,79
0,6–0,7	20,36	10,90
0,7–0,8	16,56	9,58
0,8–0,9	11,07	10,90
0,9–1,0	5,33	30,40

Таким образом, в результате проведенного эксперимента установлено, что компонентный состав твердых частиц атмосферного воздуха и золы сопоставим: более 78 % твердых частиц в

воздухе составляют алюминий, кремний, железо, натрий, калий, кальций, сера и фосфор. Дисперсный состав частиц атмосферного воздуха в зоне влияния крупной ТЭС незначительно отличается от состава золы, при этом в воздухе преобладают частицы размером до 4,0 мкм (65 %, из них менее 1,5 мкм – 20,9 %), из них более 30 % имеют округлую форму; в золе более 50 % – частицы до 5,5 мкм и 30 % из них обладают сферичностью от 0,7 до 1,0.

Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха по верифицированным данным в зонах влияния объектов теплоэнергетики прогнозно после реализации мероприятий

В ходе анализа эффективности реализованных мероприятий по снижению валового выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух от объектов теплоэнергетики, запланированных к 2026 году, установлено, что максимальные разовые концентрации по верифицированным данным прогнозно снизятся для шести веществ: азота диоксида, серы диоксида, углерода оксида, бензола, этилбензола и взвешенных веществ – до 1,8 раза. По дигидросульфиду, напротив, будет наблюдаться неблагоприятная динамика, проявляющаяся в незначительном повышении уровня загрязнения (Таблица 5.21).

Таблица 5.21 – Диапазоны расчетных концентраций загрязняющих веществ от объектов теплоэнергетики в селитебной зоне репрезентативной территории, верифицированные натурными измерениями до и после проведения воздухоохраных мероприятий, направленных на снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Код в-ва	Наименование вещества	Доли ПДКм.р.		Снижение концентраций загрязняющих веществ до и после мероприятий, раз
		ДО мероприятий	ПОСЛЕ мероприятий	
301	Азота диоксид	1,82	1,81	1,006
328	Углерод (Сажа)	1,51	1,51	–
330	Сера диоксид	1,11	0,63	1,762
333	Дигидросульфид	1,53	1,54	0,994
337	Углерода оксид	29,92	29,8	1,004
602	Бензол	1,41	1,40	1,004
616	Диметилбензол (смесь о-, м-, п- изомеров)	7,61	7,61	–
627	Этилбензол	10,03	9,97	1,007
1325	Формальдегид	18,28	18,28	–
2902	Взвешенные вещества	14,97	14,81	1,011
2908	Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния, в %: 70-20	5,07	5,07	–

Реализация запланированных воздухоохраных мероприятий прогнозно приведет к сокращению численности населения, проживающего в зонах с повышенными максимальными разовыми концентрациями, на 13,1 тыс. человек.

Реализация мероприятий по охране атмосферного воздуха, направленных на сокращение выбросов загрязняющих веществ от объектов теплоэнергетики, прогнозно снизит уровни среднегодовых концентраций, согласно верифицированным данным, по углероду оксиду, взвешенным веществам, азоту диоксиду и формальдегиду в пределах 1,001–1,2 раза. Тем не менее, концентрации указанных веществ останутся на высоком уровне и превысят установленные гигиенические нормативы (Таблица 5.22).

Таблица 5.22 – Диапазоны расчетных концентраций загрязняющих веществ от объектов теплоэнергетики в селитебной зоне репрезентативной территории, верифицированных натурными измерениями до и после проведения воздухоохраных мероприятий, направленных на снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Код в-ва	Наименование вещества	Доли ПДКс.г.		Снижение по максимальным значениям до и после мероприятий, раз
		ДО мероприятий	ПОСЛЕ мероприятий	
301	Азота диоксид	2,20	2,11	1,04
337	Углерода оксид	1,35	1,12	1,20
1325	Формальдегид	19,04	19,03	1,001
2902	Взвешенные вещества	13,79	11,68	1,2

Реализация запланированных воздухоохраных мероприятий прогнозно приведет к сокращению численности населения, проживающего в зонах с повышенными с повышенными среднегодовыми концентрациями – на 48,7 тыс. человек.

Таким образом, по результатам верификации расчетных данных данными натурных исследований уровни разовых концентраций в селитебной зоне по сере диоксиду прогнозно снизятся в 1,8 раза и взвешенным веществам – в 1,01 раза. Прогнозное снижение среднегодовых концентраций по верифицированным данным будет наблюдаться в отношении 4 веществ от 1,001 до 1,2 раза. Внедрение запланированных воздухоохраных мероприятий позволит уменьшить численность населения, проживающего в зонах с повышенными максимальными разовыми концентрациями, на 13,1 тыс. человек; с повышенными среднегодовыми концентрациями – на 48,7 тыс. человек.

5.3 Анализ риска для здоровья населения, связанного с химическим загрязнением атмосферного воздуха в результате деятельности объектов теплоэнергетики до и после реализации воздухоохраных мероприятий

Анализ риска здоровью населения, связанного с химическим загрязнением атмосферного воздуха в результате деятельности объектов теплоэнергетики до и после реализации воздухоохраных мероприятий, выполнен по этапам:

1. *Идентификация опасности.* Оценка ингаляционного риска для здоровья населения до реализации мероприятий выполнялась для 50 из 55 веществ, выбрасываемых объектами теплоэнергетики и теплоснабжения, имеющих параметры риска в соответствии Р 2.1.10.1920-04. В том числе проведена оценка канцерогенного риска для 7 веществ, оценка риска развития неканцерогенных эффектов при кратковременной экспозиции (острое воздействие) – для 25 веществ, при длительном поступлении (хроническое воздействие) – для 50 веществ.

2. *Выбор зависимостей «экспозиция-ответ».* Установление и анализ зависимости «экспозиция-ответ» позволяет выявить причинную обусловленность вредного действия вещества, определить минимальную дозу, вызывающую регистрируемый эффект, и охарактеризовать динамику нарастания ответа при увеличении дозы. При оценке реальной опасности химического воздействия рассматриваются два типа эффектов: канцерогенные и неканцерогенные. Данные о канцерогенных и неканцерогенных (острых и хронических) свойствах, референтных уровнях представлены в Р 2.1.10.1920-04.

3. *Оценка экспозиции.* На репрезентативной территории все жилые здания включены в расчеты уровней загрязнения, поэтому оценка риска выполнялась для всего населения города. По каждому из выбранных химических веществ в каждой расчетной точке определены максимальные разовые и/или среднегодовые концентрации. В таблицах тоном выделены уровни отдельных химических соединений, которые превышают референтные значения – это заведомо те примеси, которые будут формировать неприемлемые риски для здоровья даже без учета суммирования эффектов воздействия на критические органы и системы многих веществ (то есть заведомые приоритеты).

4. *Характеристика риска.* По результатам выполнения этапа «Характеристика канцерогенного риска» установлено, что суммарный канцерогенный риск (CR_T) на репрезентативной территории в жилой зоне составляет от $2,48 \cdot 10^{-6}$ до $3,31 \cdot 10^{-4}$. Проведенный анализ показал, что превышение установленного предельного уровня канцерогенного риска ($CR > 1 \cdot 10^{-4}$) характерно для формальдегида, для которого зафиксированы значения до $3,28 \cdot 10^{-4}$ (таблица 5.23).

Таблица 5.23 – Уровни канцерогенного риска в жилых зонах репрезентативной территории

Вещество	Уровни канцерогенного риска		
	Минимум	Среднее	Максимум
Формальдегид	3,53E-07	1,27E-05	3,28E-04
Бенз(а)пирен	2,22E-10	3,09E-08	1,14E-07
Свинец и его соединения	7,90E-13	2,92E-10	1,27E-08
Углерод (Сажа)	3,96E-07	1,76E-06	1,85E-05
Хром (IV)	2,04E-07	1,57E-06	1,55E-05
Бензол	5,68E-11	5,14E-08	4,15E-06
Этилбензол	1,48E-13	8,97E-09	3,02E-08
Суммарный уровень канцерогенного риска	2,48E-06	1,72E-05	3,31E-04

Наибольший вклад в уровень неприемлемого суммарного канцерогенного риска вносит формальдегид (более 90 %).

Установлено, что углерода оксид (до 6,50 НQас), бензол (до 2,83 НQас), формальдегид (до 19,05 НQас) и взвешенные вещества (до 24,96 НQас) характеризуются уровнем острого неканцерогенного риска, превышающим рекомендуемые допустимые уровни риска в жилых зонах, что свидетельствует о неприемлемой степени опасности для здоровья при кратковременном воздействии (Таблица 5.24).

Таблица 5.24 – Коэффициенты опасности при остром неканцерогенном риске на основе верифицированных данных

Код вещества	Наименование вещества	Минимум	Среднее	Максимум
1	2	3	4	5
110	диВанадий пентоксид (пыль) (Ванадия пятиокись)	4,59E-06	6,94E-05	1,29E-04
301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	0,01	0,13	0,78
303	Аммиак	8,07E-08	7,59E-06	5,84E-05
304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	1,88E-03	0,05	0,60
322	Серная кислота (по молекуле H ₂ SO ₄)	1,29E-05	7,38E-05	1,53E-03
330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	3,65E-03	0,06	0,84
333	Дигидросульфид (Сероводород)	4,79E-05	3,71E-03	0,12
337	Углерод оксид	0,01	0,47	6,50
342	Фториды газообразные	2,48E-06	1,22E-04	0,02
343	Фториды хорошо растворимые	4,18E-07	2,25E-06	3,98E-05
602	Бензол	9,17E-05	0,10	2,83
616	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	1,95E-04	0,01	0,35
621	Метилбензол (Толуол)	2,74E-05	2,52E-03	0,09
627	Этилбензол	2,18E-05	4,67E-03	0,20
1061	Этанол (Спирт этиловый)	2,20E-07	1,19E-06	2,16E-05
1071	Гидроксibenзол (Фенол)	4,69E-09	2,13E-07	4,02E-06
1119	2-Этоксизтанол (Этилцеллозольв, Этиловый эфир этиленгликоля)	5,20E-07	4,34E-06	1,26E-04
1240	Этилацетат	2,47E-07	1,34E-06	2,47E-05
1325	Формальдегид	0,02	0,53	19,05
1401	Пропан-2-он (Ацетон)	1,45E-07	1,24E-06	3,85E-05

Продолжение Таблицы 5.24

1	2	3	4	5
1728	Этантиол (Этилмеркаптан)	6,25E-09	2,69E-08	2,04E-07
2902	Взвешенные вещества	0,07	3,42	24,96
2904	Мазутная зола теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий)	4,89E-04	2,02E-03	0,01
2930	Пыль абразивная (Корунд белый, Монокорунд)	3,78E-05	7,22E-04	0,27
2978	Пыль резинового вулканизата	4,93E-06	4,29E-04	0,14

Расчет рисков для здоровья населения на репрезентативной территории при кратковременных (острых) воздействиях позволил установить, что величина индекса опасности более 3 для группы веществ, оказывающих однонаправленное действие на ряд критических систем в условиях острого ингаляционного поступления формируется в отношении: сердечно-сосудистой системы, глаз, дыхательной системы, влияния на развитие организма, системных эффектов.

Результаты анализа острого неканцерогенного риска, связанного с ингаляционным поступлением загрязняющих веществ, свидетельствуют о том, что в жилых зонах высокий риск ($HI > 6$) выявлен в отношении нарушений функции органов дыхания, зрения, процессов развития, сердечно-сосудистой системы, системного действия. Значения индекса опасности (HI) для перечисленных систем варьировались в диапазоне от 6,5 до 25,81. В то же время, для репродуктивной и иммунной систем определено допустимое значение риска, соответствующее уровню HI от 1 до 3 (Таблица 5.25).

Таблица 5.25 – Величины острого неканцерогенного риска, выраженные индексами опасности, определённые на основе верифицированных данных в исследуемых точках жилой застройки на репрезентативной территории

Органы мишени	Уровень опасности (HI)			Характеристика риска
	Минимум	Среднее	Максимум	
Центральная нервная система	3,02E-04	0,013	0,355	Минимальный
Органы дыхания	0,185	4,22	25,81	Высокий
Влияние на развитие организма	0,013	0,575	6,59	Высокий
Репродуктивная система	9,48E-05	0,098	2,82	Допустимый
Органы зрения	0,023	0,547	19,06	Высокий
Сердечно-сосудистая система	0,012	0,472	6,50	Высокий
Иммунная система	9,17E-05	0,098	2,82	Допустимый
Системное действие	0,068	3,42	24,96	Высокий

Оценка хронического неканцерогенного риска показала неприемлемый уровень ($HQ_{ch} > 1$) для ряда загрязнителей в жилой зоне, среди которых формальдегид (до 19,04 HQ_{ch}), взвешенные вещества (до 13,79 HQ_{ch}), диоксид азота (до 2,20 HQ_{ch}), диметилбензол (до 1,45 HQ_{ch}), оксид углерода (до 1,35 HQ_{ch}) и бензол (до 1,20 HQ_{ch}) (Таблица 5.26).

Таблица 5.26 – Коэффициенты опасности при хроническом неканцерогенном риске

Код вещества	Наименование вещества	Минимум	Среднее	Максимум
1	2	3	4	5
101	диАлюминий триоксид (в пересчете на алюминий)	9,78E-08	3,72E-07	8,97E-06
110	диВанадий пентоксид (пыль) (Ванадия пятиокись)	2,89E-07	1,22E-05	4,68E-05
123	диЖелезо триоксид (Железа оксид) (в пересчете на железо)	4,97E-06	4,06E-05	1,26E-03
143	Марганец и его соединения (в пересчете на марганца (IV) оксид)	1,24E-03	9,73E-03	0,22
146	Медь оксид (Меди оксид) (в пересчете на медь)	2,99E-05	3,87E-04	7,11E-03
164	Никель оксид (в пересчете на никель)	4,26E-06	2,41E-05	2,24E-04
168	Олово оксид (в пересчете на олово)	1,29E-10	8,96E-10	3,10E-08
184	Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	3,01E-07	1,11E-04	4,84E-03
203	Хром (Хром шестивалентный) (в пересчете на хрома (VI) оксид)	4,12E-04	3,12E-03	0,03
301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	0,03	0,26	3,20
303	Аммиак	1,27E-06	1,05E-04	1,89E-03
304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	4,96E-03	0,05	0,29
322	Серная кислота (по молекуле H ₂ SO ₄)	1,40E-07	5,63E-07	1,36E-04
328	Углерод (Сажа)	5,75E-03	0,03	0,20
330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	0,02	0,13	0,45
333	Дигидросульфид (Сероводород)	2,18E-04	0,02	0,12
337	Углерод оксид	0,03	0,32	1,35
342	Фториды газообразные	1,27E-06	1,78E-05	3,54E-04
343	Фториды хорошо растворимые	9,69E-08	8,11E-07	1,16E-05
344	Фториды плохо растворимые	2,92E-07	8,67E-06	9,66E-05
402	Бутан	1,05E-09	1,38E-08	3,49E-05
410	Метан	1,07E-08	5,63E-08	4,28E-07
415	Смесь предельных углеводородов C ₁ H ₄ -C ₅ H ₁₂	6,40E-10	8,40E-09	3,79E-07
416	Смесь предельных углеводородов C ₆ H ₁₄ -C ₁₀ H ₂₂	5,91E-08	7,77E-07	3,50E-05
602	Бензол	5,61E-07	0,01	1,20
616	Диметилбензол (Ксилол)	5,92E-06	0,03	1,45
621	Метилбензол (Толуол)	6,40E-06	9,85E-05	5,81E-04
627	Этилбензол	3,07E-10	1,87E-05	6,28E-05
703	Бенз(а)пирен (3,4-Бензпирен)	7,74E-04	0,08	0,32
1042	Бутан-1-ол (Спирт н-бутиловый)	2,08E-08	2,02E-07	3,01E-06
1061	Этанол (Спирт этиловый)	5,74E-10	5,85E-09	9,13E-08
1071	Гидроксibenзол (Фенол)	1,77E-07	4,14E-05	4,33E-04
1119	2-Этоксэтанол (Этилцеллозольв, Этиловый эфир этиленгликоля)	3,26E-08	2,30E-07	2,12E-06
1210	Бутилацетат	1,40E-07	1,34E-06	1,99E-05
1240	Этилацетат	2,39E-08	2,58E-07	4,22E-06
1325	Формальдегид	0,02	0,74	19,04
1401	Пропан-2-он (Ацетон)	1,15E-09	5,58E-09	1,07E-07
1728	Эантиол (Этилмеркаптан)	2,50E-08	1,31E-07	1,00E-06
2704	Бензин (нефтяной, малосернистый) (в пересчете на углерод)	1,88E-06	1,93E-05	3,88E-03
2732	Керосин	4,43E-03	0,04	0,60
2735	Масло минеральное нефтяное	3,88E-09	2,70E-08	1,37E-06

Продолжение Таблицы 5.26

1	2	3	4	5
2752	Уайт-спирит	5,97E-07	4,74E-06	5,93E-05
2754	Углеводороды предельные C12-C19	1,56E-06	6,53E-06	3,91E-04
2902	Взвешенные вещества	0,21	1,85	13,79
2904	Мазутная зола теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий)	3,62E-04	1,33E-03	0,02
2908	Пыль неорганическая: 70-20% SiO ₂	0,01	0,06	0,22
2909	Пыль неорганическая: до 20% SiO ₂	6,66E-04	4,23E-03	0,08
2930	Пыль абразивная (Корунд белый, Монокорунд)	2,58E-07	1,83E-06	2,94E-04
2936	Пыль древесная	6,95E-08	1,82E-06	1,24E-03
2978	Пыль резинового вулканизата	1,44E-08	3,50E-07	1,16E-04

Расчёт показателей риска для здоровья населения на репрезентативной территории при длительном воздействии позволил определить, что индекс опасности (HI) свыше 3 для группы веществ, оказывающих одностороннее неблагоприятное действие на ряд критических органов и систем, формируется в отношении: дыхательной и иммунной систем, органов зрения.

В ходе оценки хронического неканцерогенного риска при ингаляционном воздействии загрязняющих веществ установлены следующие степени риска для населения репрезентативной территории: высокий уровень риска ($HI > 6$), превышающий допустимые значения более чем в 10 раз, наблюдается при нарушениях функций дыхательной системы, органов зрения и иммунной системы, с индексами опасности в диапазоне от 19,04 до 22,65; настораживающий уровень риска ($3 \leq HI \leq 6$) зарегистрирован для заболеваний кроветворной системы ($HI = 4,47$); допустимый уровень риска ($1 \leq HI \leq 3$) характерен для патологий центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы и процессов развития организма, с индексами опасности в интервале от 1,35 до 1,76 (Таблица 5.27).

Таблица 5.27 – Величины острого неканцерогенного риска, выраженные индексами опасности, на основе верифицированных данных в исследуемых точках жилой застройки на репрезентативной территории

Органы мишени	Уровень опасности (HI)			Характеристика риска
	Минимум	Среднее	Максимум	
1	2	3	4	5
Центральная нервная система	0,03	0,33	1,76	Допустимый
Органы дыхания	0,65	3,16	22,65	Высокий
Печень (пищеварительная система)	4,47E-03	0,04	0,62	Минимальный
Влияние на развитие организма	0,03	0,40	1,67	Допустимый
Изменения динамики массы тела	9,78E-08	3,72E-07	8,97E-06	Минимальный
Кроветворная система	0,12	0,63	4,47	Настораживающий
Репродуктивная система	3,88E-06	6,19E-04	0,05	Минимальный
Органы зрения	0,02	0,74	19,04	Высокий
Почки	3,13E-05	1,24E-03	0,03	Минимальный
Сердечно-сосудистая система	0,03	0,32	1,35	Допустимый
Иммунная система	0,07	0,88	19,12	Высокий

Продолжение Таблицы 5.27

1	2	3	4	5
Системное действие	6,03E-03	0,03	0,20	Минимальный
Нейроэндокринная система	1,57E-06	1,30E-04	4,85E-03	Минимальный
Красный костный мозг	5,61E-07	5,08E-04	0,04	Минимальный
Зубы	5,75E-03	0,03	0,20	Минимальный
Периферическая нервная система	1,24E-03	9,73E-03	0,22	Минимальный
Костная система	1,79E-06	2,73E-05	4,03E-04	Минимальный

5. *Оценка неопределенностей.* Основными источниками неопределенности при оценке риска являлись: неполнота информации о промышленных выбросах, отсутствие непрерывного мониторинга, упрощенные сценарии воздействия, использование расчетных данных и неточные сведения о загрязнении.

Таким образом, до реализации воздухоохраных мероприятий превышения уровней канцерогенного риска ($CR > 1 \cdot 10^{-4}$) в жилых зонах репрезентативной территории регистрировались по формальдегиду (до $3,28 \cdot 10^{-4}$). В жилых зонах зарегистрированы неприемлемые уровни острого неканцерогенного риска для четырех химических веществ: углерода оксида (до 6,50 HQac), бензола (до 2,83 HQac), формальдегида (до 19,05 HQac) и взвешенных веществ (до 24,96 HQac). Согласно результатам оценки острого неканцерогенного риска при ингаляционном пути поступления загрязняющих веществ, уровень острого риска нарушений функций органов дыхания, органов зрения, нарушений в развитии организма, заболеваний сердечно-сосудистой системы, системного воздействия на население репрезентативной территории оценивается как «высокий» ($HI > 6$) – индекс опасности варьировался в пределах 6,5–25,81 HI. При хроническом ингаляционном воздействии выявлены неприемлемые уровни хронического неканцерогенного риска в жилых зонах по шести веществам: формальдегид (до 19,04 HQch), взвешенные вещества (до 13,79 HQch), диоксид азота (до 2,20 HQch), диметилбензол (до 1,45 HQch), оксид углерода (до 1,35 HQch) и бензол (до 1,20 HQch). Уровень хронического риска развития патологий органов дыхания, органов зрения и иммунной системы характеризовался как «высокий» ($HI > 6$) – индекс опасности достигал величин от 19,04 до 22,65 HI, что превышает допустимый показатель более чем в 10 раз. «Настораживающий» уровень риска (индексы опасности в интервале 3–6) установлен для заболеваний кроветворной системы ($HI = 4,47$).

В зоне влияния крупной ТЭЦ при остром ингаляционном неканцерогенном воздействии взвешенных веществ регистрировались повышенные уровни коэффициентов опасности, соответствующие категории «высокий» (5,48 HQac), индексы опасности для органов дыхания (5,48 HIac), которые отнесены к категории «настораживающий». Хроническое ингаляционное неканцерогенное воздействие исследуемых химических веществ формировало «настораживающий» (1,1–3,0 HQ) и «высокий» (более 3,0 HQ) уровни риска для здоровья, что выражалось в следующих коэффициентах опасности по веществам: марганец и его соединения

(1,08 HQch), оксид меди (3,42 HQch), неорганические плохо растворимые фториды (2,36 HQch), взвешенные вещества (1,54 HQch). Выявленные уровни хронической экспозиции обуславливают повышенные значения индексов опасности в отношении органов дыхания (8,59 HIch), нервной системы (1,08 HIch), кроветворной системы (2,29 HIch) и костно-мышечной системы (2,36 HIch).

Анализ риска для здоровья населения, связанного с химическим загрязнением атмосферного воздуха в результате деятельности объектов теплоэнергетики (прогнозно после реализации воздухоохраных мероприятий)

Реализация мероприятий по охране атмосферного воздуха, предусматривающих снижение выбросов загрязняющих веществ от объектов теплоэнергетики, обусловит уменьшение суммарного уровня канцерогенного риска (CR_T) в зоне жилой застройки репрезентативной территории в 1,1 раза, при этом прогнозируемый диапазон значений составит $2,29 \cdot 10^{-6}$ – $3,30 \cdot 10^{-4}$. Превышения уровней канцерогенного риска ($CR > 1 \cdot 10^{-4}$) на территории г. Красноярска по прежнему прогнозировались по формальдегиду (до $3,28 \cdot 10^{-4}$).

Анализ острого неканцерогенного риска, связанного с ингаляционным воздействием загрязняющих веществ после реализации мероприятий по снижению выбросов, выявил улучшение показателей, касающихся репродуктивной и иммунной систем, процессов развития организма. Вместе с тем, для нарушений функций дыхательной и зрительной систем, сердечно-сосудистой системы, общего физического развития и системных эффектов, уровень острого риска сохраняется на высоком уровне, с индексом риска (HI) в диапазоне до 6,5–25,48. Максимальные уровни опасности (HI) снизились незначительно, при этом локально, в районах расположения объектов теплоэнергетики, значения риска снижались до 8,8 раз в отношении острого неканцерогенного риска нарушений органов дыхания и системного действия. Реализация запланированных мероприятий позволит вывести экспонированное население репрезентативной территории из зоны повышенного риска в минимальный (целевой) уровень риска в отношении органов дыхания до 50,85 тыс. человек, системного действия до 28,73 тыс. человек, сердечно-сосудистой системы до 3,92 тыс. человек, влияния на развитие организма до 1,62 тыс. человек (Таблица 5.28).

Таблица 5.28 – Динамика показателей острого неканцерогенного риска при ингаляционном поступлении загрязняющих веществ от объектов теплоэнергетики на репрезентативной территории в результате реализации воздухоохраных мероприятий

Органы мишени	ДО мероприятий		ПОСЛЕ мероприятий		Численность населения, выведенного из зоны повышенного риска, чел.	Характеристика риска
	Уровень опасности (НП) (максимум)	Численность под воздействием повышенного риска, чел.	Уровень опасности (НП) (максимумы)	Численность под воздействием повышенного риска, чел.		
Центральная нервная система	0,355	0	0,355	0	0	Минимальный
Органы дыхания	25,81	747 237	25,48	696 386	50 851	Высокий
Влияние на развитие организма	6,59	36 905	6,57	35 282	1 623	Высокий
Репродуктивная система	2,82	3 677	2,81	3 677	0	Допустимый
Органы зрения	19,06	129 231	19,06	129 231	0	Высокий
Сердечно-сосудистая система	6,5	17 590	6,5	13 662	3 928	Высокий
Иммунная система	2,82	3 677	2,81	3 677	0	Допустимый
Системное действие	24,95	594 650	24,68	565 919	28 731	Высокий

Результаты оценки хронического неканцерогенного риска после реализации воздухоохраных мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от объектов теплоэнергетики показали положительную тенденцию снижения уровня хронического риска болезней центральной нервной, кроветворной, сердечно-сосудистой систем, органов дыхания, процессов развития организма (до 1,12–22,6 НIch). Максимальные уровни опасности (НП) снизились незначительно, при этом локально, в районах расположения объектов теплоэнергетики, значения риска снижались до 30,2 раз в отношении хронического неканцерогенного риска нарушений органов дыхания, до 19,1 раз – в отношении иммунной системы, до 2,8 раз – в отношении кроветворной системы. Реализация запланированных мероприятий позволит вывести из зоны повышенного риска в отношении органов дыхания экспонированное население г. Красноярск в количестве порядка 35,24 тыс. человек, кроветворной системы – 16,44 тыс. человек, иммунной системы – 8,35 тыс. человек (Таблица 5.29).

Таблица 5.29 – Уровни хронического неканцерогенного риска после реализации воздухоохраных мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от объектов теплоэнергетики репрезентативной территории

Органы мишени	ДО мероприятий		ПОСЛЕ мероприятий		Численность населения, выведенного из зоны повышенного риска, чел.	Характеристика риска
	Уровень опасности (НП) (максимум)	Численность под воздействием повышенного риска, чел.	Уровень опасности (НП) (максимумы)	Численность под воздействием повышенного риска, чел.		
Центральная нервная система	1,76	4 523	1,12	713	3 810	Допустимый
Органы дыхания	22,65	864 180	22,60	828 934	35 246	Высокий
Печень (органы пищеварения)	0,621	0	0,621	0	0	Минимальный
Влияние на развитие организма	1,67	10 225	1,34	3 498	6 727	Допустимый
Изменения динамики массы тела	8,97E-06	0	8,97E-06	0	0	Минимальный
Кровотворная система	4,47	61 558	2,96	45 117	16 441	Настораживающий
Репродуктивная система	0,046	0	0,046	0	0	Минимальный
Органы зрения	19,04	202 517	19,04	202 517	0	Высокий
Почки	0,020	0	0,028	0	0	Минимальный
Сердечно-сосудистая система	1,35	4 505	1,12	680	3 825	Допустимый
Иммунная система	19,12	237 031	19,12	228 677	8 354	Высокий
Системное действие	0,203	0	0,19	0	0	Минимальный
Нейроэндокринная система	0,0048	0	0,0048	0	0	Минимальный
Красный костный мозг	0,041	0	0,041	0	0	Минимальный
Зубы	0,203	0	0,19	0	0	Минимальный
Периферическая нервная система	0,221	0	0,221	0	0	Минимальный
Костная система	0,0004	0	0,0004	0	0	Минимальный

Таким образом, суммарный уровень канцерогенного риска (CR_T) в зоне жилой застройки репрезентативной территории после реализации воздухоохраных мероприятий по снижению

выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от объектов теплоэнергетики снизится до 1,1 раза и составит $2,29 \cdot 10^{-6} - 3,30 \cdot 10^{-4}$. Превышения уровней канцерогенного риска ($CR > 1 \cdot 10^{-4}$) на репрезентативной территории по формальдегиду сохранятся (до $3,28 \cdot 10^{-4}$).

Максимальные уровни острого неканцерогенного риска снизятся незначительно, при этом локально, в районах расположения объектов теплоэнергетики, значения риска снизятся до 8,8 раз в отношении острого неканцерогенного риска нарушений органов дыхания и системного действия. Ожидаемым результатом реализации намеченных мер станет вывод из зоны высокого риска в зону приемлемого (целевого) риска около 50,85 тыс. человек в отношении заболеваний органов дыхания, системных эффектов, сердечно-сосудистой патологии и нарушений процессов развития организма. Максимальные уровни хронического неканцерогенного риска так же снизятся незначительно, при этом локально, в зонах влияния объектов теплоэнергетики, значения риска в отношении органов дыхания снизятся до 30,2 раза. Реализация запланированных мероприятий позволит вывести экспонированное население репрезентативной территории из зоны повышенного риска в минимальный (целевой) уровень риска в отношении органов дыхания, кроветворной и иммунной систем до 35,24 тыс. человек.

5.4 Гигиеническая оценка заболеваемости, ассоциированной с загрязнением атмосферного воздуха выбросами от объектов теплоэнергетики, с оценкой совокупного причиненного вреда здоровью и его тяжести до и после реализации воздухоохраных мероприятий

Пространственное распределение заболеваемости населения, ассоциированной с загрязнением атмосферного воздуха компонентами выбросов объектов теплоэнергетики до реализации воздухоохраных мероприятий

На основании установленных в ходе исследования высоких уровней экспозиции, их количественных оценок и связанных с ними рисков для здоровья, выполнен расчёт дополнительных (ассоциированных) случаев заболеваний населения на репрезентативной территории [144, 145, 147]. В результате математического моделирования причинно-следственных связей в системе «параметры качества атмосферного воздуха – заболеваемость населения (по данным ТФОМС)» получена 31 достоверная модель причинно-следственных связей, параметризующих негативное влияние 25 веществ (азот (II) оксид, азота диоксид, аммиак, бензол, гидроксибензол, диАлюминий триоксид, дигидросульфид, диЖелезо триоксид, диметилбензол, керосин, марганец и его соединения, медь оксид, метилбензол, никель оксид, пыль неорганическая: 70-20 % SiO_2 , пыль неорганическая: до 20 % SiO_2 , свинец и его

неорганические соединения, сера диоксид, углерод, углерод оксид, формальдегид, фториды газообразные, фториды плохо растворимые, хром, этилбензол) на здоровье экспонированного населения (болезни органов дыхания, глаз, крови, иммунной систем и др.) (см. Приложение В).

В результате расчета показателей и использованием полученных моделей нарушений здоровья населения в виде дополнительных ассоциированных с качеством атмосферного воздуха случаев заболеваний в г. Красноярске при осуществлении деятельности в сфере теплоэнергетики установлено, что уровни экспозиции по верифицированным данным формируют более 87 тыс. дополнительных случаев заболеваний (9 469,7 сл. на 100 тыс. населения), что составляет 3,0 % от всей зафиксированной по данным ТФОМС заболеваемости населения за год (Таблица 5.30, 5.31).

Таблица 5.30 – Уровни формируемой дополнительной ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости населения в результате деятельности объектов теплоэнергетики, в разрезе основных возрастных групп в разрезе классов и нозологических групп, абс. число сл.

Класс / нозологическая группа (код по МКБ-10)	Дети	Подростки	Взрослое трудоспособное население	Взрослое население старше трудоспособного возраста	Все население
D50-D90 Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	7019	909	12	7703	15643
G00-G99 Болезни нервной системы	28	4	124	166	282
H00-H59 Болезни глаза и его придаточного аппарата	474	99	403	530	1505
I00-I99 Болезни системы кровообращения	2	–	0	29	31
J00-J99 Болезни органов дыхания	31643	92	37399	864	69999
Всего заболеваний	39 166	1 104	37 938	9 252	87 460

Таблица 5.31 – Уровни формируемой дополнительной ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости населения в результате деятельности предприятий теплоэнергетики, в разрезе основных возрастных групп в разрезе классов и нозологических групп, сл. на 100 тыс. чел.

Класс / нозологическая группа (код по МКБ-10)	Дети	Подростки	Взрослое трудоспособное население	Взрослое население старше трудоспособного возраста	Все население
1	2	3	4	5	6
D50-D90 Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	4011,2	3283,2	2,6	2988,6	1693,8
G00-G99 Болезни нервной системы	16,0	14,4	26,8	64,4	30,5
H00-H59 Болезни глаза и его придаточного аппарата	270,9	357,6	87,0	205,6	163,0

Продолжение таблицы 5.31

1	2	3	4	5	6
I00-I99 Болезни системы кровообращения	1,1	–	0,0	11,3	3,4
J00-J99 Болезни органов дыхания	18083,1	332,3	8075,1	335,2	7579,3
Всего заболеваний	22 382,2	3 987,6	8 191,5	3 589,6	9 469,7

Значительную часть дополнительных случаев заболеваний среди всего населения, связанных с воздействием объектов теплоэнергетического сектора, составляют патологии органов дыхания, на долю которых приходится около 80,0 % в структуре заболеваемости. Вторую по значимости группу образуют заболевания крови и кроветворных органов, составляющие 17,9 %, а третью – болезни глаза и его придаточного аппарата с показателем 1,7 %. Остальные категории заболеваний в совокупности занимают менее 1 % от общего числа ассоциированных случаев (рисунки 5.9, 5.10).

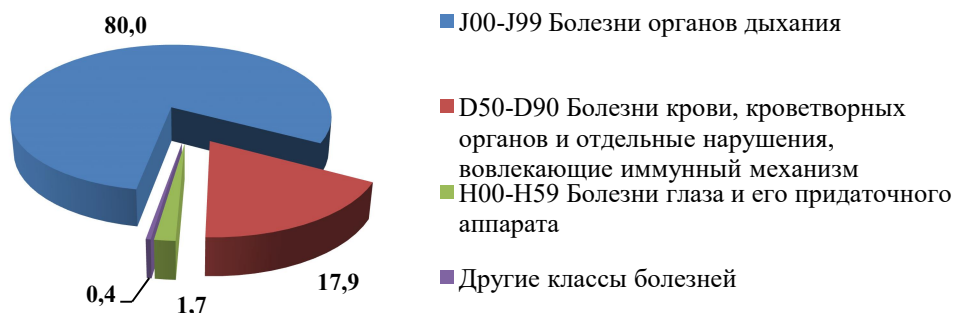


Рисунок 5.9 – Структура классов болезней, ассоциированных с качеством атмосферного воздуха всего населения репрезентативной территории, %

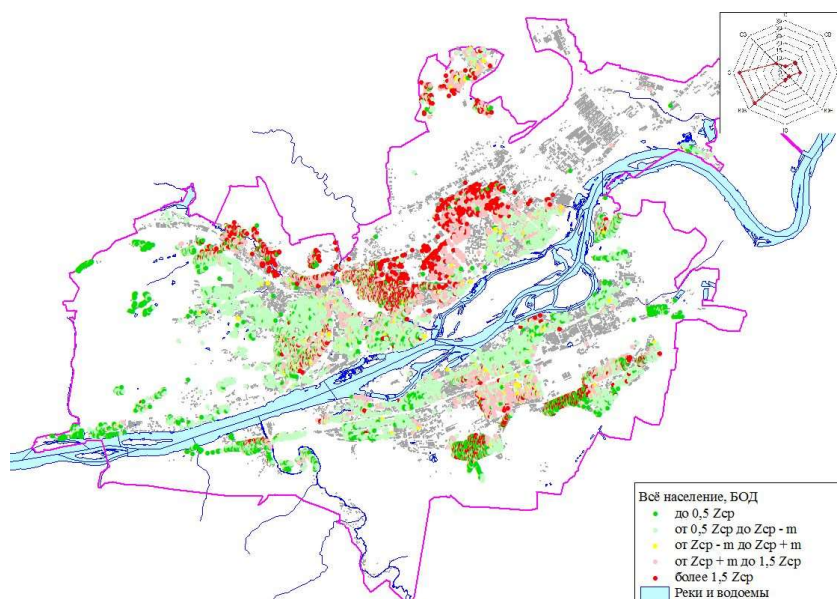


Рисунок 5.10 – Пространственная карта заболеваемости органов дыхания, связанной с качеством атмосферного воздуха, среди всего населения репрезентативной территории, выраженная в количестве случаев на 100 тыс. человек (где Z_{cp} обозначает средний городской уровень ассоциированной заболеваемости, а m – доверительный интервал среднего значения)

Приоритетными факторами, источниками которых являются объекты теплоэнергетики, формирующими наибольшие потери здоровья в виде дополнительных случаев заболеваний всего населения, являлись азота диоксид, дигидросульфид, бензол, диметилбензол, формальдегид, взвешенные вещества, углерод (сажа), углерод оксид и др. с формируемыми вкладами от 1,1 до 95,2 %.

Заболеваемость органов дыхания у всего населения, связанная с загрязнением атмосферного воздуха, обусловленным деятельностью предприятий теплоэнергетического комплекса, вероятно формируется под воздействием таких загрязнителей, как взвешенные вещества, азота диоксид, формальдегид, сера диоксид, дигидросульфид, диметилбензол и другие примеси. В 2022 году число дополнительных случаев заболеваний органов дыхания превысило 69 тысяч, что составляет 7,2 % от общего объема зарегистрированной заболеваемости в соответствующей нозологической категории. В целом, количество дополнительных случаев заболеваний, связанных с загрязнением атмосферного воздуха вследствие деятельности теплоэнергетических предприятий, среди детского населения составило 22 383,3 на 100 тыс. детей. Для взрослого населения трудоспособного возраста аналогичный показатель составил – 8 191,4 дополнительных случаев на 100 тыс. трудоспособного населения, уровень ассоциированной заболеваемости у подростков и населения старшего трудоспособного возраста регистрировался практически на сопоставимом уровне – 3 988,8 и 3 589,6 на 100 тыс. соответственно (Таблица 5.31).

У детского населения преобладали заболевания органов дыхания, составляющие 80,8 % в структуре заболеваемости. Следующими по частоте являются болезни крови и кроветворных органов, на долю которых приходится 17,9 %. Заболевания глаз и придаточного аппарата составляют 1,2 %, тогда как все остальные категории заболеваний в совокупности занимают лишь 0,1 % от общего объема заболеваний.

В результате построения пространственной карты распределения показателей ассоциированной с качеством атмосферного воздуха всей заболеваемости всего населения репрезентативной территории установлено, что болезни органов дыхания у детского населения регистрируются на всей территории города (диффузно) (Рисунок 5.11).

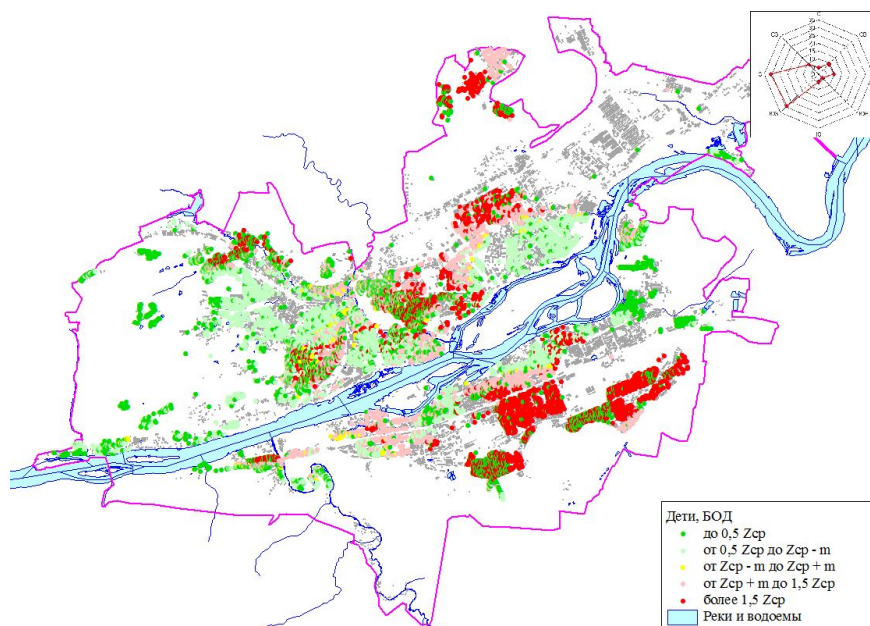


Рисунок 5.11 – Пространственное распределение заболеваемости органов дыхания, ассоциированной с качеством атмосферного воздуха, среди детского населения репрезентативной территории, случаев на 100 тыс. человек (Z_{cp} – среднегородской уровень ассоциированной заболеваемости, m – доверительный интервал среднего значения)

Заболеваемость среди детского населения, ассоциированная с загрязнением атмосферного воздуха вследствие деятельности предприятий теплоэнергетического комплекса, вероятно, связана с воздействием формальдегида, серы диоксида, дигидросульфида, диметилбензола, взвешенными веществами, азота диоксида и др. веществами.

Структура классов болезней, ассоциированных с качеством атмосферного воздуха взрослого трудоспособного населения репрезентативной территории схожа со структурой классов болезней детского населения: основную долю от всех заболеваний занимают болезни органов дыхания (98,6%). Уровень заболеваемости взрослого трудоспособного населения, ассоциированной с загрязнением атмосферного воздуха и формируемой деятельностью объектов теплоэнергетики, с высокой степенью вероятности обусловлен воздействием таких загрязняющих компонентов, как углерод, диметилбензол, формальдегид, взвешенные вещества, ряда других примесей.

Наименьшее количество заболеваний, связанных с загрязнением атмосферного воздуха в результате деятельности теплоэнергетического сектора, зарегистрировано среди подросткового населения и взрослого населения старше трудоспособного возраста, составляя 1,1 тыс. и 9,25 тыс. случаев соответственно.

Структура распределения классов заболеваний характеризуется сходством: лидирующую позицию занимают болезни крови и кроветворных органов как у подростков (82,3 %), так и у взрослого населения старше трудоспособного возраста (83,3 %); на втором месте среди подростков – болезни глаза и его придаточного аппарата (9,0 %), среди лиц старше трудоспособного возраста – болезни органов дыхания (9,3 %); третье место в структуре заболеваемости подростков принадлежит болезням органов дыхания (8,3 %), а у взрослого

населения старше трудоспособного возраста – болезням глаза и его придаточного аппарата (5,7 %) (Рисунок 5.12).

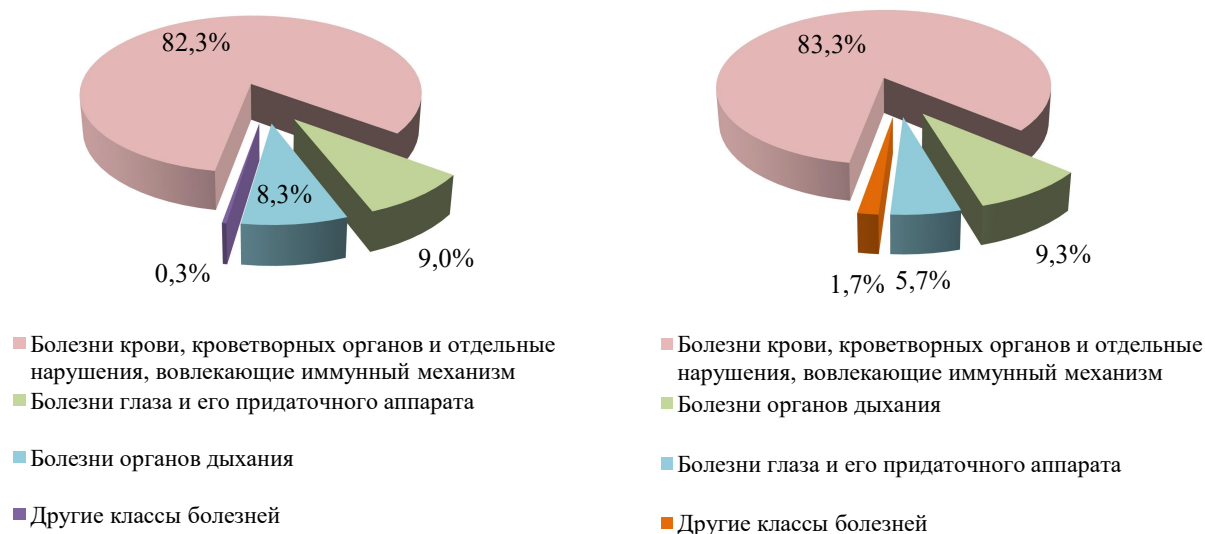


Рисунок 5.12 – Структура классов болезней, ассоциированных с качеством атмосферного воздуха, населения подросткового и старше трудоспособного возраста репрезентативной территории, %:
а) подростковое население, б) взрослое население старше трудоспособного возраста

Заболеваемость подростков, ассоциированная с загрязнением атмосферного воздуха, обусловленным функционированием предприятий теплоэнергетики, вероятно связана с воздействием формальдегида, диметилбензола, дигидросульфида, взвешенных веществ и бензола; вклад этих компонентов в формирование ассоциированной заболеваемости находится в пределах от 0,3 % до 81,1 %. Для взрослого населения старше трудоспособного возраста ассоциированная заболеваемость детерминируется воздействием свинца, диметилбензола, метилбензола, гидроксибензола, азота (II) оксида, хрома и взвешенных веществ, относительный вклад которых варьируется от 0,1 % до 81,8 %.

По результатам оценки показателей нарушений здоровья населения, связанных с загрязнением атмосферного воздуха в результате деятельности объектов теплоэнергетики, формируется около 87 тыс. дополнительных случаев заболеваний (9 469,7 случая на 100 тыс. населения), в том числе более 39 тыс. случаев – среди детского населения (в относительном выражении – 22 383,3 дополнительных случая на 100 тыс. детей). В структуре ассоциированных заболеваний всего населения доминируют болезни органов дыхания (80,0 %); вторую позицию занимают болезни крови и кроветворных органов (17,9 %); третью – болезни глаза и его придаточного аппарата (1,7 %); на долю остальных классов болезней приходится до 1 %.

Оценка реализации ингаляционного риска на основании определения степени тяжести совокупного причиненного вреда здоровью, детерминированного факторами риска, до реализации воздухоохраных мероприятий

Реализация последовательного усовершенствованного алгоритма, представленного в разделе 4.2, позволила установить причинно-следственные связи нарушений здоровья экспонированного детского и взрослого населения по отдельным нозологическим формам с воздействием факторов риска до проведения воздухоохраных мероприятий (Приложение Г). Оценка реализации риска для здоровья в условиях длительного комбинированного аэрогенного воздействия химических веществ выполнялась путем установления степени тяжести совокупного причиненного вреда (R) на репрезентативной территории в зоне влияния ТЭЦ-1 по сравнению с территорией, характеризующейся относительным санитарно-эпидемиологическим благополучием (Рисунок 5.13).

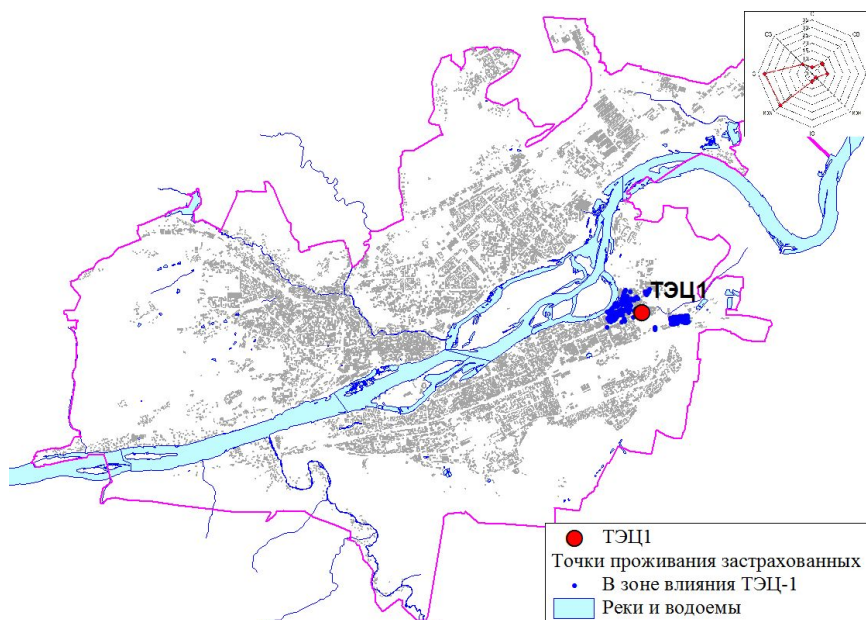


Рисунок 5.13 – Карта-схема расположения ТЭЦ-1 и жилых массивов (точек проживания застрахованных лиц) в зоне наибольшего влияния данного объекта

В результате оценки степени тяжести совокупного причиненного вреда здоровью согласно изложенного в разделе 4.2 алгоритма установлено:

1) У группы экспонированных детей определены три категории степени тяжести совокупного причиненного вреда:

– к *средней степени тяжести* совокупного причиненного вреда относились болезни нервной системы (G20–G26, G50–G59, G80–G83, G90–G99), костно-мышечного аппарата (M80–M94), пищеварения (K35–K38, K50–K52), зрения (H30–H36, H46–H48), развитие новообразований (C69–C72, C81–C96). Значения степени тяжести совокупного причиненного вреда в данной категории варьировались от 0,42 до 0,58;

– к категории *низкой степени тяжести* совокупного причиненного вреда относились заболевания эндокринной (E00–E07, E20–E35, E40–E46, E50–E64, E65–E68, E70–E90), нервной (G35–G37, G40–G47, G70–G73), костно-мышечной (M00–M25, M30–M36), мочеполовой систем (N10–N16, N17–N19, N25–N29, N40–N51, N60–N64, N70–N77, N80–N98), органов дыхания (J40–J47), пищеварения (K20–K31, K55–K63), кожи (L40–L45), зрения (H15–H22) и другие органы и системы. Значения степени тяжести совокупного причиненного вреда в данной группе находились в диапазоне от 0,21 до 0,39;

– *пренебрежимо малая степень тяжести* совокупного причиненного вреда характерна для болезней эндокринной (E10–E14, E15–E16), костно-мышечной (M40–M54, M60–M79) систем, системы кровообращения (I10–I15, I26–I28, I80–I89), органов дыхания (J10–J18, J20–J22, J30–J39, J60–J70, J85–J86), пищеварения (K40–K46, K65–K67, K80–K87), кожи (L00–L08, L20–L30, L50–L54, L60–L75, L80–L99), зрения (H00–H06, H10–H13, H40–H42, H43–H45, H49–H52, H53–H54, H55–H59), слуха (H60–H62, H65–H75, H80–H83, H90–H95) и др. заболеваний, при этом степень тяжести совокупного причиненного вреда составляла от 0,0 до 0,20.

2) У взрослой экспонированной группы выявлено четыре степени тяжести совокупного причиненного вреда:

– *высокая степень тяжести* совокупного причиненного вреда наблюдалась в отношении болезней нервной (G35–G37) и мочеполовой систем (N17–N19), злокачественных новообразований (C00–C14, C15–C26, C30–C39, C43–C44, C50–C50, C51–C58, C64–C68, C73–C75, C76–C80, C81–C96, C97–C97). Значения степени тяжести совокупного причиненного вреда в данной группе варьировались от 0,61 до 0,69;

– *средняя степень тяжести* совокупного причиненного вреда характерна для болезней системы кровообращения (I26–I28, I30–I52), нервной (G10–G13, G30–G32, G40–G47, G50–G59, G60–G64, G70–G73, G80–G83, G90–G99) и костно-мышечной (M00–M25, M30–M36, M80–M94) систем, органов дыхания (J85–J86, J90–J94), пищеварения (K20–K31, K35–K38, K50–K52, K65–K67, K70–K77, K90–K93), кожи (L40–L45), органов зрения (H15–H22, H25–H28, H30–H36, H40–H42, H43–H45, H46–H48) и слуха (H80–H83), у новообразований (C45–C49, C60–C63). Значения степени тяжести совокупного причиненного вреда в этой категории варьировались в диапазоне от 0,41 до 0,59;

– *низкая степень тяжести* совокупного причиненного вреда фиксировалась в отношении заболеваний эндокринной (E00–E07, E20–E35, E40–E46, E65–E68, E70–E90) и мочеполовой (N00–N08, N10–N16, N20–N23, N25–N29, N30–N39, N40–N51, N60–N64, N70–N77, N80–N98, N99–N99) систем, системы кровообращения (I20–I25, I70–I79, I95–I99), органов дыхания (J40–J47) и пищеварения (K55–K63) и др. органов и систем. Значения степени тяжести совокупного причиненного вреда для данной категории составляли от 0,21 до 0,40;

– *пренебрежимо малая степень тяжести* совокупного причиненного вреда формировалась в отношении болезней системы кровообращения (I05–I09, I10–I15, I80–I89),

костно-мышечной системы (M40–M54, M60–M79, M95–M99), органов дыхания (J10–J18, J20–J22, J30–J39, J80–J84), пищеварения (K00–K14, K40–K46, K80–K87), кожи (L00–L08, L20–L30, L50–L54, L55–L59, L60–L75, L80–L99), органов зрения (H00–H06, H10–H13, H49–H52, H55–H59) и слуха (H60–H62, H65–H75, H90–H95) и др. заболеваний. Диапазон значений степени тяжести совокупного причиненного вреда для данной категории составлял от 0,0 до 0,19.

Наибольший вклад (превышающий 10 %) в величину совокупного причиненного вреда здоровью, рассчитанного на основании установленных степеней тяжести этого вреда, учитывая спектр выявленных нозологических форм (групп) заболеваний в каждом классе болезней, вносили:

- у детей: болезни органов пищеварения (49,3 %), нервной системы (13,2 %);
- у взрослых: болезни системы кровообращения (19,7 %), мочеполовой системы (15,8 %), органов дыхания (12,4 %), новообразования (11,8 %), заболевания опорно-двигательного аппарата (11,0 %).

Совокупный вред здоровью, характеризующийся высокой и средней степенью тяжести, выявлен у 2,9 тыс. взрослых из числа экспонированного населения (что составляет 12,1 % от общего количества экспонированных лиц, проживающих в зоне максимального воздействия ТЭЦ-1), у 1,1 тыс. детей (16 %). Основными факторами формирования совокупного причиненного вреда здоровью у детей и взрослых являются одновременно воздействующие 9 химических веществ: взвешенные вещества, соединения марганца, азота диоксид, бензол, бенз(а)пирен, формальдегид, соединения никеля, дигидросульфид, медь оксид.

Исходя из критериев совокупного вреда здоровью, перечисленные химические соединения подлежат обязательному регулированию при разработке и осуществлении мероприятий по охране атмосферного воздуха, при этом требуется дальнейшее снижение их содержания в выбросах объектов теплоэнергетики.

Таким образом, совокупный причиненный вред здоровью высокой и средней степени тяжести установлен у 2,9 тыс. экспонированных взрослых (12,1 % от всех экспонированных, проживающих в зоне наибольшего влияния ТЭЦ-1) в виде заболеваний системы кровообращения, нервной, мочеполовой, костно-мышечной системам, болезням органов дыхания, пищеварения, кожи, зрения, слуха, новообразованиям (степень тяжести совокупного причиненного вреда 0,41 – 0,69); у 1,1 тыс. детей (16 %) – в виде болезней нервной, костно-мышечной систем, органов дыхания, пищеварения, зрения, новообразований (степень тяжести совокупного причиненного вреда 0,42 – 0,58). Факторами причинения совокупного вреда здоровью взрослых и детей являются одновременно воздействующие 9 химических веществ: взвешенные вещества, соединения марганца, азота диоксид, бензол, бенз(а)пирен, формальдегид, соединения никеля, дигидросульфид, медь оксид.

Гигиенический анализ закономерностей распределения твердых частиц микроразмерного диапазона в дыхательных путях человека

Согласно полученным данным, в структуре ассоциированной заболеваемости, формируемой выбросами от объектов теплоэнергетики, приоритетное положение заняли болезни органов дыхания. Углублённый анализ показал, что нозологические группы данного класса регистрировались у взрослого населения преимущественно средней степени тяжести и этиологически связаны с воздействием взвешенных веществ, представленных суммой твердых частиц, разнородных по составу, размеру и форме. В связи с этим целесообразным является изучение закономерностей распределения указанных частиц при поступлении в дыхательный тракт, оценка их способности к задержке и накоплению в биологических средах. Детальное исследование процессов оседания частиц позволит более точно оценить риск для здоровья и разработать эффективные меры по снижению негативного воздействия выбросов теплоэнергетики на различные органы и системы организма.

Исследование смывов из начального отдела воздухоносных путей – носовой полости – в холодный и теплый периоды года показало преобладание крупных частиц с диаметром более 10 мкм, доля которых колебалась в пределах 60,3–71,4 % от общего числа частиц. При этом в холодный сезон зафиксировано присутствие частиц размером менее 1,5 мкм в количестве до 19,5 % (Рисунок 5.14 а). По мере продвижения ингалируемого воздуха по респираторному тракту выявлено закономерное снижение содержания крупных частиц при одновременном росте доли мелкодисперсных фракций. Так, в носоглотке доля частиц свыше 10 мкм составляла 24,5 % в холодный период, снижаясь до 3,3 % в теплый, тогда как содержание частиц до 3,5 мкм увеличивалось с 46,7 % в холодное время до 63,3 % в теплый период, причем удельный вес частиц менее 1,5 мкм в теплый сезон достигал 24,9 % (Рисунок 5.14 б). В верхних отделах дыхательного тракта преимущественно определялись соединения алюминия, кремния, железа, натрия, кальция, калия, серы, магния и фосфора. В средних и нижних отделах бронхиального дерева фиксировались кремний, сера, кальций, алюминий, железо и натрий. Доля крупных частиц (> 10 мкм) варьировала в холодный сезон от 7,4 % до 13,5 %, тогда как в тёплый период колебалась в диапазоне 5,0–20,2 %. При этом мелкодисперсные частицы с диаметром менее 1,5 мкм преимущественно проникали в нижние дыхательные пути (Рисунок 5.14 в, г). В пробах мокроты, полученных методом стимулированного откашливания и отражающих процесс осаждения частиц в нижних дыхательных путях (Рисунок 5.14 г), доля частиц размером менее 1,5 мкм в холодный период достигала 46,7 %, тогда как в тёплое время года преобладали частицы диаметром до 2,5 мкм, составлявшие 59,3 %.

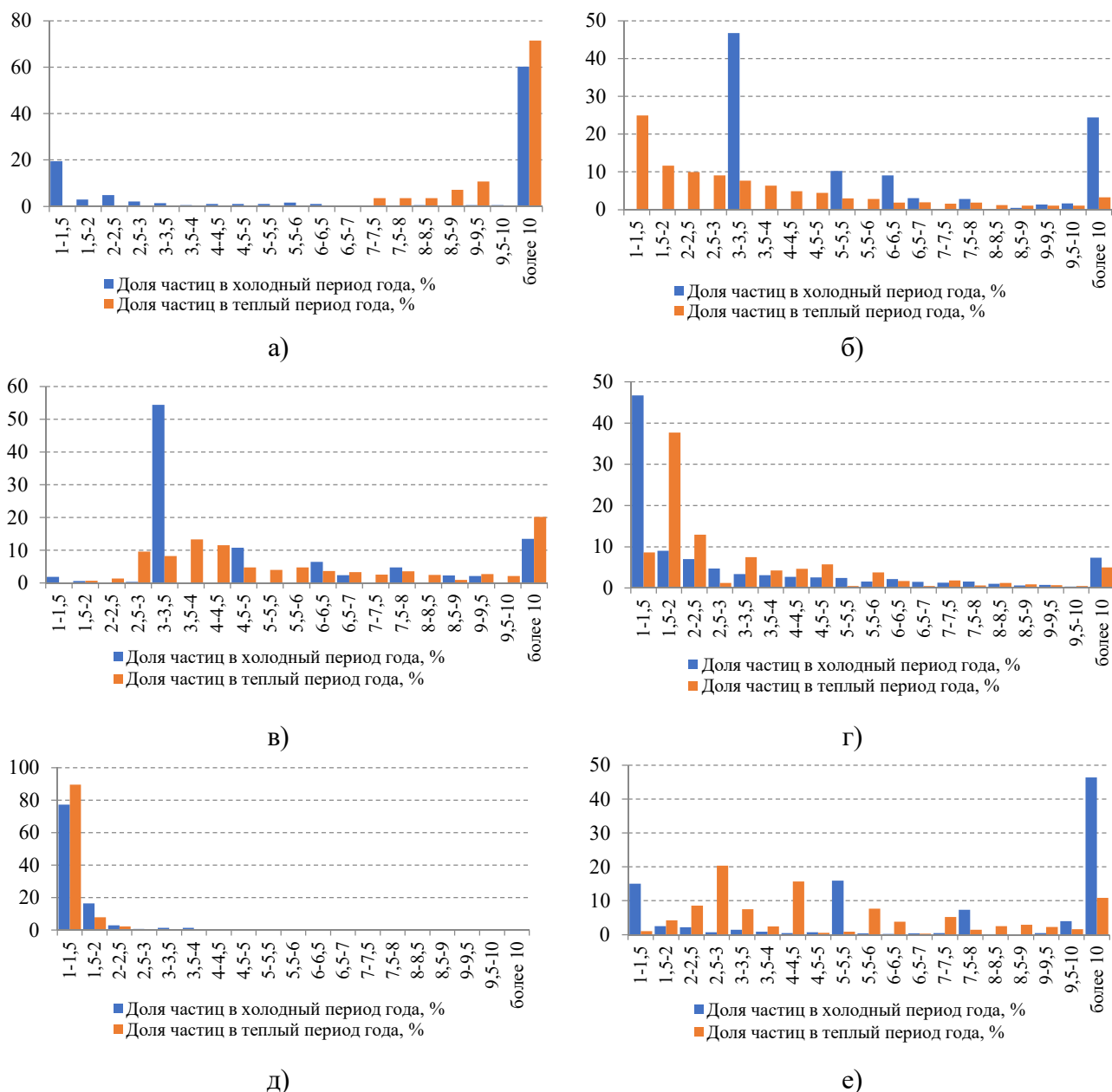


Рисунок 5.14 – Характеристики дисперсного состава частиц, осаждающихся в различных сегментах дыхательных путей в холодный и тёплый сезоны года: а) смыв из носовых ходов, б) мазок из носоглотки, в) мокрота средних дыхательных путей, г) мокрота нижних дыхательных путей, д) кровь, е) выдыхаемый воздух

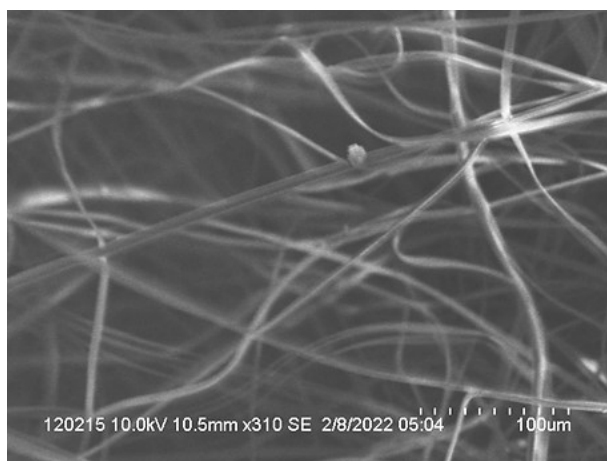
Анализ результатов электронной микроскопии мазков крови, направленный на установление дисперсного распределения твёрдых частиц, выявил, что у лиц, проживающих в зоне влияния теплоэнергетических предприятий, доминируют фракции с размерами менее 2,5 мкм. Их относительная доля в холодный и тёплый периоды колебалась в пределах от 96,4 % до 99,7 %, при этом частицы размером менее 1,5 мкм составляли от 77,1 % до 89,5 %. При этом статистически значимые различия в структуре распределения твёрдых частиц в биологических субстратах крови между холодным и тёплым сезонами не выявлены.

В крови обследуемых, постоянно проживающих в зоне влияния теплоэнергетических предприятий, зафиксировано высокое содержание твердых частиц с коэффициентом сферичности

в диапазоне 0,6–1,0, доля которых достигала 99–100 %. При этом частицы, характеризующиеся максимально округлой формой (сферичность 0,9–1,0), составляли до 84,6 %.

В зоне воздействия теплоэнергетических объектов доля частиц с коэффициентом сферичности в диапазоне 0,6–1,0 оставалась на высоком уровне при движении вдыхаемого воздуха по дыхательным путям в холодный период года, варьируя от 70,7 % до 100 %. Данное наблюдение поддерживает гипотезу о более глубоком проникновении твёрдых частиц округлой формы в дыхательные пути. В тёплый сезон отмечается неоднородное увеличение доли частиц с высокой сферичностью (0,6–1,0) по различным отделам дыхательной системы: в верхних и средних отделах преимущественно осаждаются частицы с неровной поверхностью и сферичностью до 0,6 (в диапазоне 47,5–55,4 %), тогда как в нижних отделах преобладают более округлые частицы, доля которых достигает 77,4 %.

Сравнительный анализ компонентного состава выдыхаемого воздуха в исследуемой зоне в холодный и тёплый сезоны показал незначительные отличия от характеристик вдыхаемого атмосферного воздуха. Основу твердых частиц по-прежнему формировали соединения кремния, натрия, железа, кальция, калия, серы, магния, алюминия и фосфора. При этом концентрация частиц в выдыхаемом воздухе снижалась более чем на 50 % – до 11,4–19,6 %, что объясняется их депонированием в различных отделах респираторного тракта. Для наглядности представлены микрофотографии поверхности фильтра, содержащего твердые частицы, идентифицированные во вдыхаемом (атмосферном) и выдыхаемом воздухе (Рисунок 5.15).



а)



б)

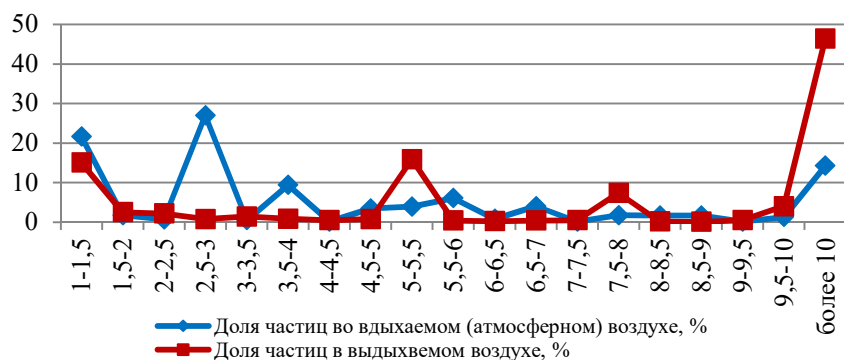
Рисунок 5.15 – Микрофотографии поверхности фильтров, содержащих твердые частицы: а) частицы, выявленные во вдыхаемом воздухе, б) частицы, выявленные в выдыхаемом воздухе

Результаты экспериментального исследования дисперсного состава вдыхаемого (атмосферного) и выдыхаемого воздуха в зоне воздействия объектов теплоэнергетики в различные сезоны года представлены на рисунке 5.16. Сравнительный анализ твёрдых фракций вдыхаемого и выдыхаемого воздуха показал значимые различия в дисперсном составе частиц между холодным и тёплым периодами года. Данные вариации обусловлены физиологическими

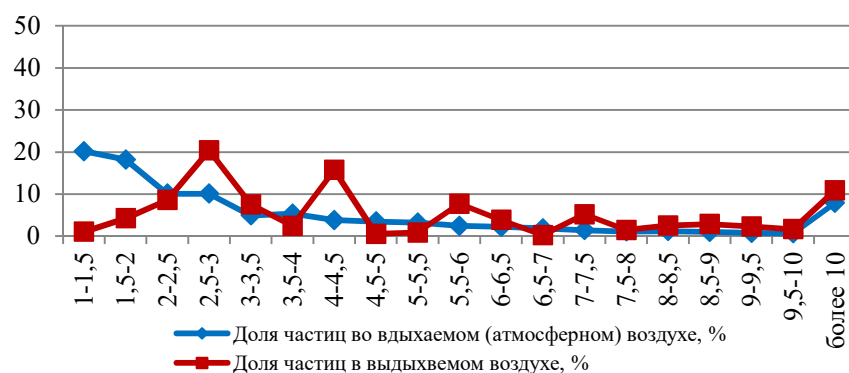
механизмами неравномерного осаждения твёрдых частиц в различных отделах дыхательной системы, что приводит к перераспределению их фракционной структуры.

В холодный сезон в выдыхаемом воздухе наблюдается смещение пика распределения в сторону более крупных частиц – доля частиц с диаметром свыше 10 мкм достигает 46,4 %, в то время как во вдыхаемом воздухе доминируют мелкодисперсные фракции, причём частицы размером менее 2,5 мкм составляют 24,1 % (Рисунок 5.16 а). В тёплый период отмечается обратная тенденция: как во вдыхаемом, так и в выдыхаемом воздухе содержание крупных частиц (> 10 мкм) колеблется в пределах 7,9–10,9 %, тогда как доля мелкодисперсных частиц (< 2,5 мкм) варьирует от 13,8 % до 48,5 %. (Рисунок 5.16 б).

Морфологический анализ твёрдых частиц, обнаруженных в выдыхаемом воздухе, показал, что в зимний период около 50,0 % частиц характеризуются высокой степенью округлости с коэффициентом сферичности в интервале от 0,9 до 1,0. В весенний сезон доля таких частиц существенно возрастает, достигая 72,3 %.



а)



б)

Рисунок 5.16 – Дисперсное распределение частиц в атмосферном (вдыхаемом) и выдыхаемом воздухе в районе воздействия теплоэнергетических предприятий в исследуемые временные интервалы (февраль и май 2022 года): а) холодный период года, б) теплый период года

Исследование дисперсного состава твёрдых частиц в образцах крови обследуемых лиц выполнено с использованием электронной микроскопии. Выявлено преобладание фракций с размером менее 2,5 мкм в холодный и тёплый периоды года, при этом их доля колебалась от 96,4 % до 99,7 %. Частицы размером менее 1,5 мкм составляли от 77,1 % до 89,5 %.

Статистически значимых различий в распределении твёрдых частиц в образцах крови между холодным и тёплым сезонами не установлено.

В крови обследуемых лиц, проживающих в зоне максимальной экспозиции объектов теплоэнергетики, выявлено высокое содержание частиц с коэффициентом сферичности в интервале 0,7–1,0, доля которых достигала 100 % в оба периода. При этом частицы с наиболее выраженной округлой формой (сферичность 0,9–1,0) составляли от 83,5 до 84,6 %.

Таким образом, результаты исследования демонстрируют, что оседание микроскопических частиц (менее 2,5 мкм) в различных участках дыхательной системы неоднородно. Более 65 % обнаруженных осевших частиц в верхних дыхательных путях имели диаметр более 10 мкм. В верхних отделах дыхательного тракта в основном определялись соединения кремния, натрия, железа, кальция, калия, серы, магния, алюминия, фосфора. При перемещении вдыхаемого воздуха через воздухоносные пути фиксировалось последовательное сокращение доли крупнодисперсных частиц и пропорциональное повышение удельного веса мелких фракций. В мокроте средних и нижних дыхательных путей содержались кремний, сера, кальций, алюминий, железо и натрий, более 60 % частиц имели размер 2,5 мкм и менее, 46,7 % частиц имели размер 1,5 мкм или меньше. В процессе продвижения вдыхаемого воздуха по респираторному тракту удельный вес частиц со сферичностью 0,6–1,0 сохранялся на уровне от 70,7 до 100 %, что свидетельствует в пользу гипотезы о более глубокой инвазии твердых частиц, характеризующихся большей округлостью, в дыхательные пути. В нижних отделах дыхательного тракта преобладали частицы более округлой формы (коэффициент сферичности более 0,7) и составляли 77,4 %. Исследование мазков крови показало, что в крови преобладают частицы размером менее 1,5 мкм (до 89,5 %), большинство из этих частиц (до 100 %) имеют максимально-округлую форму (сферичность 0,9–1,0). В выдыхаемом воздухе в отличие от вдыхаемого воздуха основными компонентами являлись соединения кремния, натрия, железа, кальция, калия, серы, магния, алюминия, фосфора, максимум распределения приходился на более крупные частицы (частицы более 10 мкм – 10,9–46,4 %) округлой формы (коэффициент сферичности от 0,9 до 1,0) – 50,0 %.

Пространственное распределение заболеваемости населения, ассоциированной с загрязнением атмосферного воздуха компонентами выбросов объектов теплоэнергетики (прогнозно после внедрения воздухоохраных мероприятий)

В результате внедрения воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики прогнозируется снижение заболеваемости, связанной с качеством атмосферного воздуха, среди населения репрезентативной территории на 18,8 %. Это снижение эквивалентно уменьшению числа дополнительных случаев заболеваний на 16,48 тыс., при этом общее количество таких случаев ожидается на уровне 70,97 тыс. (Таблица 5.32).

Таблица 5.32 – Количество случаев заболеваний, ассоциированных с загрязнением атмосферного воздуха выбросами объектов теплоэнергетики, у всего населения репрезентативной территории после реализации мероприятий по сокращению выбросов

Класс нозологий	Уровень ассоциированной заболеваемости ДО мероприятий, сл.	Уровень ассоциированной заболеваемости ПОСЛЕ мероприятий, сл.	Разность до и после мероприятий, кол-во случаев
Болезни глаза и его придаточного аппарата	1505	1510	0
Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	15 643	15 545	98
Болезни нервной системы	282	282	0
Болезни органов дыхания	69 999	53 615	16384
Болезни системы кровообращения	31	30	1
Итого:	87 460	70 975	16 483

Сокращение общего числа случаев заболеваемости, ассоциированной с воздействием факторов атмосферного воздуха, обусловлено преимущественно уменьшением заболеваемости среди взрослого трудоспособного населения, для которого прогнозируется снижение на 11,81 тыс. случаев, что соответствует показателю 26,11 тыс. случаев на 100 тысяч лиц данной возрастной группы. В детской популяции ожидается снижение ассоциированной заболеваемости на 4,5 тыс. случаев, что соответствует 34,66 тыс. случаев на 100 тысяч детей.

Структура классов заболеваний всего населения останется неизменной: на первом месте – болезни органов дыхания (75,5%), далее идут болезни пищеварительной системы (21,9%), болезни органов зрения (1,3%). Болезни мочеполовой, нервной и эндокринной систем составляют 1,3%. Пространственное распределение ассоциированных случаев заболеваний всего населения болезнями органов дыхания представлено на Рисунке 5.17.

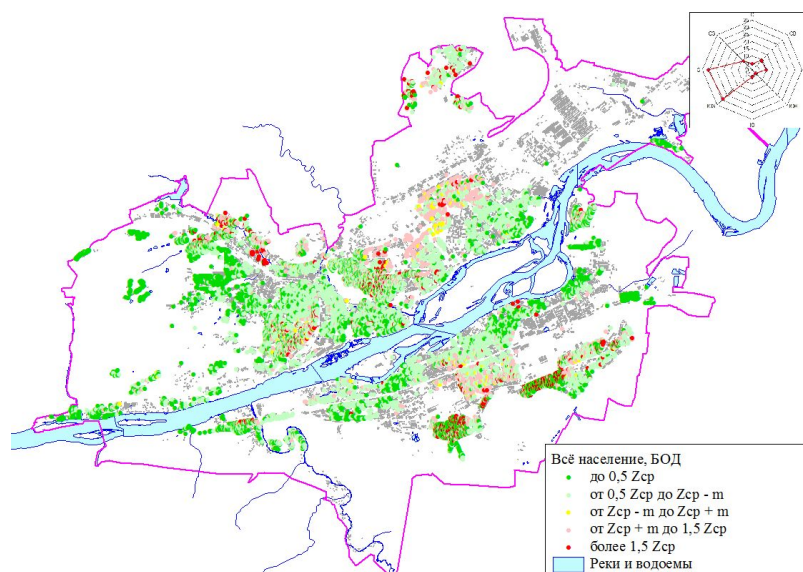


Рисунок 5.17 – Карта-схема – Пространственная модель распределения показателей ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости всего населения репрезентативной территории болезнями органов дыхания после реализации воздухоохраных мероприятий, сл./100 тыс. чел.

В структуре заболеваемости детского населения преобладают патологии органов дыхания, составляющие 78,4 % от общего числа случаев. На втором месте по частоте выявляются заболевания пищеварительной системы, доля которых составляет 20,1 %, тогда как патологии органов зрения занимают третью позицию с показателем 1,3 %. Приоритетный класс в общей структуре ассоциированной заболеваемости среди взрослого трудоспособного населения занимают – болезни органов дыхания (97,9 %). Среди подросткового населения приоритетные места по количеству ассоциированных с качеством атмосферного воздуха нарушений здоровья занимают: болезни органов пищеварения (82,3 %), болезни органов зрения (9,0 %), болезни органов дыхания (8,4 %); среди взрослого населения старше трудоспособного возраста приоритетные места по количеству ассоциированных с качеством атмосферного воздуха нарушений здоровья занимают: болезни органов пищеварения (84,2 %), болезни органов дыхания (8,3 %), болезни органов зрения (3,3 %).

Таким образом, реализация воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики позволит снизить количество ассоциированных случаев заболеваемости на 18,8 % (на 16 483 дополнительных случая заболеваний). Приоритетными классами болезней останутся болезни органов дыхания, пищеварительной системы, органов зрения.

5.5 Оценка экономического ущерба, обусловленного возникновением дополнительных случаев заболеваемости населения, ассоциированных с загрязнением атмосферного воздуха компонентами выбросов объектов теплоэнергетики (до и после проведения воздухоохраных мероприятий)

Оценка причинённого вреда здоровью, связанного с хозяйственной деятельностью субъектов теплоэнергетического сектора (в виде 87,46 тыс. дополнительных случаев заболеваний), позволила количественно определить ущерб, обусловленный возникновением избыточной заболеваемости среди детского и взрослого населения (таблица 5.33).

Таблица 5.33 – Показатели экономического ущерба, обусловленного хозяйственной деятельностью субъектов в сфере теплоэнергетики и теплоснабжения, в том числе АИТ, млн рублей в год

Класс болезней	Экономические потери (от недопроизведенного ВВП), млн руб.		
	детское население	взрослое население трудоспособного возраста	взрослое население старшего трудоспособного возраста
1	2	3	4
D50-D90 Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	0,4	0,0	0,2
E00-E90 Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	0,8	0,2	0,0

Продолжение таблицы 5.33

1	2	3	4
G00-G99 Болезни нервной системы	2,3	0,0	1,3
H00-H59 Болезни глаза и его придаточного аппарата	13,9	5,2	0,8
I00-I99 Болезни системы кровообращения	0,70	0,0	0,0
J00-J99 Болезни органов дыхания	400,6	3,2	248,2
K00-K93 Болезни органов пищеварения	279,5	48,8	0,0
M00-M99 Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	0,04	0,0	0,0
N00-N99 Болезни мочеполовой системы	4,0	0,0	2,7
Q00-Q99 Врожденные аномалии [пороки развития], деформации и хромосомные нарушения	0,0	0,0	0,0
Всего:	702,3	57,4	253,2

Результаты расчета экономических потерь, обусловленных формированием 87 тыс., ассоциированных с качеством атмосферного воздуха в результате выбросов от объектов ТЭК, случаев заболеваемости детского и взрослого населения показали, что экономические потери в виде недопроизведенного валового внутреннего продукта составляют порядка 1 012,9 млн руб. в год, из них максимальные значения экономического ущерба среди детского населения и населения старшего трудоспособного возраста формировались болезнями органов дыхания (400,6 и 248,2 млн руб. в год), среди взрослого трудоспособного населения – болезни органов пищеварения (48,8 млн руб. в год).

Внедрение воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики позволит прогнозно снизить дополнительную заболеваемость на 18,8 % (16,4 тыс. случаев), болезни органов дыхания останутся доминирующими (75,5 %). Однако прогнозируемое снижение экономического ущерба является недостаточным – потери сохранятся на значительном уровне в 820,8 млн рублей в год.

5.6 Обоснование уровня безопасного содержания микроразмерных твердых частиц РМ1 в атмосферном воздухе

В ходе исследования проведена углублённая оценка состава взвешенных веществ, включающая расшифровку компонентного, дисперсного и морфологического профиля твёрдых частиц (Глава 2). Установлено, что в структуре взвешенных частиц преобладают микроразмерные фракции диаметром от 1,0 до 3,0 мкм, доля которых составляет от 51,1 до 58,6 %. При этом около 30,0 % частиц обладают высокой степенью сферичности (0,9–1,0). Выявленные особенности дисперсного и морфологического состава обусловили необходимость обоснования безопасного уровня содержания частиц РМ1 в атмосферном воздухе.

На основе анализа 68 научных публикаций и проведенного мета-анализа отобраны исследования, посвященные влиянию взвешенных частиц PM₁ на здоровье. Для комплексной оценки отобраны 21 полнотекстовая публикация, находящаяся в открытом доступе. После детального изучения дизайна и исходных данных, для дальнейшей работы отобрано 6 исследований (Zhang et al., 2021 [199]; Wang et al., 2021 [174]; Zhang et al., 2020 [250]; Yu et al., 2020 [231]; Luong et al., 2016 [256]; Michaud et al., 2004 [230]), опубликованных в период с 2004 по 2021 год (Таблица 5.34).

Все отобранные исследования относились к эпидемиологическим. В них рассмотрено применение различных методов: поперечного (Zhang et al., 2021 и Yu et al., 2020), перекрестного (Zhang et al., 2020 и Luong et al., 2016) и исследование временных рядов (Michaud et al., 2004 и Wang et al., 2021). Объем выборки в рассматриваемых исследованиях варьировал от 4 339 до 59 754 участников, что обусловлено различной продолжительностью наблюдения, составлявшей от двух до шести лет. Данный масштаб исследований считался достаточным для обоснования среднегодового гигиенического нормативного показателя. Помимо этого, исследования отличались по длительности воздействия взвешенных частиц PM₁: в большинстве работ (Zhang et al., 2020; Michaud et al., 2004; Wang et al., 2021; Luong et al., 2016) экспозиция была кратковременной, тогда как в двух других исследованиях (Zhang et al., 2021; Yu et al., 2020) воздействие носило хронический характер.

При определении безопасного уровня химического вещества при длительном ингаляционном воздействии предпочтение отдается данным о хронической экспозиции, поскольку в этом случае применяется меньший модифицирующий фактор (равный 1). Это способствует повышению достоверности разрабатываемого нормативного показателя по сравнению с нормативами, основанными на данных о кратковременном воздействии.

В подавляющем большинстве рассмотренных исследований негативные эффекты воздействия взвешенных частиц PM₁ зарегистрированы преимущественно у наиболее уязвимых категорий населения – детей и подростков в возрасте от рождения до 17 лет (Zhang et al., 2021; Yu et al., 2020; Wang et al., 2021; Luong et al., 2016). Наибольшая неопределенность по этому показателю отмечена в работе Michaud et al., 2004, где не указана возрастная дифференциация населения, подвергшегося воздействию. В исследовании Zhang et al., 2020 рассматривалось воздействие на всё население в целом.

Таблица 5.34 – Основные характеристики дизайна исследований, включенных в процедуру обоснования безопасной концентрации взвешенных частиц PM₁ в атмосферном воздухе

Элемент дизайна	Zhang et al., 2021	Zhang et al., 2020	Yu et al., 2020	Michaud et al., 2004	Wang et al., 2021	Luong et al., 2016
Дизайн исследования	Эпидемиологическое исследование Epidemiological study					
	Поперечное	Кроссовер (перекрестное)	Поперечное	Исследование временных рядов	Исследование временных рядов	Кроссовер (перекрестное)
Численность группы наблюдения (человек)	5 788	6 078	59 754	4 339	15 683	8 934
Категория группы наблюдения	Дети-дошкольники (3-5 лет)	Все население	Дети и подростки (2-17 лет). Средний возраст 10 лет	Не указано	Дети и подростки (0-17 лет)	Дети (0-5 лет)
Вид экспозиции	Ингаляционный					
Длительность экспозиции	Хроническая	Кратковременная	Хроническая	Кратковременная	Кратковременная	Кратковременная
Период исследования (годы)	2014-2018 (6 лет)	2015-2016 (2 года)	2009-2012 (4 года)	1997-2001 (5 лет)	2016-2018 (3 года)	2010-2011 (2 года)
Характеристика экспозиции	Средняя месячная концентрация 0,0425 мг/м ³ (диапазон 0,0251- 0,0686 мг/м ³)	Средняя суточная концентрация 0,019 мг/м ³ (диапазон 0,0121 до 0,082,9 мг/м ³)	Средняя суточная концентрация 0,0449 мг/м ³	Средняя суточная концентрация – 0,00191 мг/м ³	10 мониторинговых станций. Средняя суточная концентрация – 0,031 мг/м ³	Средняя суточная концентрация – 0,054 мг/м ³ (диапазон 0,011 – 0,177 мг/м ³)
Наблюдаемый неблагоприятный эффект	Астма	– астма – пневмония – ХОБЛ	Астма	Астма	Пневмония	Другие респираторные заболевания
Система органов, соответствующая неблагоприятному эффекту	Органы дыхания					
Отправная точка и её величина (мг/м ³)	LOAEL = 0,0251	LOAEL = 0,0121	LOAEL = 0,0449	LOAEL = 0,00191	LOAEL = 0,031	LOAEL = 0,011

Оценка ответов со стороны здоровья проводилась на основе таких показателей, как заболеваемость, уровень госпитализаций, распространённость заболеваний, количество вызовов скорой медицинской помощи и госпитальных приёмов. Зарегистрированные неблагоприятные эффекты связаны с заболеваниями органов дыхания (кодировка J00–J99) и включали астму (Zhang et al., 2021; Zhang et al., 2020; Yu et al., 2020; Michaud et al., 2004), пневмонию (Wang et al., 2021; Zhang et al., 2020), прочие респираторные патологии (Zhang et al., 2020; Luong et al., 2016) и хроническую обструктивную болезнь лёгких (Zhang et al., 2020).

Во всех рассмотренных исследованиях исходной точкой для определения уровня воздействия служил показатель LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level) – минимальный уровень воздействия, при котором фиксируется неблагоприятный эффект. Значения LOAEL колебались в диапазоне от 0,00191 мг/м³ (Michaud et al., 2004) до 0,0449 мг/м³ (Yu et al., 2020).

На основании экспертной оценки качественных и количественных параметров дизайна исследований, для дальнейшего обоснования безопасного уровня PM1 в атмосферном воздухе отобраны две работы – Zhang et al., 2021 и Yu et al., 2020. В этих исследованиях установлены значения модифицирующих факторов и рассчитан совокупный фактор неопределенности (Таблица 5.35).

Таблица 5.35 – Определение величины совокупного (комплексного) фактора неопределенности исследований

Показатель	Zhang et al., 2021	Yu et al., 2020
Отправная точка (мг/м ³)	LOAEL = 0,0251	LOAEL = 0,0449
Факторы неопределенности (модифицирующий фактор)	1) Межвидовая экстраполяция – 1 2) Внутривидовая экстраполяция – 1 3) Управляемость режима – 2 4) Отправная точка – 6 5) Объем исходных данных – 1 6) Длительность экспозиции – 1	1) Межвидовая экстраполяция – 1 2) Внутривидовая экстраполяция – 1 3) Управляемость режима – 4 4) Отправная точка – 6 5) Объем исходных данных – 1 6) Длительность экспозиции – 1
Совокупный (комплексный) фактор неопределенности	12	24
Расчетная величина безопасного уровня	0,002 мг/м ³ 0,002 mg/m ³	0,002 мг/м ³ 0,002 mg/m ³

Поскольку рассматриваемые исследования носили эпидемиологический характер и направлены на изучение хронического влияния взвешенных частиц PM1 на детское население через ингаляционный путь, значения модифицирующих факторов, учитывающих межвидовые и внутривидовые различия, длительность экспозиции, принимались минимальными и равными единице для каждого параметра.

Экспертная оценка признала объём исходных данных в представленных исследованиях достаточным для обоснования безопасного уровня концентрации PM₁ в атмосферном воздухе, вследствие чего соответствующий модифицирующий коэффициент установлен равным 1.

Общим для обоих исследований служил выбор LOAEL в качестве отправной точки, что обусловило значение модифицирующего фактора, равное 6. Важным различием являлась разница в величине LOAEL. В работе Yu et al. (2020) значение LOAEL почти вдвое выше, чем в работе Zhang et al. (2021). На этом основании модифицирующий фактор, учитывающий управляемость режима и соответствие концентрации реальным уровням воздействия, составил 2 для Zhang et al. (2021) и 4 для Yu et al. (2020).

В результате расчетов получены следующие значения совокупного фактора неопределенности: 12 для Zhang et al. (2021) и 24 для Yu et al. (2020). На основе проведенного научного обоснования в качестве безопасного обоснован уровень PM₁ при хроническом ингаляционном воздействии на уровне 0,002 мг/м³ для обоих исследований. Формирование этого порогового значения базируется на комплексном анализе данных эпидемиологических исследований, исследующих корреляции между длительным воздействием PM₁ и развитием патологий с учётом модифицирующих факторов. Такой подход способствует повышению достоверности и обоснованности рекомендуемого безопасного уровня концентрации взвешенных частиц PM₁ в атмосферном воздухе для популяции при продолжительном воздействии. Предложенная величина может быть рекомендована в качестве критерия допустимости при проведении оценки рисков для здоровья населения (референтная концентрация), она может быть интегрирована в систему санитарно-эпидемиологического нормирования (среднегодовая ПДК).

ГЛАВА 6 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗУЕМЫХ ВОЗДУХООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В СООТВЕТСТВИИ С КОМПЛЕКСНЫМИ ПЛАНАМИ И РЕАЛИЗАЦИЕЙ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ, НАПРАВЛЕННОЙ НА СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ПРИОРИТЕТНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ОБЪЕКТАХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

6.1 Апробация комплексного методического подхода к оценке эффективности воздухоохраных мероприятий, основанного на интегральном анализе многокомпонентных показателей

Усовершенствованный подход (алгоритм) по оценке эффективности воздухоохраных мероприятий, представленный в главе 4, апробирован на репрезентативной территории в отношении объектов теплоэнергетики. Суть данного подхода заключалась в интегральной оценке эффективности реализуемых воздухоохраных мероприятий Комплексных планов на основе наихудшего из значений, полученных по отдельным критериям оценки: валовое снижение выбросов и достижение целевого показателя ($D_{вал}$), снижение концентраций загрязняющих веществ до уровней ПДК ($\Delta C_{мр}$, $\Delta C_{сг}$), снижение уровней риска для здоровья до приемлемых уровней ($\Delta HQ_{ас}$, $\Delta HI_{ас}$, $\Delta HQ_{сч}$, $\Delta HI_{сч}$, ΔCR_T), снижение уровня ассоциированной заболеваемости (ΔZ).

Оценка эффективности воздухоохраных мероприятий показала значительный разброс полученных показателей гигиенических критериев – от 100 до 17,4 %. Высокая степень эффективности (100 %) достигнута по критерию $D_{вал}$. Данный показатель свидетельствует о полном выполнении запланированных воздухоохраных мероприятий в установленном объеме, но не обеспечивает гарантированного соблюдения гигиенических нормативов на всей территории жилой застройки. По критериям, отражающим влияние на здоровье населения ($\Delta HQ_{ас}$, $\Delta HI_{ас}$, $\Delta HQ_{сч}$, $\Delta HI_{сч}$, ΔCR_T , ΔZ), эффективность составила от 17,4 до 27,9 %, что соответствует оценкам «низкая» и «неприемлемая». Выявлено принципиально важное несоответствие: высокая эффективность в части сокращения выбросов (100 %) не сопровождается адекватным снижением уровней загрязнения воздуха ($\Delta C_{сг}$ – 17,5 %, «неприемлемая» степень эффективности), рисков для здоровья и ассоциированной заболеваемости населения (Таблица 6.1).

Результаты итоговой оценки эффективности воздухоохраных мероприятий, реализованных на объектах теплоэнергетики репрезентативной территории в соответствии с Комплексным планом, представлены в Таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Эффективность запланированных (внедренных) воздухоохраных мероприятий по гигиеническим критериям

Гигиенический критерий	Эффективность (Э), %	Степень эффективности
<i>Dвал</i>	100 (соответствует ЦП)	Высокая
ΔC_{mp}	20,8	Низкая
$\Delta C_{с2}$	17,5	Неприемлемая
ΔHQ_{ac}	26,4	Низкая
ΔHI_{ac}	27,9	Низкая
ΔHQ_{ch}	17,4	Неприемлемая
ΔHI_{ch}	20,5	Низкая
ΔCR_T	19,03	Неприемлемая
ΔZ	18,8	Неприемлемая
Итоговая оценка эффективности:	17,4	Неприемлемая

Интегральная (итоговая) оценка эффективности составила 17,4 % (ΔHQ_{ch}), что соответствует «неприемлемой» степени.

Результаты проведенного анализа показывают, что реализация воздухоохраных мероприятий не обеспечит в полной мере соблюдение санитарно-эпидемиологического благополучия на репрезентативной территории: по 11 веществам (диоксид азота, углерод, диоксид серы, дигидросульфид, оксид углерода, бензол, диметилбензол, этилбензол, формальдегид, взвешенные вещества, неорганическая пыль, содержащая диоксид кремния в соотношении 70–20 %) ожидается снижение концентраций, однако их уровни по-прежнему будут превышать гигиенические нормативы (до 29,8 ПДКм.р., до 19,03 ПДКс.г.). По результатам оценки канцерогенного риска превышения допустимого уровня по формальдегиду сохранятся (до $3,28 \cdot 10^{-4}$). Неканцерогенные риски в отношении развития заболеваний органов дыхания, зрения, сердечно-сосудистой и иммунной систем, процессов развития организма, системного действия останутся высокими (до 25,81 HI_{ac} и до 22,65 HI_{ch}); число дополнительных случаев сократится на 18,8 %, но при этом составит 70,5 тыс., болезни органов дыхания останутся лидирующими (75,5 %).

В условиях недостаточной прогнозной эффективности запланированных и реализуемых воздухоохраных мероприятий целесообразным является использование дифференцированного подхода к определению и оптимизации регулирующих воздействий в отношении всех источников загрязнения атмосферного воздуха, включая объекты теплоэнергетики, и приоритетных загрязняющих веществ – факторов риска здоровью. Данный подход позволяет избирательно и точно определять источники, требующие снижения выбросов, приоритизировать загрязняющие вещества, вносящие наибольший вклад в ухудшение качества воздуха, в отношении которых необходимы целенаправленные мероприятия, что в последующем обеспечит достижение санитарно-эпидемиологического благополучия на репрезентативной территории, и, как следствие, митигацию ассоциированных нарушений здоровья.

6.2 Апробация методического подхода к гигиенической оценке эффективности воздухоохраных мероприятий по дифференцированной митигации рисков и вреда здоровью населения

С целью реализации дифференцированного подхода к определению и оптимизации регулирующих воздействий в отношении выбросов объектов теплоэнергетики выявлено, что крупные предприятия теплоэнергетической отрасли – ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, районные котельные установки, на репрезентативной территории выбрасывают 55 загрязняющих веществ из общего перечня в 251 наименований, которые поступают в атмосферу от всех хозяйствующих субъектов, автотранспорта и АИТ. Суммарный объем выбросов, поступающих от объектов теплоэнергетики, составляет более 55 тыс. тонн, что эквивалентно 39 % от суммарного валового выброса всех источников, расположенных на рассматриваемой территории.

В рамках реализации Комплексного плана запланировано снижение объёмов выбросов загрязняющих веществ и уменьшение количества источников загрязнения на объектах ООО «Сибирская генерирующая компания», включая «Красноярскую ТЭЦ-1» и 35 городских котельных, в жилых домах аварийного фонда с печным отоплением.

1. *Замещение 35 малоэффективных угольных котельных мощностями Красноярских ТЭЦ путем закрытия указанных котельных, расположенных на репрезентативной территории.* Согласно прогнозным данным, реализация мероприятий в рамках Комплексного плана, касающихся малоэффективных угольных котельных (сокращение выбросов на 10,8 тыс. тонн, что соответствует 5,66 % от совокупного выброса всех источников и 19,6 % от совокупного выброса всех объектов теплоэнергетики), позволит достичь локального снижения максимальных разовых концентраций, превышающих гигиенические нормативы (более 1,1 ПДКм.р.), в точках квотирования лишь по двум показателям – диоксиду азота и неорганической пыли с содержанием SiO_2 70–20 % – на 0,01–0,1 ПДКм.р., однако концентрации этих веществ по-прежнему будут находиться на уровне 1,1–4,4 ПДКм.р. В частности, реализуемые мероприятия по снижению выбросов уменьшат концентрацию пыли неорганической: 70-20 % SiO_2 до 1,0 ПДКм.р. и позволят вывести 532 человека из зоны проживания с повышенным загрязнением данным химическим веществом при остром ингаляционном воздействии. Среднегодовые концентрации веществ значимо не изменятся и останутся на уровне 1,1–7,0 ПДКс.г. В результате реализация запланированных воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики (35 котельных) в соответствии с Комплексным планом не обеспечит улучшение условий проживания населения при хроническом воздействии химических веществ. Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ не претерпят существенных изменений и останутся в диапазоне 1,1–7,0 ПДКс.г.

Применение оптимизационных методов для определения регулирующих воздействий показало, что с учётом доли вклада анализируемых 35 угольных котельных в общий объём загрязнения атмосферного воздуха наиболее эффективным решением является сокращение выбросов на 120,07 тонн от уровня 2017 г. (0,1 % от общего валового выброса от всех источников выбросов за 2017 год и 0,22 % от суммарного выброса всех объектов теплоэнергетики). Приоритетное сокращение выбросов распространяется на четыре загрязняющих вещества: взвешенные вещества, хром, марганец и его соединения, неорганическую пыль с содержанием диоксида кремния (SiO_2) в пределах 70–20 % (суммарный годовой выброс данных веществ составляет 241,9 тонны). Обеспечение соответствия установленным санитарно-гигиеническим нормативам и критериям приемлемого риска для здоровья населения на всей территории жилой застройки требует снижения выбросов указанных загрязнителей на величину от 8,6 до 100 % (Таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Сравнительный анализ запланированных комплексных воздухоохраных мероприятий и дифференцированно оптимизированных регулирующих воздействий на 12 угольных котельных по объёму снижения выбросов отдельных веществ в атмосферный воздух (т/год)

Код в-ва	Наименование вещества	Снижение выбросов, (т/год)	Оптимизированные регулирующие воздействия	
			тонн/год	доля снижения от 2017 г., %
110	диВанадий пентоксид (пыль)	0,000057	–	–
123	диЖелезо триоксид (Железа оксид) (в	0,058	–	–
143	Марганец и его соединения (в пересчете	0,0011	0,000068	100
203	Хром (Хром шестивалентный) (в	0,0001	0,00174	8,9
301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	878,453	–	–
304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	142,734	–	–
328	Углерод (Сажа)	859,055	0	–
330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	1101,932	0	–
333	Дигидросульфид (Сероводород)	0,000028	–	–
337	Углерод оксид	5018,029	–	–
342	Фториды газообразные	0,00014	–	–
344	Фториды плохо растворимые	0,00059	–	–
703	Бенз(а)пирен (3,4-Бензпирен)	0,0055	–	–
2732	Керосин	0,451	–	–
2754	Углеводороды предельные C12-C19	8,006	–	–
2902	Взвешенные вещества	-	0,2083	8,6
2908	Пыль неорганическая: 70-20% SiO_2	788,427	119,865	45,5
2909	Пыль неорганическая: до 20% SiO_2	17,247	0	–
2930	Пыль абразивная	0,004	–	–
2936	Пыль древесная	0,004	–	–
Итого:		10 814,408	120,07	0,1

2. Проведение мероприятий по переселению населения из аварийного жилого фонда, оборудованного печным отоплением. Реализация воздухоохраных мероприятий, включённых в

Комплексный план, а именно снижение выбросов на 0,3 тыс. тонн, что соответствует 0,16 % от суммарного выброса от всех источников и 0,56 % от суммарного выброса от всех объектов теплоэнергетики, предполагает незначительное снижение максимальных разовых концентраций 7 загрязняющих веществ: азота диоксид, азот (II) оксид, сера диоксид, углерод оксид, бенз(а)пирен, взвешенные вещества, пыль неорганическая: 70-20 % SiO₂, превышающих гигиенические нормативы, в диапазоне от 0,01 до 0,03 (ПДКм.р.), при сохранении уровней загрязнения в пределах 1,1–6,25 ПДКм.р. Среднегодовые концентрации веществ с фиксируемыми превышениями гигиенических нормативов (до 1,1–6,98 ПДКс.г.) сохраняются практически без изменений.

В процессе решения задачи оптимизации с использованием дифференцированного подхода к выбору направлений регулирующих воздействий установлено, что для АИТ, учитывая их долю в общем уровне загрязнения атмосферы, наиболее эффективной мерой является снижение выбросов шести загрязняющих веществ: диоксида серы, диоксида азота, бенз(а)пирена, неорганической пыли с содержанием кремнезёма (SiO₂) в диапазоне 70–20 %, оксида углерода и взвешенных веществ (совокупный объём выбросов выше перечисленных веществ достигает 1,48 тыс. тонн в год).

Для обеспечения соответствия санитарно-гигиеническим нормативам и критериям оценки риска для здоровья населения на всей территории жилой застройки требуется сокращение выбросов указанных загрязнителей в диапазоне от 1,1 до 100 %. Общий объём необходимого снижения выбросов с учётом долевого вклада АИТ в суммарное загрязнение атмосферы оценивается в 658,6 тонн (0,47 % от суммарного выброса от всех источников и 1,2 % от суммарного выброса от всех объектов теплоэнергетики), что превышает предусмотренные Комплексным планом показатели более чем в 2,1 раза (Таблица 6.3).

Таблица 6.3 – Сравнительный анализ запланированных комплексных мер по охране атмосферного воздуха и выборочно оптимизированных регулирующих мер, направленных на снижение объёмных выбросов отдельных загрязняющих веществ от АИТ (т/год)

Код в-ва	Вещество	Комплексный план, тонн/год	Оптимизированные регулирующие воздействия, тонн/год	
			тонн/год	доля снижения от 2017 г., %
1	2	3	4	5
301	Азота диоксид	6,777	18,019	61,7
304	Азот (II) оксид	1,172	-	-
330	Сера диоксид	3,576	0,1737	1,1
337	Углерод оксид	256,250	228,398	33,7
703	Бенз(а)пирен	0,000	4,9*10 ⁻⁵	100
2902	Взвешенные вещества	32,739	55,618	49,7
2908	Пыль неорганическая: 70–20 % SiO ₂	10,095	356,398	52,9
Итого:		310,609	658,608	0,47

Детализированная информация о снижении выбросов отдельных загрязняющих веществ от АИТ в рамках реализации Комплексного плана и рекомендованных оптимальных уровней сокращения, определённых на основе критерия оптимизации, представлена в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Список некоторых АИТ с учетом мероприятий Комплексного плана и предложениями по оптимальному снижению выбросов загрязняющих веществ

п/п	Выбрасываемые вещества, требующие оптимизации	Масса выброса (тонн/год)	Доля вещества в суммарном выбросе, %	Сокращение суммарного выброса по Комплексному плану, %	Сокращение объема выбросов по результатам решения оптимизационной задачи, %
	АИТ пос. Бадалык				
1	0703 Бенз(а)пирен	1,73E-05	1,8E-05	–	100
	АИТ пос. Песчанка				
1	2908 Пыль неорганическая: 70–20 % SiO ₂	12,397499	13,2	–	11
	АИТ пос. Торгашино				
1	0301 Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	10,545777	2,1	–	100
2	2908 Пыль неорганическая: 70–20 % SiO ₂	71,905526	14,4		46
	АИТ пос. Лалетино				
1	0301 Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	9,80651	2,1	16,2	36
2	0337 Углерод оксид	339,490704	74,1		37
3	2902 Взвешенные вещества	34,52616	7,5		43
4	2908 Пыль неорганическая: 70–20 % SiO ₂	58,956965	12,9		73

3. *Модернизация АО «Красноярская ТЭЦ-1».* Применение дифференцированного метода выбора оптимальных регулирующих мер с учетом доли ТЭЦ-1 в общем уровне загрязнения атмосферного воздуха выявило, что наиболее эффективной стратегией является уменьшение выбросов одного химического вещества – пыль неорганическая: 70-20 % SiO₂, которая в суммарном выбросе от ТЭЦ-1 составляет треть от всех веществ (35 %). Для обеспечения соблюдения санитарно-гигиенических нормативов химических веществ и критериев риска здоровью на всей территории жилой застройки необходимо сокращение выбросов пыли неорганической: 70-20 % SiO₂ на 46 %, или 2,69 тыс. тонн от суммарного выброса данной ТЭЦ, что составляет 1,91 % от суммарного выброса всех источников выбросов и 4,89 % от суммарного выброса от всех объектов теплоэнергетики).

4. *Мероприятия Комплексного плана: принятие нормативных правовых актов об ограничении использования бурого и каменного угля без систем переработки и очистки на источнике и газификация жилых домов, частных домовладений, зданий различного назначения с использованием сжиженного газа.* Данные мероприятия Комплексного плана, предусматривавшие снижение валового выброса загрязняющих веществ на 2,16 тыс. и 0,7 тыс. тонн, не могли быть включены в оценку из-за отсутствия параметризованных данных.

Таким образом, на теплоэнергетических объектах, в соответствии с Комплексным планом, планируется общее снижение объемов выбросов более чем по 20 загрязняющим веществам. В их

числе – взвешенные вещества, диоксид азота, оксид азота (II), углерод, диоксид серы, хром, марганец, неорганическая пыль с содержанием SiO_2 в диапазонах 70–20 % и до 20 % и прочие загрязнители.

В результате решения оптимизационной задачи установлено, что для обеспечения соответствия гигиеническим нормативам и критериям риска с учетом долевого вклада объектов теплоэнергетики в загрязнение атмосферного воздуха оптимально достаточным является сокращение выбросов по 15 загрязняющим веществам: диоксид азота, углерод, диоксид серы, бенз(а)пирен, взвешенные вещества, оксид углерода, хром, неорганическая пыль с содержанием SiO_2 70–20 %, неорганическая пыль с содержанием SiO_2 до 20 %, марганец, бензол, формальдегид, соединения никеля, дигидросульфид, оксид меди, с варьированием степени снижения от 1 до 100 %. Совокупный объем оптимально достаточного уменьшения выбросов (с учетом их долевого вклада и критерия оптимизации: минимально-достаточное изменение масс выбросов) составляет 3,46 тыс. тонн в год (2,45 % от суммарного выброса всех источников и 6,3 % от суммарного выброса всех объектов теплоэнергетики) (Таблица 6.5).

Таблица 6.5 – Сравнительный анализ запланированных комплексных воздухоохраных мероприятий по охране атмосферного воздуха и дифференцированно оптимизированных управляющих воздействий, направленных на сокращение объемных выбросов загрязняющих веществ на теплоэнергетических объектах (т/год)

Мероприятие	Комплексный план, тонн/год	Оптимизационная задача, тонн/год
35 котельных	10,8 тыс. (5,66%)	0,12 тыс. (0,2%)
АИТ	0,3 тыс. (0,16%)	0,65 тыс. (0,47%)
ТЭЦ-1	7,0 тыс. (3,67%)	2,69 тыс. (1,91%)
Принятие нормативных актов	2,16 тыс. (1,13%)	–
Газификация жилых домов	0,7 тыс. (0,37%)	–
<i>Всего:</i>	20,96 тыс. (10,99%)	3,46 тыс. (2,45%)

Таким образом, реализация предусмотренных в Комплексном плане воздухоохраных мероприятий и соответствующее снижение общего объема выбросов на объектах теплоэнергетики с учетом их долевого вклада в суммарное загрязнение атмосферного воздуха не приведет к существенному улучшению санитарно-эпидемиологической обстановки и условий проживания населения на репрезентативной территории.

Оптимально достаточным с учетом долевого вклада источников и веществ будет дифференцированное сокращение выбросов на всех объектах теплоэнергетики на 3,46 тыс. тонн, в том числе на ТЭЦ-1 – на 2,69 тыс. тонн (на 1,91 % от суммарного объема выбросов в 2017 г.), на всех 35 малоэффективных угольных котельных – на 0,12 тыс. тонн (на 0,1 %), на АИТ – на 0,65 тыс. тонн (на 0,47 %). К приоритетным для снижения веществам на объектах теплоэнергетики репрезентативной территории можно отнести 15 веществ: азота диоксид, углерод, сера диоксид, бенз(а)пирен, взвешенные вещества, углерод оксид, хром, пыль неорганическая: 70–20 % SiO_2 , до 20 % SiO_2 , марганец, бензол, формальдегид, соединения никеля, дигидросульфид, меди оксид, уровень снижения которых персонифицированно по объектам варьирует от 1 до 100 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования подтверждают выводы ранее выполненных научных работ и указывают на то, что объекты теплоэнергетики являются значительными источниками загрязнения атмосферного воздуха в городах. Продолжение использования угля в качестве основного топлива и потенциальное увеличение его доли в топливном балансе страны могут приводить к негативным последствиям для здоровья населения, проживающего в зонах влияния таких объектов. В связи с этим углубленное исследование причин и условий, приводящих к нарушениям здоровья, ассоциированным с качеством атмосферного воздуха в зонах влияния объектов теплоэнергетики, сохраняет свою актуальность и составляет основную задачу настоящего исследования [12, 27, 35, 65, 109, 113, 114, 144, 162, 189, 196, 213, 216, 243, 245, 246, 248, 272].

Оценка риска для здоровья зарекомендовала себя как эффективный методологический инструмент, применимый как для решения задач данного исследования, так и для практического анализа результативности воздухоохраных мероприятий. Обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия и экологической безопасности требует внедрения комплексных мер для управления рисками, связанными с конкретными источниками выбросов, с акцентом на вещества, способные причинить вред здоровью экспонированного населения, как при кратковременном, так и при длительном воздействии. В дополнение к этому к основным мерам в данной области можно отнести: повышение качества инвентаризации выбросов, разработку целевых программ мониторинга приоритетных веществ, применение научно обоснованных методик оценки ущерба здоровью и экономической эффективности мероприятий по охране воздуха.

Действующая система воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики, сфокусированных на приоритетных факторах риска для здоровья, способствует снижению интенсивности загрязнения атмосферы и минимизации ассоциированных угроз общественному здоровью. Однако достигаемый уровень снижения не всегда является достаточным для полного обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия на соответствующих территориях и снижения всех негативных последствий для здоровья граждан, поэтому оценка эффективности воздухоохраных мероприятий на всех стадиях – от планирования до реализации – должна включать гигиенический анализ динамики изменений качества атмосферного воздуха, основанный на гигиенических критериях, таких как предельно допустимые концентрации и критерии риска для здоровья населения [273].

В связи с вышеизложенным формирование комплексной системы критериального оценивания, позволяющей диагностировать адекватность и эффективность реализуемых

воздухоохранных мероприятий, представляет собой актуальную научно-прикладную задачу. Ее решение направлено на создание методического инструментария управления рисками с целью обеспечения устойчивого санитарно-эпидемиологического благополучия населения в зонах влияния объектов теплоэнергетики, что в совокупности определило цель, научную новизну и практическую значимость данного диссертационного исследования.

В соответствии с современными подходами к регулированию качества воздуха основной стратегией признаётся переход от валового сокращения выбросов к адресному управлению факторами риска. Следовательно, приоритетной задачей становится не достижение усреднённого процентного снижения, а концентрация усилий на снижении выбросов приоритетных загрязнителей и влияния факторов риска здоровью с учетом их долевого вклада в загрязнение. Разработанный дифференцированный метод выбора оптимальных направлений регулирующих воздействий, предусматривающий установление перечня приоритетных загрязнителей и квотируемых источников с дифференцированной оценкой их вклада в интегральное загрязнение атмосферы, показал высокую релевантность и верифицируемость в рамках решения задач по снижению аэрогенных рисков и обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия в границах жилой застройки [158, 250].

Исходя из поставленных цели и задач исследования, использование предлагаемого подхода обеспечивает эффективное ранжирование приоритетности воздухоохранных мероприятий, обоснование корректировки комплексных планов, нацеленных на улучшение качества атмосферного воздуха, совершенствование региональных стратегий социально-экономического развития, формирование у бизнес-сообщества мотивации к реализации мер, направленных на сокращение выбросов веществ, характеризующихся приоритетными рисками для здоровья. Реализация метода создает основу для системного межведомственного взаимодействия, обеспечивающего укрепление санитарно-эпидемиологического благополучия и экологической безопасности.

В рамках исследования в качестве объектов анализа выбраны хозяйствующие субъекты теплоэнергетической отрасли, включая АИТ, параметры их выбросов, показатели качества атмосферного воздуха и уровни экспозиции химических веществ в жилых зонах, критерии безопасности (ПДК_{м.р.}, ПДК_{с.с.}, ПДК_{с.г.}, RFC, ARFC, CR_T). Учитывались численность и возрастная структура населения в зонах влияния анализируемых хозяйствующих субъектов и в зонах повышенной экспозиции химических веществ, показатели обращаемости населения за медицинской помощью в зонах влияния теплоэнергетических объектов, Комплексные планы воздухоохранных мероприятий, нормативно-правовые и методические документы. Предметом исследования являлся комплекс процессов, механизмов и закономерностей, обусловленных деятельностью объектов теплоэнергетики, ее влиянием на качество атмосферного воздуха и

состояние здоровья населения, включая: условия трансформации и распространения химических веществ в воздухе, уровни потенциального риска причинения вреда здоровью населения, пространственное распределение рисков, связанных с воздействием химических загрязнителей, образующихся в результате деятельности хозяйствующих субъектов (в том числе объектов теплоэнергетики), причинно-следственные связи, приводящие к формированию риска и вреда здоровью, закономерности распределения твердых частиц в респираторном тракте в зависимости от их химического, дисперсного и морфологического состава.

В настоящем исследовании применён комплекс современных гигиенических методик, включающий инструментальные замеры и расчетные оценки уровней загрязнения атмосферного воздуха, эпидемиологический анализ заболеваемости, статистическую обработку данных с использованием пространственно-временного анализа и общенаучных методов. Проведен расчет и категорирование потенциальных рисков причинения вреда здоровью населения. Реализована методология оценки рисков для здоровья при химическом аэрогенном воздействии, оценки потенциального вреда с применением математического моделирования причинно-следственных связей между факторами воздействия и показателями здоровья населения, включая расчет ассоциированных случаев заболеваний. Для количественной оценки эффективности планируемых воздухоохраных мероприятий разработан алгоритм, опирающийся на целевые показатели выбросов, соответствие гигиеническим нормативам и критериям риска для здоровья, что позволяет оценить достаточность реализуемых мер, выявить приоритетные факторы, пространственные характеристики зон повышенного риска, численность подверженного воздействию населения и типы потенциальных нарушений здоровья. В целях прогнозирования рисков и разработки оптимальных решений применены методы ситуационного моделирования и алгоритмы оптимизации мероприятий по снижению аэрогенного воздействия, основанные на методах ветвей и границ линейного программирования.

Проведенное исследование обеспечило получение качественно новых научных данных и расширение практических представлений в данной области.

Результаты гигиенической оценки пространственного распределения объектов потенциального риска причинения вреда здоровью населения, связанного с деятельностью в сфере «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха», выявили значительные региональные различия, неравномерное распределение по территории РФ. Максимальное количество хозяйствующих субъектов, отнесенных к высоким категориям риска и осуществляющих деятельность в теплоэнергетической отрасли, локализовано в Центральном (1 292 субъекта), Сибирском (1 114 субъектов) и Приволжском (1 100 субъектов) федеральных округах. По значению усредненного потенциального риска причинения вреда здоровью, приходящегося на один субъект, данная отрасль идентифицирована в качестве приоритетной

среди всех промышленных секторов как в масштабах Российской Федерации ($5,44 \cdot 10^{-4}$), так и в границах Сибирского федерального округа ($9,9 \cdot 10^{-4}$). Доля субъектов, характеризующихся чрезвычайно высоким и высоким (1-й и 2-й уровни) потенциальным риском причинения вреда здоровью, на российском уровне составила 21,7 %, при этом в СФО данный показатель зафиксирован на отметке 23,2 %. В соответствии с данными федерального реестра хозяйствующих субъектов, подлежащих санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), масштаб воздействия, определяемый численностью населения (с учетом работающих), находящегося в зоне влияния объектов высоких (первой и второй) категорий риска, в Сибирском федеральном округе составляет более 8 млн человек [7, 40, 121].

Результаты анализа потенциального риска причинения вреда здоровью подчеркивают необходимость особого внимания к объектам теплоэнергетики высоких категорий риска, что требует соответствующего уровня государственного регулирования. Реализация проектной деятельности (Комплексных планов) на территориях с повышенным загрязнением атмосферного воздуха направлена на обеспечение соблюдения санитарных и экологических норм и последующую оценку эффективности принимаемых мер. Для оценки эффективности воздухоохраных мероприятий в рамках Комплексных планов разработан и апробирован универсальный научно обоснованный алгоритм, базирующийся на интегральном анализе системы многокомпонентных показателей и имеющий потенциал к применению для различных видов хозяйственной деятельности и типов территорий. Согласно ему, оценка эффективности (Э) основывается на многоуровневой системе критериев, включающей анализ Комплексных планов по сокращению валовых выбросов (тонн/год), гигиеническую оценку качества воздуха с учётом ПДК, оценку рисков для здоровья (CR, HQ, HI) при остром и хроническом воздействии и расчёт дополнительных ассоциированных случаев заболеваний. Сформированы четыре группы критериев: 1) снижение валовых выбросов, 2) соблюдение гигиенических нормативов (ПДКм.р., ПДКс.г.), 3) достижение допустимых уровней риска ($HQ_{ac}/ch \leq 1$, $HI_{ac}/ch \leq 3$, $CR_t \leq 10^{-4}$), 4) сокращение заболеваемости. По каждому критерию эффективность определяется путём сравнения значений «до» и «после» реализации мероприятий. Для объективной оценки воздухоохраных мероприятий итоговый показатель эффективности устанавливается как минимальное значение среди всех критериев, сопоставляемое со шкалой нормирования. Предложенные методические подходы к гигиенической оценке эффективности воздухоохраных мероприятий после их реализации обеспечивают комплексную и объективную оценку результатов этих мероприятий.

Следует отметить, что результаты оценки потенциального риска причинения вреда здоровью в РФ и отдельных регионах, формируемого деятельностью теплоэнергетики, согласуются с фактически наблюдаемой неблагоприятной санитарно-эпидемиологической

обстановкой на репрезентативной территории (выбранной для апробации разработанного методического алгоритма – г. Красноярск), характеризующейся превышением гигиенических нормативов концентраций загрязняющих веществ, повышенными уровням риска и формируемой ассоциированной заболеваемостью. В этой связи для указанной территории в рамках федерального проекта «Чистый воздух» разработан Комплексный план природоохранных (воздухоохранных) мероприятий, эффективность реализации которого проанализирована путем гигиенической оценки сопоставления количественных характеристик, полученных в периоды до и после выполнения запланированных мероприятий.

Согласно Комплексному плану сокращения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу г. Красноярска, к 2026 г. запланировано снижение общего объема выбросов на 42,58 тыс. тонн (22,33 %), из которых 20,96 тыс. тонн (10,99 %) приходится на теплоэнергетические объекты. Это достигается за счёт модернизации ТЭЦ, замены низкоэффективных угольных котельных, газификации, переселения из аварийного жилья, введения нормативных ограничений, систем мониторинга и строительства нового энергоблока при бюджете 68,69 млрд рублей. Сокращение выбросов более 20 загрязняющих веществ, включая взвешенные вещества, азота диоксид, азота (II) оксид, углерод (сажу), диоксид серы, хром и неорганическую пыль с разным содержанием SiO_2 , составляет 20,9 тыс. тонн (10,99 % от общего выброса всех источников). При этом вклад данных веществ в суммарное загрязнение атмосферы составит от 1 до 99 % (по разным веществам в различных зонах) и в риск для здоровья населения до 37 %. Недифференцированное снижение валового выброса загрязняющих веществ после реализации воздухоохранных мероприятий на объектах теплоэнергетики по сравнению с базовым уровнем составит 38 %, что соответствует установленному целевому значению показателя Федерального проекта «Чистый воздух», но не обеспечивает согласно расчетным данным значимое улучшение санитарно-эпидемиологической ситуации на репрезентативной территории с учетом вклада объектов теплоэнергетики в загрязнение воздуха. При этом снижение приоритетных загрязняющих веществ прогнозно составит порядка 8,9 тыс. тонн (16,2 % от суммарного выброса от объектов теплоэнергетики) [6].

До реализации воздухоохранных мероприятий Комплексного плана санитарно-гигиеническая обстановка на репрезентативной территории характеризовалась как неблагоприятная. Расчёты рассеивания загрязняющих веществ, выбрасываемых всеми источниками загрязнения, в том числе объектами теплоэнергетики, в жилых массивах показали превышения разовых концентраций по 8 веществам: серы диоксиду, диоксиду азота, углероду, оксиду углерода, взвешенным веществам, неорганической пыли с содержанием SiO_2 70–20 %, неорганической пыли с содержанием SiO_2 менее 20 % и пыли абразивной от 1,02 до 5,1 ПДКм.р. без превышений среднесуточных и среднегодовых нормативов. Суммарный вклад объектов

теплоэнергетики в среднегодовое загрязнение атмосферного воздуха по расчетным данным достигал 37 %. По результатам инструментальных измерений (2018–2020 гг.) на репрезентативной территории зафиксировано систематическое превышение гигиенических нормативов загрязняющих веществ, выбрасываемых, в том числе, объектами теплоэнергетики, в зонах жилой застройки. В частности, установлены превышения разовых концентраций бензола, гидрохлорида, ксилола, толуола, фенола, формальдегида, фтористых газообразных соединений и этилбензола (диапазон максимальных значений 10,0–60,0 ПДКм.р.); оксидов азота, аммиака, взвешенных веществ, свинца, диоксида серы, сероводорода, оксида углерода и неорганических плохо растворимых фторидов (диапазон максимальных значений 1,90–9,69 ПДКм.р.). Максимальные превышения гигиенических нормативов по среднесуточным концентрациям бенз(а)пирена, формальдегида (в 2019 г.) и составили 1,46–3,00 ПДКс.с.; среднегодовым – азота диоксида (2018-2019 гг.), бенз(а)пирена, бензола (2020 г.), взвешенных веществ, марганца (2020 г.), оксида меди (2020 г.), никеля (2020 г.), сероводорода (2018 г.), формальдегида (2019-2020 гг.) и этилбензола (2018 г.) 1,01–24,3 ПДКс.г. [5].

Верифицированные данные подтвердили превышение разовых концентраций широкого спектра загрязняющих веществ, выбрасываемых объектами теплоэнергетики: азота диоксид, азота (II) оксид, углерод (сажа), сера диоксид, дигидросульфид, диметилбензол, этилбензол, углерода оксид, бензол, формальдегид, взвешенные вещества до 29,92 ПДКм.р. Среднегодовые концентрации азота диоксида, углерода оксида, формальдегида, взвешенных веществ, бензола и диметилбензола превышали нормативы до 19,04 ПДКс.г. (максимальные значения) [5].

В рамках данного исследования расшифрованы и проанализированы компонентный, дисперсный и морфологический состав твердых частиц в атмосферном воздухе зоны максимального влияния ТЭЦ-1, состав золы. Оценка дисперсного и компонентного состава твердых фракций в атмосферном воздухе размером до 10 мкм показала, что основной объем частиц составляют алюминий, кремний, железо, натрий, калий, кальций, сера и фосфор, в совокупности составляющие более 50. Результаты исследования дисперсного состава твердых частиц в атмосферном воздухе данной зоны свидетельствуют о преобладании круглых частиц меньшего диаметра (от 1,0 мкм) от 51,1 до 58,6 %. Рентгеноспектральный анализ золы выявил, что частицы диаметром до 10 мкм составляли 63,8 % всего объема, из которых наибольшее содержание определяется кальцием, алюминием, магнием, железом и кремнием, составляющими в сумме более 54 % [5].

По результатам сравнительного анализа установлено, что компонентный состав твердых частиц атмосферного воздуха и золы сопоставим: порядка 78 % твердых частиц в воздухе составляют алюминий, кремний, железо, натрий, калий, кальций, сера и фосфор. Дисперсный состав твердых частиц в зоне влияния крупной ТЭЦ незначительно отличается от состава золы,

при этом преобладают частицы размером до 4,0 мкм (65 %, из них менее 1,5 мкм – 20,9 %), из них порядка 30 % имеют округлую форму. Частицы аналогичного размера (до 5,5 мкм) в атмосферном воздухе составляют более 50 % и около 30 % имеют более округлую форму [151].

После внедрения воздухоохраных мероприятий Комплексного плана верификация расчетных данных результатами инструментальных наблюдений подтвердила снижение разовых концентраций по 6 веществам: азота диоксид, сера диоксид, углерода оксид, бензол, этилбензол, взвешенные вещества до 1,8 раза, среднегодовых – оксиду углерода, взвешенным веществам, диоксиду азота и формальдегида в пределах до 1,2 раза. Согласно прогнозным оценкам, реализация воздухоохраных мероприятий на теплоэнергетических объектах репрезентативной территории обеспечит снижение концентраций 6 веществ (до 29,8 ПДКм.р. и до 19,03 ПДКс.г.). Однако прогнозируемый эффект в отношении здоровья населения характеризуется ограниченной результативностью: из зон повышенного экспозиционного воздействия будет выведено лишь 4,7 % проживающих (от 13,1 до 48,7 тыс. человек).

Повышенные концентрации загрязняющих веществ в воздухе непосредственно обуславливают формирование повышенных уровней риска здоровью. По результатам оценки риска здоровью до проведения воздухоохраных мероприятий на репрезентативной территории выявлено превышение ($CR > 1 \cdot 10^{-4}$) канцерогенного риска по формальдегиду (CR до $3,28 \cdot 10^{-4}$). В ходе оценки выявлены неприемлемые значения неканцерогенного острого риска для четырех химических веществ: углерод оксида (до 6,50 HQac), бензола (до 2,83 HQac), формальдегида (до 19,05 HQac) и взвешенных веществ (до 24,96 HQac). Индексы опасности в отношении нарушений органов дыхания, зрения, сердечно-сосудистой системы, процессов развития организма, системного действия достигали высоких значений (HIac 6,5–25,81). При хроническом ингаляционном воздействии фиксировались неприемлемые уровни риска по формальдегиду (до 19,04 HQch), взвешенным веществам (до 13,79 HQch), диоксиду азота (до 2,20 HQch), диметилбензолу (до 1,45 HQch), оксиду углерода (до 1,35 HQch) и бензолу (до 1,20 HQch), формировались повышенные уровни риска развития болезней органов дыхания, зрения, иммунной системы, достигая в отдельных зонах высоких значений (HIch 14,0–22,65) и превышая допустимые уровни более чем в 7,5 раз. Для кроветворной системы риск достигал «настораживающего» уровня (HIch до 4,47) [8].

После реализации воздухоохраных мероприятий прогнозируется, что превышения канцерогенного риска по формальдегиду (CR до $3,28 \cdot 10^{-4}$) сохранятся. Максимальные уровни острого неканцерогенного риска снизятся незначительно, однако локально в отдельных зонах влияния объектов теплоэнергетики риск нарушений органов дыхания снизится до 8,8 раза. Хронический неканцерогенный риск в целом снизится незначительно, однако в локальных зонах в отношении болезней органов дыхания прогнозируется снижение до 30,2 раз. Риски заболеваний органов

дыхания, зрения, иммунной и сердечно-сосудистой систем, процессов развития организма, системного действия останутся высокими (до 24,48 НІас и до 22,60 НІсн). Мероприятия позволят понизить уровень риска до минимального при остром воздействии лишь для 5 % населения (50,85 тыс. чел.), при хроническом – для 3,4 % населения (35,24 тыс. человек) [8].

По результатам расчета показателей нарушения здоровья населения, ассоциированных с воздействием загрязнения атмосферного воздуха при осуществлении деятельности в сфере теплоэнергетики до реализации воздухоохраных мероприятий формировалось порядка 87 тыс. дополнительных случаев заболеваний (9 469,7 случая на 100 тыс. населения), из которых более 39 тыс. случаев зарегистрировано среди детского населения (в относительных показателях – 22 383,3 дополнительных случая на 100 тыс. детей). Ранжирование классов заболеваний, ассоциированных с качеством атмосферного воздуха, позволило идентифицировать в качестве приоритетных: болезни органов дыхания (80,0 %), болезни крови и кроветворных органов (17,9 %), болезни глаза и его придаточного аппарата (1,7 %). Совокупный вклад остальных классов патологии в структуру ассоциированных случаев не превышал 1 %. Приоритетными факторами, формирующими наибольшие потери здоровья в виде дополнительных случаев заболеваний всего населения являлись азота диоксид, дигидросульфид, бензол, диметилбензол, формальдегид, взвешенные вещества, углерод (сажа), углерод оксид и др. с формируемыми вкладами от 1,1 до 95,2 %. Экономические потери от 87 тыс. случаев заболеваний, связанных с качеством атмосферного воздуха и выбросами от объектов теплоэнергетики, составили около 1012,9 млн руб. в год. Максимальный ущерб связан с болезнями органов дыхания у детей и взрослых старшего трудоспособного возраста (400,6 и 248,2 млн руб. в год соответственно), у взрослого трудоспособного населения – он обусловлен болезнями органов пищеварения (48,8 млн руб. в год) [8, 147].

В подтверждение негативного воздействия объектов теплоэнергетики, формирования повышенных уровней риска и ассоциированных случаев заболеваний в зонах их максимального влияния, на примере ТЭЦ-1 установлено, что совокупный причиненный вред здоровью высокой и средней степени тяжести выявлен у 2,9 тыс. экспонированных взрослых (12,1 %) в виде заболеваний нервной, мочеполовой систем, системы кровообращения, костно-мышечной системы, болезней органов дыхания, пищеварения, кожи, зрения, слуха, новообразований (степень тяжести 0,41–0,69). Среди детей аналогичный вред зафиксирован у 1,1 тыс. детей (16 %) в форме болезней нервной, костно-мышечной систем, органов пищеварения, зрения, новообразований (степень тяжести 0,42–0,58). Факторами причинения совокупного вреда здоровью взрослых и детей являются одновременно воздействующие 9 химических веществ: взвешенные вещества, соединения марганца, азота диоксид, бензол, бенз(а)пирен, формальдегид, соединения никеля, дигидросульфид, меди оксид.

В ходе натурного исследования с участием волонтеров в зоне максимального влияния ТЭЦ-1 показано градиентное распределение твердых частиц в дыхательном тракте участников и идентичность компонентного состава золы и экзогенных микроразмерных примесей в биологических средах (в выдыхаемом воздухе, мокроте из бронхолегочной системы, периферической крови). Осаждение микрочастиц ($< 2,5$ мкм) в дыхательных путях распределено неоднородно: свыше 65 % частиц, фиксируемых в верхних отделах, превышали 10 мкм в диаметре. По мере продвижения воздуха вглубь дыхательной системы наблюдалось снижение доли крупных частиц и увеличение концентрации мелких. В мокроте нижних дыхательных путей более 60 % частиц имеют размеры $\leq 2,5$ мкм, из них 46,7 % – $\leq 1,5$ мкм. Доля частиц с коэффициентом сферичности 0,6–1,0 оставалась высокой (70,7–100 %) по мере продвижения воздуха и по всему дыхательному тракту, что подтверждает гипотезу о глубоком проникновении округлых твердых частиц. Для верхних отделов дыхательных путей характерным являлось преимущественное обнаружение соединений кремния, натрия, железа, кальция, калия, серы, магния, алюминия и фосфора. В средних и нижних отделах бронхиального дерева спектр определяемых элементов включал кремний, серу, кальций, алюминий, железо и натрий. В нижних отделах дыхательного тракта преобладали частицы со сферичностью $> 0,7$ (77,4 %). Анализ мазков венозной крови выявил преобладание частиц $\leq 1,5$ мкм (до 89,5 %), практически все из которых (до 100 %) имели сферичность 0,9–1,0. В выдыхаемом воздухе, в отличие от вдыхаемого, максимальная концентрация (46,4 %) приходилась на крупные частицы (> 10 мкм), при этом 50 % имели сферичность 0,9–1,0. Компонентный состав выдыхаемого воздуха в исследуемой зоне в холодный и теплый периоды года демонстрировал незначительные отличия по сравнению с характеристиками вдыхаемого атмосферного воздуха. Основу твердых частиц продолжали составлять соединения кремния, натрия, железа, кальция, калия, серы, магния, алюминия, фосфора.

Реализация воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики позволит снизить количество ассоциированных случаев заболеваемости на 18,8 % (16,48 тыс. дополнительных случаев заболеваний). Приоритетными классами нарушений здоровья останутся болезни органов дыхания (75,5 %), крови и кроветворных органов, органов зрения. Ожидается, что после выполнения мероприятий Комплексного плана экономического ущерба уменьшится, однако прогнозируемое снижение является недостаточным: годовые потери сохранятся на значительном уровне в 820,8 млн рублей.

Полученные данные углубленного исследования состава твердо-аэрозольной смеси в атмосферном воздухе позволяют предположить наличие причинно-следственной связи между компонентным профилем выбросов объектов теплоэнергетики и формированием ассоциированных заболеваний у населения. В целях обеспечения безопасности здоровья населения, подвергающегося длительному воздействию взвешенных частиц PM₁,

присутствующих в атмосферном воздухе, научно обоснован и предложен безопасный уровень $PM_{10} - 0,002 \text{ мг/м}^3$, который может быть предложен как референтный (Rfc).

Апробация предложенного алгоритма оценки эффективности запланированных воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики (с учетом их вклада в загрязнение атмосферного воздуха) репрезентативной территории показала, что итоговый показатель эффективности составляет всего 17,4 % (показатель эффективности по достижению безопасных уровней риска здоровью по критерию HQ при хроническом неканцерогенном воздействии) и соответствует «неприемлемому» уровню. Данный результат свидетельствует, что даже при достижении планового недифференцированного снижения валовых выбросов (22,33 %) реализация мероприятий Комплексного плана на объектах теплоэнергетики не обеспечит существенного улучшения санитарно-эпидемиологической обстановки и условий проживания населения на репрезентативной территории.

Расчёт оптимально достаточного, дифференцированного по источникам, сокращения выбросов показал необходимость их снижения на объектах теплоэнергетики на 3,46 тыс. тонн (6,3 % от суммарного выброса всех объектов теплоэнергетики или 2,45 % от валового выброса от всех источников города на базовый 2017 г.), с приоритетом регулирования выбросов на ТЭЦ-1, 12 угольных котельных и АИТ. В частности, на ТЭЦ-1 по критерию снижения суммарного выброса оптимально достаточным будет уменьшение выбросов на 2,69 тыс. тонн (16,8 % от объема выбросов 2017 г.), для 35 малоэффективных угольных котельных – 0,12 тыс. тонн (1,1 %), для АИТ – 0,65 тыс. тонн (12,3 %). В перечень приоритетных при дифференцированном оптимально достаточном снижении веществ на объектах теплоэнергетики репрезентативной территории вошли азота диоксид, углерод, сера диоксид, бенз(а)пирен, взвешенные вещества, углерод оксид, хром, пыль неорганическая: 70–20 % SiO_2 , до 20 % SiO_2 , марганец, бензол, формальдегид, соединения никеля, дигидросульфид, меди оксид. Уровень снижения выбросов этих веществ варьирует от 1 до 100 % в зависимости от конкретного объекта.

Анализ данных отечественных и зарубежных работ о негативном влиянии выбросов объектов теплоэнергетики на качество атмосферного воздуха и на формирование нарушений здоровья населения, об инструментах его государственного регулирования и использования НДТ дополнен и расширен за счёт: оценки пространственного распределения зон влияния объектов теплоэнергетики, формирующих риски причинения вреда; разработки научно обоснованного алгоритма гигиенической оценки эффективности воздухоохраных мероприятий, базирующегося на интегральном анализе многокомпонентных показателей и обеспечивающего точность оценки регулирующих воздействий в отношении хозяйствующих субъектов и приоритетных загрязняющих веществ; его апробации на репрезентативной территории.

В результате расширена и уточнена система причинно-следственных связей между экспозицией аэрогенных химических факторов и заболеваемостью населения при их комбинированном воздействии; усовершенствован метод оценки ингаляционного риска через детерминированный популяционный вред с применением нечеткого моделирования; выявлена высокая вероятность тяжелых нарушений здоровья у экспонированного населения, подверженного воздействию выбросов объектов теплоэнергетики; установлено сходство состава твердых частиц в атмосферном воздухе зоны наибольшего влияния ТЭЦ и золы, идентичность состава золы и экзогенных микроразмерных примесей в биологических средах (выдыхаемый воздух, мокрота, кровь); научно обоснован безопасный уровень ингаляционного воздействия частиц PM_{10} ($0,002 \text{ мг/м}^3$) при хронической экспозиции, подчеркнута гигиеническая важность дифференцированного подхода к снижению рисков для здоровья через соблюдение гигиенических нормативов, критериев приемлемого риска и оптимизацию регулирования выбросов [47, 95].

На основе полученных результатов научного исследования разработан комплекс гигиенических рекомендаций по митигации риска и вреда здоровью населения для основных участников системы управления качеством среды обитания и общественным здоровьем – специалистов Роспотребнадзора, Росприроднадзора, Министерства здравоохранения, хозяйствующих субъектов и администрации города в части: оптимизации мониторинга качества атмосферного воздуха с акцентом на приоритетные загрязняющие вещества, уточнения взаимосвязей между уровнем загрязнения и состоянием здоровья населения в рамках СГМ, модернизации оборудования и использования НДТ, разработки программ управления рисками и информирования населения, внедрения программ медицинской профилактики для групп риска и др. мероприятия.

Таким образом, проведенное исследование сформировало комплексную научно-методическую основу для гигиенической оценки и управления рисками здоровью, обусловленными многокомпонентным загрязнением атмосферного воздуха. Разработанный и апробированный алгоритм интегральной оценки эффективности воздухоохраных мероприятий показал целесообразность перехода от стратегии валового (недифференцированного) сокращения выбросов в пользу дифференцированного регулирования приоритетных загрязнителей на основе критериев риска. Полученные результаты, включая обоснование безопасного уровня воздействия PM_{10} и выявление особенностей градиентного распределения твердых частиц в дыхательном тракте, имеют непосредственное практическое значение для совершенствования контрольно-надзорной деятельности, системы социально-гигиенического мониторинга и планирования воздухоохраных мероприятий. Предложенные решения составляют методологическую основу, применимую для тиражирования на других промышленных территориях с многокомпонентной антропогенной нагрузкой.

ВЫВОДЫ

1. Потенциальные риски причинения вреда здоровью населения, формируемые деятельностью объектов теплоэнергетики, по территории РФ распределены неравномерно. Сибирский федеральный округ занимает одно из первых мест в стране по численности хозяйствующих субъектов (1,1 тыс., или 23,2 %), характеризующихся высоким уровнем потенциального риска причинения вреда здоровью ($R_{cp}^I = 9,9 \cdot 10^{-4}$). Под воздействием находится более 8 млн человек, что указывает на необходимость приоритетного управления рисками для здоровья населения, связанными с производством и распределением тепловой энергии.

2. Предложенные методические подходы, развивающие гигиеническую оценку эффективности воздухоохраных мероприятий по дифференцированной митигации рисков и вреда здоровью населения, позволяют проводить комплексный и объективный анализ результатов в условиях многокомпонентного загрязнения атмосферного воздуха. Их реализация обеспечивает достижение гигиенических нормативов и снижение уровней риска до допустимых значений на всей территории жилой застройки.

3. Прогноз показал, что реализация воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики на репрезентативной территории в рамках Комплексного плана снизит валовые выбросы загрязняющих веществ, в том числе общераспространенных, на 20,9 тыс. т/год (10,99 % от общего объема выбросов всех источников города). Это обеспечит сокращение суммарных выбросов от объектов теплоэнергетики на 38 % по сравнению с базовым уровнем (2017 г.), выбросы приоритетных загрязняющих веществ снизятся на 8,9 тыс. тонн (16,2 % от суммарного выброса объектов теплоэнергетики). При этом необходимость дифференцированного учета опасности компонентов выбросов для здоровья населения не предусмотрена Комплексным планом.

4. До реализации воздухоохраных мероприятий в атмосферном воздухе репрезентативной территории регистрировались превышения ПДК по шести веществам с учетом вклада этих объектов в загрязнение – до 29,92 ПДКм.р., до 19,04 ПДКс.г. Изолированные мероприятия только на объектах теплоэнергетики, несмотря на локальное снижение максимальных и средних концентраций, по прогнозу не обеспечат значимого улучшения качества атмосферного воздуха, превышения гигиенических нормативов сохранятся по этим же 6 веществам (до 29,8 ПДКм.р., до 19,03 ПДКс.г.).

5. Установлена сопоставимость компонентного, дисперсного и морфологического состава твердых фракций пыли и атмосферного воздуха в зоне максимального влияния ТЭЦ: более 78 % частиц представлены алюминий, кремний, железо, натрий, калий, кальций, сера и

фосфор. В обоих случаях доминируют мелкодисперсные фракции: в золе преобладают частицы размером до 4,0 мкм – 65 %, из них менее 1,5 мкм – 20,9 %; частицы размера до 5,5 мкм в атмосферном воздухе составляют более 50 %, в обоих случаях до 30 % частиц имеют округлую форму.

6. До проведения воздухоохраных мероприятий установлены высокие уровни канцерогенного риска по формальдегиду (CR до $3,28 \cdot 10^{-4}$), неканцерогенного острого риска – для углерода оксида, бензола, формальдегида, взвешенных веществ (максимальные значения HQ_{ac} от 2,83 до 24,96), и хронического риска – для формальдегида, взвешенных веществ, азота диоксида, углерода оксида, диметилбензола, бензола (максимальные значения HQ_{ch} от 1,20 до 19,04), индексов опасности для органов дыхания (до 25,81 при остром и до 22,65 при хроническом воздействии). После внедрения воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики превышение канцерогенного риска по формальдегиду сохранится (CR до $3,28 \cdot 10^{-4}$). Повышенные уровни острого и хронического неканцерогенного риска снизятся незначительно, риски заболеваний органов дыхания, зрения, иммунной и сердечно-сосудистой систем, процессов развития организма, системного действия останутся высокими (до 25,48 HN_{ac} и до 22,60 HN_{ch}). Мероприятия позволят вывести из зон повышенного риска не более 5 % населения репрезентативной территории (до 50,8 тыс. человек).

7. Деятельность объектов теплоэнергетики до реализации воздухоохраных мероприятий обуславливает 87 тыс. дополнительных случаев (9 469,7 случаев на 100 тыс. населения) заболеваний, связанных с качеством воздуха, при этом 80 % приходится на болезни органов дыхания. Экономические потери от снижения ВВП вследствие указанных заболеваний оцениваются в 1 012,9 млн рублей в год, из них 400,6 млн рублей приходится на болезни органов дыхания у детей. Углубленная оценка показала, что в зоне повышенного влияния выбросов ТЭЦ у 12,1 % (2,9 тыс.) экспонированных взрослых и 16 % (1,1 тыс.) детей формируется совокупный вред здоровью средней и высокой степени тяжести в виде болезней органов дыхания, зрения, кровообращения, пищеварения, нервной, мочеполовой и костно-мышечной систем, злокачественных новообразований, обусловленный воздействием девяти химических веществ (взвешенные вещества, соединения марганца, азота диоксид, бензол, бенз(а)пирен, формальдегид, соединения никеля, дигидросульфид, меди оксид). Внедрение воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики позволит снизить дополнительную заболеваемость на 18,8 % (16,4 тыс. случаев), болезни органов дыхания останутся доминирующими (75,5 %). Однако прогнозируемое снижение экономического ущерба является недостаточным – потери сохранятся на значительном уровне в 820,8 млн рублей в год.

8. Установлено градиентное распределение твердых частиц в дыхательном тракте волонтеров из зоны максимального влияния ТЭЦ: более 65 % осевших частиц в верхних

дыхательных путях имеют диаметр свыше 10 мкм. При вдыхании частиц, представленных алюминием, кремнием, железом, натрием, кальцием и др. доля крупных – уменьшается, а мелких увеличивается: в мокроте средних и нижних дыхательных путей почти 60 % частиц размером 2,5 мкм или меньше представлены кремнием, серой, кальцием, алюминием, железом и натрием, 46,7 % из них – 1,5 мкм или меньше. В крови преобладают частицы менее 1,5 мкм (до 89,5 %) со сферической формой (сферичность 0,9-1,0). В выдыхаемом воздухе наблюдается смещение к более крупным частицам (более 10 мкм) округлой формы – более 50,0 %, представленным кремнием, железом, кальцием и алюминием. Предложен безопасный уровень для PM₁ в условиях хронической ингаляционной экспозиции на уровне 0,002 мг/м³.

9. Интегральный показатель эффективности воздухоохраных мероприятий по лимитирующему значению (по критерию HQ_{ch}), составил 17,4 %, что классифицируется как неприемлемый уровень и свидетельствует о необходимости дальнейшей оптимизации Комплексного плана.

10. Оптимально достаточным снижением валового выброса от объектов теплоэнергетики по критериям достижения гигиенических нормативов и допустимого уровня риска здоровью является их дифференцированное снижение на 3,46 тыс. тонн (6,3 % от суммарного выброса всех объектов теплоэнергетики или 2,45 % от валового выброса от всех источников города), с приоритетом регулирования выбросов на ТЭЦ-1, 12 угольных котельных и АИТ в отношении 15 приоритетных веществ (азота диоксид, углерод, сера диоксид, бенз(а)пирен, взвешенные вещества, углерод оксид, хром, пыль неорганическая: 70–20 % SiO₂, до 20 % SiO₂, марганец, бензол, формальдегид, соединения никеля, дигидросульфид, меди оксид), которые составляют 39 % валового выброса от запланированного в Комплексном плане.

11. Разработка и внедрение комплекса гигиенических рекомендаций по митигации риска и вреда здоровью населения для основных участников системы управления качеством среды обитания и общественным здоровьем является основой для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия территории. Обоснованы объем и содержание оптимизации мониторинга качества атмосферного воздуха, направления оптимальных регулирующих воздействий с использованием дифференцированного подхода к квотированию приоритетных загрязняющих веществ, сформулированы рекомендации по модернизации оборудования, использованию НДТ, разработке программ управления рисками и информирования населения и др. мероприятия.

РЕКОМЕНДАЦИИ

Результаты исследований позволили обосновать следующие рекомендации.

1. Специалистам территориальных органов и организаций Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека в Красноярском крае:

– модернизировать и расширить систему социально-гигиенического мониторинга качества атмосферного воздуха в непосредственной зоне влияния объектов теплоэнергетики с применением современных методик отбора проб и анализа загрязняющих веществ. Особое внимание следует уделять количественной оценке концентраций приоритетных загрязнителей, которые формируют совокупный причиненный вред здоровью, а именно взвешенные вещества, азота диоксид, бензол, бенз(а)пирен, формальдегид, оксид углерода, дигидросульфид, диметилбензол, этилбензол марганца, фториды газообразные, пыль неорганическая и др. вещества. Для каждой примеси в рамках полной или неполной программы минимальное необходимое число наблюдений должно составлять 300 измерений в год;

– проводить систематический комплексный эпидемиологический мониторинг состояния здоровья населения, проживающего в пределах зон повышенного риска, с использованием статистического анализа заболеваемости, госпитализаций и смертности по профилю заболеваний, ассоциированных с воздействием загрязненного воздуха веществами – компонентами выбросов объектов теплоэнергетики. К таким заболеваниям относятся болезни органов дыхания, пищеварения, опорно-двигательного аппарата, болезни системы кровообращения, нервной, мочеполовой систем, онкологические заболевания и др. Осуществление мониторинговых наблюдений должно продолжаться до достижения в указанных зонах допустимых уровней риска для здоровья населения, связанного с хозяйственной деятельностью объектов теплоэнергетики;

– интегрировать в гигиенический мониторинг данные экологического мониторинга с целью уточнения взаимосвязей между уровнем загрязнения атмосферного воздуха и изменениями показателей здоровья населения для подготовки предложений для принятия федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органами местного самоуправления необходимых мер по устранению выявленных вредных воздействий факторов среды обитания человека.

– применять дифференцированный подход при определении перечня приоритетных веществ, подлежащих квотированию; формировании обоснованного перечня объектов квотирования; проведении предварительного анализа мероприятий, включённых в комплексные планы и программы, в планы по охране атмосферного воздуха. Указанный подход является методологической основой для разработки мероприятий, направленных на достижение

допустимого уровня риска для здоровья населения в городах, в том числе на территориях, входящих в федеральный проект «Чистый воздух»;

- проводить санитарно-просветительскую работу среди населения с целью повышения информированности о потенциальных рисках причинения вреда здоровью, связанных с загрязнением воздуха, и обучения эффективным методам самозащиты, включая использование средств индивидуальной защиты, изменение поведения в периоды повышенного загрязнения;

- организовать взаимодействие с медицинскими учреждениями для обеспечения своевременной диагностики и адекватной терапии заболеваний, связанных с воздействием загрязненного воздуха, их раннего выявления и диспансерного наблюдения у групп риска;

- предусмотреть при планировании контрольно-надзорных мероприятий в отношении объектов теплоэнергетики оценку наличия установленных санитарно-защитных зон и их регистрации как ЗОУИТ в органах Росреестра, соответствия фактического использования территорий в границах санитарно-защитных зон установленным ограничениям;

2. *Специалистам Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор) в Красноярском крае:*

- актуализировать Комплексные планы снижения негативного воздействия на окружающую среду (атмосферный воздух) с целью повышения их эффективности и достижения экологической безопасности и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, в том числе в зонах воздействия объектов теплоэнергетики;

- оптимизировать технологические и организационные мероприятия, направленные на минимизацию выбросов приоритетных компонентов путем внедрения НДТ (ИТС 38-2024) на теплоэнергетических объектах с учетом их технической реализуемости, направленных на уменьшение рисков для здоровья населения в зонах воздействия теплоэнергетических предприятий;

- обеспечить включение в инвентаризационные ведомости максимально полного перечня химических компонентов твердых частиц, содержащихся в выбросах объектов теплоэнергетики, с целью более точной оценки их возможного воздействия на здоровье населения, проживающего в зонах повышенного влияния данных объектов;

- организовать перераспределение квот выбросов среди крупных предприятий теплоэнергетического комплекса с учетом их экологического потенциала, технологических возможностей и влияния на качество воздуха в населенных пунктах.

3. *Хозяйствующим субъектам г. Красноярска в сфере теплоэнергетики:*

- разработать и поэтапно внедрять программы модернизации, предусматривающие замену устаревших котельных установок и агрегатов на современные экологически безопасные технологии с улучшенными показателями по сжиганию топлива и эффективной очистке дымовых газов; внедрять инновационные системы фильтрации и очистки выбросов, включая электрофильтры, скрубберы, циклоны и другие современные технологии, способные значительно снизить

концентрации взвешенных вещества, оксидов азота, оксида серы, и других токсичных компонентов, негативно влияющих на здоровье населения;

- обеспечить строгий контроль за параметрами работы оборудования, включая температуру горения, эффективность очистки и уровень выбросов, с использованием автоматизированных систем мониторинга, позволяющих оперативно выявлять и устранять отклонения от нормативных значений;

- провести поэтапную ликвидацию устаревших угольных котельных с целью уменьшения содержания в атмосферном воздухе типичных для их деятельности загрязнителей, включая взвешенные вещества, диоксид серы, оксиды азота и тяжёлые металлы;

- организовать обучение и повышение квалификации персонала по вопросам использования современных экологически чистых технологий и соблюдения требований санитарных и экологических стандартов.

4. *Администрации и органам местного самоуправления г. Красноярска:*

- разработать и внедрить региональную программу, направленную на управление рисками и снижение негативного воздействия на здоровье населения;

- до улучшения ситуации в городе и достижения нормативных значений качества среды обитания и допустимых уровней риска здоровью обеспечить систематическое информирование населения о текущих факторах риска, потенциальных неблагоприятных последствиях для здоровья, о доступных методах и средствах профилактики заболеваний, учитывая территориальные особенности и сложившиеся уровни экспозиции вредных химических факторов, поступающих ингаляционным путем.

5. *Министерству здравоохранения Красноярского края:*

- разработать и внедрить целевую программу, обеспечивающую адресную медико-профилактическую поддержку населения, проживающего в зонах повышенного риска. В рамках программы предусмотреть активное выявление групп с повышенным риском нарушения здоровья, проведение профилактических осмотров и диспансеризации, разработку индивидуальных программ профилактики и лечения, повышение информированности населения о мерах защиты здоровья. Особое внимание уделить профилактике и лечению заболеваний дыхательной системы, органов пищеварения, зрения, сердечно-сосудистой, нервной и опорно-двигательной систем.

Таким образом, использование дифференцированного подхода к выбору оптимальных направлений регулирующих воздействий в отношении всех источников загрязнения атмосферного воздуха позволит лицам, принимающим управленческие решения, приоритизировать воздухоохраные мероприятия, уточнять Комплексные планы по улучшению качества атмосферного воздуха, совершенствовать региональные планы развития территорий, ориентировать бизнес-сообщество на внедрение эффективных мер по снижению выбросов приоритетных по критериям риска здоровью веществ и обеспечивать системное межведомственное взаимодействие с целью достижения санитарно-эпидемиологического благополучия и экологической безопасности.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

В перспективе реализация национальных проектов позволит осуществить переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, что будет способствовать улучшению санитарно-эпидемиологической обстановки в крупных промышленных регионах и минимизации потенциальных рисков здоровью населения, проживающего в зонах влияния объектов топливно-энергетического комплекса.

Дальнейшая разработка темы предполагает развитие следующих научно-методических направлений: изучение эмерджентных свойств неканцерогенных факторов риска здоровью; совершенствование количественных и классификационных характеристик неканцерогенного риска, развитие подходов к оценке его реализации; уточнение фактических объемов выбросов загрязняющих веществ, требующих регулирования; в зонах потенциального риска здоровью оценка адекватности и достаточности планируемых воздухоохраных мер с позиций предотвращенного вреда здоровью; формирование перечня веществ, подлежащих обязательному регулированию на основе критериев причиненного вреда здоровью, экономическая оценка результативности планов воздухоохраных мероприятий.

Актуальность данных направлений обусловлена необходимостью совершенствования методических подходов к анализу и прогнозированию влияния факторов среды обитания на здоровье населения в условиях множественности и неопределённости воздействующих факторов. Существующая практика реализации Комплексных планов свидетельствует о сохраняющихся проблемах: качество атмосферного воздуха на ряде территорий по-прежнему не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям; законодательно закреплённые инструменты регулирования на практике ограничены в эффективности ввиду высоких затрат, недостаточной заинтересованности хозяйствующих субъектов и ошибок планирования; устанавливаемые квоты выбросов не учитывают технологические и экономические возможности предприятий, нестационарность режимов работы оборудования.

Для развития направления оптимизационной задачи в области охраны атмосферного воздуха и минимизации рисков здоровью населения представляется целесообразным проведение следующих исследований:

- разработка многокритериальных оптимизационных моделей, позволяющих одновременно учитывать гигиенические, экономические и технологические ограничения при выборе приоритетных воздухоохраных мероприятий;

- совершенствование методов учёта нестационарности выбросов (неодновременной и неравномерной работы оборудования, изменения режимов, стадийности технологических процессов) при построении оптимизационных задач;
- создание методического аппарата для оптимизации распределения контрольно-надзорных ресурсов Роспотребнадзора в отношении объектов разных категорий риска причинения вреда здоровью;
- проведение углублённых исследований результативности и эффективности санитарно-эпидемиологического надзора на объектах различных классов риска в сфере гигиены детей и подростков, гигиены питания, гигиены труда;
- разработка подходов к экономической оценке эффективности планов воздухоохраных мероприятий с учётом предотвращённого вреда здоровью;
- совершенствование методов верификации расчётных данных инструментальными измерениями для повышения точности оптимизационных расчётов и исключения как избыточных, так и недостаточных природоохраных затрат;
- исследование эмерджентных свойств неканцерогенных факторов риска здоровью и их учёт в оптимизационных моделях;
- развитие подходов к формированию перечней приоритетных веществ, подлежащих обязательному регулированию по критериям причинённого вреда здоровью, с учётом долевого вклада источников.

Для службы Роспотребнадзора перспективными направлениями являются переход от оценки эффективности по валовому снижению выбросов к контролю за снижением приоритетных загрязнителей, формирующих риски для здоровья, совершенствование системы социально-гигиенического мониторинга в части учёта долевого вклада источников в формирование экспозиции, развитие межведомственного взаимодействия при корректировке Комплексных планов и региональных программ развития территорий, научно-методическое обеспечение дифференцированного подхода к выбору оптимальных регулирующих воздействий, обоснование перечней веществ, подлежащих приоритетному регулированию по критериям причинённого вреда здоровью.

Для хозяйствующих субъектов перспективы связаны с внедрением эффективных мер по снижению выбросов приоритетных веществ, определённых по критериям риска здоровью, возможностью оптимизации природоохраных затрат путём концентрации усилий на снижении выбросов наиболее опасных загрязнителей вместо снижения общего валового объёма, учётом технологической и экономической целесообразности при разработке программ снижения выбросов, участием в формировании реалистичных и выполнимых планов воздухоохраных мероприятий.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АИТ	Автономные источники теплоснабжения
ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения
ГИС	Геоинформационная система
ГОСТ	Государственный общесоюзный стандарт
ИЗА	Индекс загрязнения атмосферы
КИЗА	Комплексный индекс загрязнения атмосферы
КЭР	Комплексное экологическое разрешение
ЛОС	Летучие органические соединения
МАИР	Международного агентства по изучению рака
МКБ	Международная классификация болезней
МР	Методические рекомендации
МУ	Методические указания
МРР	Московские региональные рекомендации
МЭА	Международное энергетическое агентство
НДТ	Наилучшие доступные технологии
ОКВЭД	Общероссийский классификатор видов экономической деятельности
ПАУ	Полициклические ароматические углеводороды
ПДК	Предельно допустимая концентрация
ПЭК	Производственный экологический контроль
РФ	Российская Федерация
СанПиН	Санитарные правила и нормы
СГМ	Социально-гигиенический мониторинг
ТФОМС	Территориальный фонд обязательного медицинского страхования
ТЭЦ/ТЭС	Теплоэлектроцентраль/теплоэлектростанция
ХОБЛ	Хроническая обструктивная болезнь легких

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абалаков, А.Д. Экологическая оценка топливно-энергетического комплекса республики тыва / А.Д. Абалаков, Н.Б. Базарова // География и природные ресурсы. – 2018. – № 4. – С. 167–174. – DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-4(167-174).
2. Автоматические системы непрерывного контроля и учета выбросов вредных (загрязняющих) веществ тепловых электростанций в атмосферный воздух. Общие требования: Предварительный национальный стандарт РФ ПНСТ 187-2017 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200145266?ysclid=mn9i3z3n5789638277> (дата обращения 26.12.2025)
3. Азаров, В.Н. Нормирование PM10 и PM2,5 как социальные стандарты качества жизни в районах расположения предприятий стройиндустрии / В.Н. Азаров, И.В. Тertiшников, Н.А. Маринин // Жилищное строительство. – 2012. – № 3. – С. 20–23. – EDN: PACRFZ.
4. Анализ особенностей формирования качественного и количественного состава выбросов в атмосферный воздух городской среды от источников электросталеплавильных цехов / О.В. Бурлаченко, Е.А. Семенова, Н.М. Сергина, И.А. Гвоздков // Современная наука и инновации. – 2015. – № 4(12). – С. 81–86.
5. Андришунас, А.М. Гигиеническая оценка компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов в Атмосферном воздухе в зоне влияния крупного промышленного предприятия / А.М. Андришунас, С.В. Клейн // Медицина труда и экология человека. – 2023. – № 2(34). – С. 98–116. – DOI: 10.24412/2411-3794-2023-10207.
6. Андришунас, А.М. Прогнозная оценка результативности воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетического комплекса / А.М. Андришунас, С.Ю. Балашов // Анализ риска здоровью - 2024: Матер. XIV Всеросс. научно-практич. конф. с междунар. уч-ем. В 2-х томах, Пермь, 15–16 мая 2024 года. – Пермь: Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, 2024. – С. 121–126. – EDN: SKCWBA.
7. Андришунас, А.М. Риск-ориентированный надзор на объектах, осуществляющих деятельность в сфере теплоэнергетики / А.М. Андришунас, С.В. Клейн // Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях: Матер. XII всеросс. научно-практич. интернет-конф. молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с междунар. уч-ем, Саратов, 26–29 апреля 2022 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2022. – С. 23–26. – EDN: VGKXLA.
8. Апостериорная оценка аэрогенного неканцерогенного риска здоровью в виде ассоциированных с качеством атмосферного воздуха случаев заболеваемости населения крупного промышленного центра / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, И.В. Май [и др.] // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102, № 11. – С. 1241–1250. – DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-11-1241-1250.
9. Бабанов, С. Пылевые заболевания легких: диагностика, лечение / С. Бабанов, О. Аверина // Врач. – 2013. – № 2. – С. 25–28. – EDN: PXKFHJ.

10. Барышева, О.Б. Эффективность применения разработанного твердотопливного котла длительного горения / О.Б. Барышева, Ю.Х. Хабибуллин, Г.Р. Хасанова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 1(35). – С. 123–127. – EDN: VUSKIH.
11. Басов, А.В. Некоторые аспекты определения понятия «Санитарно-эпидемиологического благополучия населения» / А.В. Басов // Развитие государственности и права в Республике Крым: Матер. Всероссий. научно-практич. конф., Краснодар, 05 февраля 2016 года / Под общей редакцией С. А. Буткевича. – Краснодар: Краснодарский университет МВД России, 2016. – С. 247–250. – EDN: WIPRJN.
12. Бахтиерова, Н.Б. Влияние выбросов предприятий теплоэнергетики на окружающую среду и здоровье населения / Н.Б. Бахтиерова, Б.М. Сулейменова // Теория и практика современной науки. – 2016. – № 4(10). – С. 110-113. – EDN: WBBMTJ.
13. Бахтин, Ю.К. Факторы формирования здоровья человека и их значение / Ю.К. Бахтин // Молодой ученый. – 2012. – № 5. – С. 397–400. – EDN: RFYSAP.
14. Богачева, Т.М. Перспективы повышения экологичности угольных ТЭС / Т.М. Богачева, З.Г. Ярмуш // Экология и промышленность России. – 2013. – № 8. – С. 57–60. – EDN: QZMTGL.
15. Быкова, А.А. Оценка риска здоровью при энергетическом загрязнении окружающей среды / А.А. Быкова, Н.П. Фандеев, А.А. Мишанов // Вестник Международной академии системных исследований. Информатика, экология, экономика. – 2008. – Т. 11, № 1. – С. 95–97. – EDN: RLWSDD.
16. Валиева, Г. Влияние энергетики на окружающую среду: проблемы и пути решения / Г. Валиева, А. Аннагулыева, Б. Ачылов // In Situ. – 2024. – № 10. – С. 23–25. – EDN: LFBVHO.
17. Величковский, Б.Т. Реформы и здоровье населения страны: (Пути преодоления негативных последствий) / Б.Т. Величковский; М-во здравоохранения Рос. Федерации. Рос. гос. мед. ун-т. - 3. изд., перераб. и доп. – М.; Воронеж: Истоки, 2002. – 64 с. – ISBN 5-88242-193-4.
18. Вишнякова, О.В. Загрязнение атмосферного воздуха взвешенными веществами в г. Гусиноозерск (Республика Бурятия) / О.В. Вишнякова, В.Л. Убугунов // Проблемы региональной экологии. – 2019. – № 6. – С. 113–115. – DOI: 10.24411/1728-323X-2019-18113.
19. Власов, Д.В. Геохимия дорожной пыли (Восточный округ Москвы) / Д.В. Власов, Н.С. Касимов, Н.Е. Кошелева // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2015. – № 1. – С. 23–33. – EDN: TUUFLJ.
20. Влияние выбросов объектов теплоэнергетики, использующих различный вид топлива, на пылевое загрязнение атмосферного воздуха / А.В. Таловская, Е.Г. Языков, Е.А. Филимоненко [и др.] // Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития: Сб. науч. тр. междунар. научн. конф., Томск, 12–16 ноября 2018 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2018. – С. 275–276. – EDN: YVALNB.

21. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения (обзор литературы) / Р.А. Голиков, Д.В. Суржиков, В.В. Кислицына, В.А. Штайгер // Научное обозрение. Медицинские науки. – 2017. – № 5. – С. 20–31. – EDN: ZCRUKZ.
22. ВОЗ. Загрязнение воздуха внутри жилых помещений и здоровье [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health> (дата обращения: 20.12.2025).
23. Возобновляемая энергетика в России и мире: РЭА Минэнерго России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosenergo.gov.ru/upload/iblock/e04/3xtm87iv99x76b23c6wjul3as5pzz8zj.pdf?ysclid=mn9meqtkcn896864627> (дата обращения: 21.12.2025).
24. Генихович, Е.Л. Мониторинг загрязнения воздуха как инструмент оценки эффективности нормирования выбросов и их регулирования в периоды неблагоприятных метеорологических условий / Е.Л. Генихович, В.И. Кириллова // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2019. – № 593. – С. 85–98. – EDN: AVMQFD.
25. Гигиеническая оценка ситуации и анализ риска здоровью населения как информационная основа организации мониторинга и формирования комплексных планов воздухоохраных мероприятий федерального проекта «Чистый воздух» / И.В. Май, С.В. Клейн, Е.В. Максимова [и др.] // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 10. – С. 1043–1051. – DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-10-1043-1051.
26. Глобальные выбросы углекислого газа обновили в 2018 году исторический рекорд [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://tass.ru/nauka/6816042> (дата обращения: 20.02.2026).
27. Григоренко, А.В. Влияние предприятия теплоэнергетики на селитебную территорию г. Минусинска / А.В. Григоренко // Экологические проблемы промышленных городов: Сб. науч. тр. по матер. 6-й Всеросс. научно-практич. конф. с междунар. уч-ем, Саратов, 10–12 апреля 2013 года / Под редакцией Е.И. Тихомировой. Том Часть 1. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2013. – С. 174–176. – EDN ZTCUFD.
28. Ефимова, Н.В. Оценка годовой динамики химического аэрогенного риска для здоровья и смертности населения промышленного центра / Н.В. Ефимова, М.В. Кузьмина, Е.В. Бобкова // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102, № 12. – С. 1375–1380. – DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-12-1375-1380.
29. Жаронкина, Е.А. Стратегия Европейского союза в области использования возобновляемых источников энергии / Е.А. Жаронкина, А.А. Гольцева // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2022. – Т. 24, № 3(91). – С. 299–308. – DOI: 10.21603/2078-8975-2022-24-3-299-308.
30. Загороднов, С.Ю. Изучение компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов предприятий металлургического комплекса для задач оценки экспозиции населения / С.Ю. Загороднов, А.А. Кокоулина, Е.В. Попова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 5-2. – С. 451–456. – EDN: VYZMJD.

31. Загороднов, С.Ю. Мелкодисперсные частицы (PM_{2,5} и PM₁₀) в атмосферном воздухе крупного промышленного региона: проблемы мониторинга и нормирования в составе производственных выбросов / С.Ю. Загороднов, И.В. Май, А.А. Кокоулина // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 2. – С. 142–147. – DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-142-147.
32. Зайкова, З.А. Определение приоритетных загрязняющих веществ атмосферного воздуха г. Иркутска / З.А. Зайкова // Анализ риска здоровью - 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью Rise-2020 и круглым столом по безопасности питания: Матер. X Всеросс. научно-практич. конф. с междунар. уч-ем. В 2-х томах, Пермь, 13–15 мая 2020 года / Под редакцией А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. Т. 1. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2020. – С. 272–276. – EDN VUNAKC.
33. Зола природных углей – нетрадиционный сырьевой источник редких элементов / Г.Л. Пашков, С.В. Сайкова, В.И. Кузьмин [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – Т. 5, № 5. – С. 520–530. – EDN: PKIZTR.
34. Иваницкий, М.С. Статистический анализ выбросов супертоксичных соединений от пылеугольных котлов / М.С. Иваницкий // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2017. – № 4. – С. 12–16. – DOI: 10.18635/2071-2219-2017-4-12-16.
35. Игнатенко, О.В. Оценка влияния объектов теплоэнергетики на загрязнение атмосферного воздуха в городах Иркутской области / О.В. Игнатенко // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2019. – Т. 1. – С. 220–224. – EDN: VONWCZ.
36. Исследование состава аэрозольных загрязнений в атмосфере города Москвы / А.З. Разяпов, С.С. Воронич, Д.Е. Пахомов [и др.] // Экологические системы и приборы. – 2016. – № 3. – С. 3–9. – EDN: VSMIND.
37. ИТС 38-2024. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rst.gov.ru:8443/file-service/file/load/1734945572768?ysclid=mnaqfyw7xs301688046>. (дата обращения: 20.01.2026).
38. Карабекова, А.А. Развитие тепловой энергетики: анализ, проблемы, перспективы / А.А. Карабекова // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2017. – № 3(105). – С. 123–127. – EDN: YTPROZ.
39. Карпин, В.А. Современные медико-экологические аспекты внутренних болезней на урбанизированном Севере / В.А. Карпин // Терапевтический архив. – 2003. – Т. 75, № 1. – С. 30–34. – EDN: OJRXND.
40. Клейн, С.В. Предприятия топливно-энергетического комплекса как объекты риск-ориентированного санитарно-эпидемиологического надзора / С.В. Клейн, А.М. Андришунас // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 4. – С. 65–73. – DOI: 10.21668/health.risk/2021.4.07.
41. Ключев, Н.Н. «Грязные» города России: факторы, определяющие загрязнение атмосферного воздуха / Н.Н. Ключев, Л.М. Яковенко // Вестник Российского университета дружбы

народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2018. – Т. 26, № 2. – С. 237–250. – DOI: 10.22363/2313-2310-2018-26-2-237-250.

42. Козодубов, А.А. Стратегия экологической безопасности России: итоги и перспективы / А.А. Козодубов // Экологическое право. – 2022. – № 6. – С. 11–15. – DOI 10.18572/1812-3775-2022-6-11-15. – EDN: LSQYVP.

43. Комарова, А.В. Квотирование выбросов на территории Российской Федерации / А.В. Комарова, Е.А. Маклакова // Матер. Всеросс. молодежной конф., посвящ. Международному дню Земли, Воронеж, 21 апреля 2022 года / Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. – Воронеж: Б. и., 2022. – С. 53–59. – DOI: 10.34220/IED2022_53-59.

44. Комплексная оценка рисков влияния окружающей среды на здоровье населения крупных городов / Л.Ж. Оракбай, М.М. Калимолдин, А.Н. Адилханова [и др.] // Вестник Казахского национального медицинского университета. – 2020. – № 3. – С. 278–281. – EDN: TVVMMP.

45. Комплексная оценка эффективности митигации вреда здоровью на основе теории нечетких множеств при планировании воздухоохраных мероприятий / Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, И.В. Май [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 1. – С. 25–37. DOI: 10.21668/health.risk/2020.1.03.

46. Конституция Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/constitution/> (дата обращения: 10.12.2025).

47. Коньшева, Л. Основы теории нечетких множеств. Учебное пособие / Л. Коньшева, Д. Назаров. – Санкт-Петербург: Питер, 2011. – 192 с. – ISBN 978-5-459-00735-0.

48. Крылов, Д.А. Негативное влияние элементов-примесей от угольных ТЭС на окружающую среду и здоровье людей / Д.А. Крылов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 12. – С. 77–87. – DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-77-87.

49. Липатов, Г.Я. Выбросы вредных веществ от металлургических корпусов медеплавильных заводов / Г.Я. Липатов, В.И. Адриановский // Санитарный врач. – 2013. – № 8. – С. 41–43. – EDN: RLFODJ.

50. Лудинова, Ю.В. Национальные проекты как инструмент развития региона / Ю.В. Лудинова, Н.А. Балашова // Современный менеджмент: проблемы и перспективы: сб. статей по итогам XVII национальной научно-практич. конф. с междунар. уч-ем, Санкт-Петербург, 29–30 сентября 2022 года. Ч. I. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2022. – С. 127–132. – EDN: SLLXOS.

51. Матвеева, М.А. Анализ выбросов оксида азота от предприятий теплоэнергетики г. Пенза / М.А. Матвеева, К.Р. Таранцева // Инновационные пути решения актуальных проблем природопользования и защиты окружающей среды: Сб. докладов Междунар. научно-технич. конф., Алушта, 04–08 июня 2018 года / Отв. ред. И.В. Старостина. Ч. I. – Алушта: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – С. 63–67. – EDN: SKJEET.

52. Методические подходы к оптимизации программ мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в рамках реализации федерального проекта "Чистый воздух" (на примере города Нижнего Тагила) / В.Б. Гурвич, Д.Н. Козловских, И.А. Власов [и др.] // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. – 2020. – № 9(330). – С. 38–47. – DOI 10.35627/2219-5238/2020-330-9-38-47.
53. Минералогия пылевых аэрозолей в зоне воздействия промышленных предприятий г. Томска / Е.А. Филимоненко, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8-3. – С. 760–765. – EDN: QJGPYJ.
54. Михайлюта, С.В. Влияние выбросов автономных источников теплоснабжения на загрязнение атмосферного воздуха / С.В. Михайлюта, А.А. Леженин // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – Т. 4. – С. 116–123.
55. Мищенко, О.А. Мониторинг состояния снежного покрова на территории Хабаровского края / О.А. Мищенко, А.А. Шелганова // Отходы и ресурсы. – 2022. – Т. 9, № 3. – DOI: 10.15862/11ECOR322.
56. МР 2.1.10.0156-19. Оценка качества атмосферного воздуха и анализ риска здоровью населения в целях принятия обоснованных управленческих решений в сфере обеспечения качества атмосферного воздуха и санитарно-эпидемиологического благополучия населения: методические рекомендации. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019. – 27 с.
57. МР 2.1.6.0157-19. Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха и количественная оценка экспозиции населения для задач социально-гигиенического мониторинга: методические рекомендации. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019. – 36 с.
58. МР 2.1.6.0320-23. Порядок определения перечня приоритетных загрязняющих веществ и перечня котируемых объектов с обоснованием оптимальных направлений регулирующих воздействий по минимизации аэрогенных рисков здоровью населения: методические рекомендации. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. – 31 с.
59. МР 5.1.0030-11. Методические рекомендации к экономической оценке и обоснованию решений в области управления риском для здоровья населения при воздействии факторов среды обитания: методические рекомендации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 40 с.
60. МР 5.1.0095-14. Расчет фактических и предотвращенных в результате контрольно-надзорной деятельности экономических потерь от смертности, заболеваемости и инвалидизации населения, ассоциированных с негативным воздействием факторов среды обитания: Методические рекомендации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2015. – 60 с.
61. МР 5.1.0116-17. Риск-ориентированная модель контрольно-надзорной деятельности в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия. Классификация

хозяйствующих субъектов, видов деятельности и объектов надзора на основе потенциального риска причинения вреда здоровью для планирования контрольных мероприятий: методические рекомендации. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2017. – 31 с.

62. МР 5.1.0158-19. Оценка экономической эффективности реализации мероприятий по снижению уровней загрязнения атмосферного воздуха на основании оценки риска здоровью населения: методические рекомендации. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019. – 29 с.

63. МУ 2.1.10.3675-20. Оценка достаточности и эффективности планируемых мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух для митигации рисков и вреда здоровью населения: Методические указания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/400655582/> (дата обращения 15.12.2025).

64. Мудрый, И.В. Тяжёлые металлы в окружающей среде и их влияние на организм / И.В. Мудрый, Т.К. Короленко // Врачебное дело. – 2002. – №5/6. – С. 6–9.

65. Муртазина, М.Ш. Оценка негативного воздействия на экологическое состояние окружающей среды выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от предприятий теплоэнергетики / М.Ш. Муртазина, М.А. Панченко // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: Сб. трудов Всеросс. научно-практич. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. В 2 томах, Юрга, 05–06 ноября 2015 года. Т. 1. – Юрга: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2015. – С. 263–266. – EDN: VRKEUR.

66. На каком топливе работают ТЭЦ? [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://sibgenco.online/news/element/what-fuel-work-chp/> (дата обращения: 23.02.2026).

67. Научное обоснование приоритетных веществ, объектов квотирования и направлений действий по снижению аэрогенных рисков здоровью населения при реализации полномочий санитарной службы Российской Федерации / Н.В. Зайцева, И.В. Май, Д.А. Кирьянов, Д.В. Горяев // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 4. – С. 4–17. DOI: 10.21668/health.risk/2022.4.01.

68. Невидимая угроза: как загрязнение воздуха провоцирует болезни дыхательной системы? [Электронный ресурс] Национальный центр общественного здравоохранения Министерства здравоохранения Республики Казахстан. – Режим доступа: <https://hls.kz/ru/archives/44731?ysclid=mnbzrw4in8279469061> (дата обращения: 04.12.2025).

69. Нецветаев, А.Г. Правовая охрана атмосферного воздуха от загрязнения по законодательству Российской Федерации / А.Г. Нецветаев // Правовая безопасность личности, государства и общества: Сб. статей XIX Междунар. науч. конф., Москва, 25 апреля 2019 года / Под редакцией Н.И. Архиповой, С.В. Тимофеева, Е.Ю. Князевой. – Москва: Российский государственный гуманитарный университет, 2019. – С. 108–116. – EDN: OCINHF.

70. О безопасности: Федеральный закон от 28.12.2010 № 390-ФЗ (ред. от 10.07.2023) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=375318> (дата обращения 20.01.2026).

71. О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изменениями и дополнениями): Федеральный закон № 219-ФЗ от 21.07.2014. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/70700466/> (дата обращения: 01.02.2026).

72. О защите прав потребителей: Федеральный закон от 07.02.1992 № 2300-1 (ред. от 28.12.2025) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=504449&ysclid=mnazpztme9813552797>. (дата обращения: 20.01.2026).

73. О качестве и безопасности пищевых продуктов: Федеральный закон от 02.01.2000 № 29-ФЗ (ред. от 07.06.2025) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=501308&ysclid=mnbdb31b1e730514299> (дата обращения 26.12.2025).

74. О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха: Федеральный закон от 26.07.2019 № 195-ФЗ (ред. от 25.12.2023) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=475009&ysclid=mnbd4ce8s504422076> (дата обращения 26.12.2025).

75. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения. Комментарий к Федеральному закону от 30 марта 1999 г. N 52-ФЗ (коллектив авторов) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/77135546/> (дата обращения: 25.12.2025).

76. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901729631> (дата обращения 26.12.2025).

77. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году: Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ им. М.В. Ломоносова, 2020. – 1000 с.

78. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году: Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2022. – 685 с.

79. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. Проект Государственного доклада. – М.: Минприроды России; ООО «Интеллектуальная аналитика»; ФГБУ «Дирекция НТП»; Фонд экологического мониторинга и международного технологического сотрудничества, 2024. – 707 с.

80. О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2021 году: Государственный доклад. – Красноярск, 2022. – 317 с.

81. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2019 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. – 299 с.
82. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. – 256 с.
83. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2021 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. – 340 с.
84. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. – 368 с.
85. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году: Государственный доклад. – Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. – 364 с.
86. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2024 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2025. – 424 с.
87. О состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2020 году: Информационно-аналитический доклад. М.: Минэнерго России. ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России, 2022. – 98 с.
88. О состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2021 году: Информационно-аналитический доклад. М.: Минэнерго России, 2023. – 111 с.
89. О состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2023 году: Информационно-аналитический доклад. М.: Минэнерго России, 2025. – 164 с.
90. О ходе реализации национального проекта «Экология»: Парламентские слушания [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://council.gov.ru/activity/activities/parliamentary/128532/> (дата обращения: 05.12.2025).
91. Об иммунопрофилактике инфекционных болезней: Федеральный закон от 17.09.1998 № 157-ФЗ (ред. от 25.12.2023) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=501308&ysclid=mnbdb31b1e730514299> (дата обращения 26.12.2025).
92. Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации: Федеральный закон от 21.11.2011 N 323-ФЗ (ред. от 24.07.2023) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/8081edb34c85ed8a35690dfdbf9802f43622eb0f/ (дата обращения: 01.02.2026).

93. Об охране атмосферного воздуха: Федеральный закон от 04.05.1999 г. № 96-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_79336/7287fa931de6521a402ef77d7136fd138047527e/#dst100021 (дата обращения: 15.01.2026).

94. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM 10 и PM 2,5) в воздушной среде / В.Н. Азаров, И.В. Тertiшников, Е.А. Калюжина, Н.А. Маринин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2011. – № 25(44). – С. 402–406. – EDN: PDXKNP.

95. Об уровне безопасного содержания микроразмерных твёрдых частиц PM_{1,0} в атмосферном воздухе / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, К.В. Четверкина [и др.] // Гигиена и санитария. – 2024. – Т. 103, № 11. – С. 1434–1440. – DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-11-1434-144.

96. Об утверждении видов технических устройств, оборудования или их совокупности (установок) на объектах I категории, стационарные источники выбросов загрязняющих веществ которых подлежат оснащению автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ, техническими средствами фиксации и передачи информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду: Распоряжение Правительства РФ № 428-р от 13.03.2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/120970/>. (дата обращения 30.12.2025).

97. Об утверждении перечня городских поселений и городских округов с высоким и очень высоким загрязнением атмосферного воздуха, дополнительно относящихся к территориям эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух на основе сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха: Распоряжение Правительства РФ от 7 июля 2022 г. № 1852-р [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/351103411> (дата обращения: 17.12.2025).

98. Об утверждении перечня, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, относящихся к I категории, вклад которых в суммарные выбросы, сбросы загрязняющих веществ в Российской Федерации составляет не менее чем 60 процентов: Приказ Минприроды № 154 от 18.04.2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rg.ru/2018/07/03/minprirody-prikaz-154-site-dok.html>. (дата обращения: 15.12.2025).

99. Об утверждении Положения о Государственной санитарно-эпидемиологической службе Российской Федерации и Положения о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании: Постановление Правительства РФ от 24.07.2000 № 554 (ред. от 15.09.2005) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901765645?ysclid=mnb9dg31uk865407726>. (дата обращения: 15.12.2025).

100. Оводков, М.В. Методические подходы к оценке экологической эффективности воздухоохраных мероприятий, выполняемых в рамках федерального проекта «Чистый воздух» /

М.В. Оводков, Ю.М. Кочнов // Охрана окружающей среды и заповедное дело. – 2023. – Т. 4, № 3. – С. 124–145. – EDN: XEIWPS.

101. ОК 029-2014 (КДЕС Ред. 2). Общероссийский классификатор видов экономической деятельности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_163320/?ysclid=mn7yueswm414271557 (дата обращения 01.02.2026).

102. Онищенко, Г.Б. Развитие энергетики России. Направления инновационно-технологического развития / Г.Б. Онищенко, Г.Б. Лазарев. – М.: Россельхозакадемия, 2008. – 198 с. – ISBN: 978-5-85941-174-0.

103. Орлов, Р.В. Оценка взвешенных частиц PM10 и PM2.5 в атмосферном воздухе жилых зон / Р.В. Орлов, А.Б. Стреляева, Н.С. Барикаева // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 12(134). – С. 39–41. – EDN: RQEMIR.

104. Основные показатели здоровья населения и здравоохранения Сибирского федерального округа в 2022 году. Сборник статистических и аналитических материалов. Вып. 22 / Под общ. редакцией к.м.н. О.В. Стрельченко. – ООО «Сибирское университетское издательство», 2023. – 266 с. – ISBN 978-5-379-02074-3.

105. Основные показатели здоровья населения и здравоохранения Сибирского федерального округа в 2024 году. Сборник статистических и аналитических материалов. Вып. 24 / Под общ. редакцией к.м.н. О.В. Стрельченко. – ООО «Сибирское университетское издательство», 2025. – 266 с. – ISBN 978-5-379-02097-2.

106. Особенности качественного и количественного состава выбросов в производстве строительных материалов / С.А. Кошкарев, М.В. Белоножко, М.В. Димитренко [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 4(43). – С. 143. – EDN: YJKTBB.

107. Особенности проведения оценки риска здоровью населения при установлении зон влияния котельных, расположенных в жилых районах г. Минска / Д.А. Крупская, Ю.Е. Урбан, И.В. Кондрескул, П.А. Амвросьев // Здоровье и окружающая среда. – 2017. – № 27. – С. 34–36.

108. Охрана окружающей среды в России. 2022: Стат. сб. / Росстат. – М., 2022. – 115 с.

109. Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха выбросами предприятия теплоэнергетики на здоровье населения Новокузнецка / Р.А. Голиков, В.В. Кислицына, Д.В. Суржиков [и др.] // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 6. – С. 348–352. – DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-6-348-352.

110. Оценка канцерогенной опасности чёрного углерода (сажи) и сопутствующих полиаренов промышленных выбросов в атмосферный воздух населённых мест / Н.С. Прилипко, В.В. Турбинский, В.Ф. Рапуга, С.Б. Бортникова // Russian Journal of Rehabilitation Medicine. – 2020. – № 2. – С. 84–102. – EDN: WOLLCX.

111. Паспорт федерального проекта «Внедрение наилучших доступных технологий [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.garant.ru/files/1/0/1403501/pasport-federalnogo->

proekta-vnedrenie-nailuchshih-dostupnyh-tehnologiy.pdf?ysclid=mn8sn8wvq894039794

(дата

обращения: 15.12.2025).

112. Патент на промышленный образец № 144614 Российская Федерация. Схема «Гигиеническая оценка эффективности комплексных планов воздухоохраных мероприятий на территории, в зоне влияния хозяйствующего субъекта (ХС), группы субъектов или объектов»: № 2024504562: заявл. 15.08.2024: опубл. 19.11.2024 / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, К.В. Четверкина [и др.]; заявитель Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – EDN: LJCCAW.

113. Петров, А.С. Исследование влияния объектов теплоэнергетики на окружающую среду / А.С. Петров, А.Н. Самаркина // Новая наука: Теоретический и практический взгляд. – 2016. – № 6-2(87). – С. 152–154. – EDN: WBAVAR.

114. Петров, С.Б. Медико-экологическое обоснование мониторинга здоровья населения на территориях размещения твердотопливных теплоэлектроцентралей: дис. ... д-ра. мед. наук: 14.02.01, 14.02.03 / Петров Сергей Борисович; [Место защиты: Оренбург. гос. мед. акад.]. – Оренбург, 2014. – 287 с.

115. Петров, С.Б. Медико-экологическое обоснование подходов к управлению риском здоровью населения в зоне влияния атмосферных выбросов многотопливных ТЭЦ: монография / С.Б. Петров, Ю.А. Жернов. – Киров, 2022. – 190 с.

116. Петров, С.Б. Оценка эффективности технологических мероприятий для управления риском здоровью населения при воздействии атмосферных выбросов многотопливных теплоэлектроцентралей / С.Б. Петров, Ю.В. Жернов // Экология человека. – 2022. – № 11. – С. 761–770. – DOI: 10.17816/humeco110989.

117. Подходы к определению приоритетных химических веществ для государственного регулирования / Х.Х. Хамидулина, Д.Н. Рабикова, Е.С. Петрова, Е.А. Гусева // Здоровье и окружающая среда: Сб. матер. междунар. научно-практич. конф., Минск, 14–15 ноября 2019 года / Под общей редакцией Н.П. Жуковой. – Минск: Государственное учреждение образования "Республиканский институт высшей школы", 2019. – С. 412. – EDN: WESXHT.

118. Попова, А.Ю. Здоровье населения как целевая функция и критерий эффективности мероприятий федерального проекта «Чистый воздух» / А.Ю. Попова, Н.В. Зайцева, И.В. Май // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 4. – С. 4–13. – DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.01.

119. Постановление Калтанского районного суда Кемеровской области по делу № 5–112/2020 от 11.08.2020 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://судебныерешения.рф/53040322> (дата обращения: 14.01.2026).

120. Практика и перспективы доказательства в досудебных и судебных разбирательствах вреда здоровью человека, наносимого загрязнением атмосферного воздуха и воздуха закрытых

помещений / Э.В. Седусова, С.В. Клейн, И.В. Май, Н.В. Никифорова // Анализ риска здоровью. – 2015. – № 4. – С. 13–20. – EDN: VHWPDV.

121. Предприятия топливно-энергетического комплекса как источники потенциального риска причинения вреда здоровью населения / А.М. Андришунас, Н.В. Зайцева, С.В. Клейн [и др.] // Анализ риска здоровью-2021. Внешнесредовые, социальные, медицинские и поведенческие аспекты. Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2021: Матер. XI Всеросс. научно-практич. конф. с междунар. уч-ем, Пермь, 18–20 мая 2021 года. Т. 1. – Пермь: Издательство Пермского национального исследовательского университета, 2021. – С. 344–354. – EDN: SHTNQQ.

122. Программа газификации регионов России 2021–2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://asprogaz.ru/activity/projects/programma-gazifikatsii-regionov-rossii-2021-2025/?ysclid=mn9sktygo674221207> (дата обращения: 30.01.2026).

123. Просвирякова, И.А. Гигиеническая оценка содержания твердых частиц PM10 и PM2.5 в атмосферном воздухе и риска для здоровья жителей в зоне влияния выбросов стационарных источников промышленных предприятий / И.А. Просвирякова, Л.М. Шевчук // Анализ риска здоровью. – 2018. – № 2. – С. 14–22. – DOI: 10.21668/health.risk/2018.2.02.

124. Процессы образования и основные свойства полых алюмосиликатных микросфер в золах-уноса тепловых электростанций / В.С. Дрожжин, М.Я. Шпирт, Л.Д. Данилин [и др.] // Химия твердого топлива. – 2008. – № 2. – С. 53–66. – EDN: ISCHUT.

125. Путятин, Д.П. Научно-методическое сопровождение федерального проекта «Чистый воздух» и эксперимента по квотированию выбросов / Д.П. Путятин, М.В. Оводков // Охрана окружающей среды и заповедное дело. – 2022. – № 3. – С. 49–59. – EDN: KXEQTN.

126. Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания: руководство. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. – 204 с.

127. Р 50.1.069-2009. Менеджмент риска. Рекомендации по внедрению. Часть 2. Определение процесса менеджмента риска: руководство. – М.: Стандартинформ, 2009. – 16 с.

128. Р 50.1.093-2014. Менеджмент риска. Принципы оценки эффективности воздействий на риск: руководство. – М.: Стандартинформ, 2015. – 16 с.

129. Рахманин, Ю.А. Современные проблемы экологии человека и гигиены окружающей среды в обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения России / Ю.А. Рахманин // Здравоохранение Российской Федерации. – 2008. – № 1. – С. 12–13. – EDN: IJAAJX.

130. Ревич, Б.А. К оценке влияния деятельности ТЭК на качество окружающей среды и здоровье населения / Б.А. Ревич // Проблемы прогнозирования. – 2010. – № 4(121). – С. 87–99.

131. Ревич, Б.А. Национальный проект «Чистый воздух» в контексте охраны здоровья населения / Б.А. Ревич // Экологический вестник России. – 2019. – № 4. – С. 64–69. – EDN: DHOQCI.

132. Редникова, Т.В. Состояние окружающей среды и здоровье человека / Т.В. Редникова // Охрана окружающей среды и качество жизни: Правовые аспекты: Сб. науч. тр. / Центр социал. науч.-информ. исслед. Отд. правоведения; ИГП РАН; отв. ред. Алферова Е.В., Дубовик О.Л.. – МОСКВА, 2011. – С. 67–76. – EDN: OAKWZX.
133. Резинских, В.Ф. Надежность и безопасность ТЭС России на современном этапе: проблемы и перспективные задачи / В.Ф. Резинских, Е.А. Гринь // Теплоэнергетика. – 2010. – № 1. – С. 2–8. – EDN: KZDEJN.
134. Результаты оптимизации системы мониторинга качества атмосферного воздуха для оценки экспозиции при реализации федерального проекта «Чистый воздух» / С.В. Кузьмин, О.О. Сеницына, Н.С. Додина [и др.] // Анализ риска здоровью - 2021. Внешнесредовые, социальные, медицинские и поведенческие аспекты. Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2021: Матер. XI Всеросс. научно-практич. конф. с междунар. уч-ем, Пермь, 18–20 мая 2021 года. Т. 1. – Пермь: Издательство Пермского национального исследовательского университета, 2021. – С. 324–330. – EDN: HAPQAR.
135. Решение Балахтинского районного суда Красноярского края № 2-46/2017 от 11.01.2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sudact.ru/regular/doc/> (дата обращения: 14.01.2026).
136. Риск здоровью населения Норильска при воздействии веществ, загрязняющих атмосферный воздух / И.В. Май, С.В. Клейн, С.А. Вековщина [и др.] // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 5. – С. 528–534. – DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-528-534.
137. Россия увеличит долю возобновляемых источников энергии в 10 раз [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tass.ru/ekonomika/11787295> (дата обращения: 30.01.2026).
138. Рынок электроэнергетики России и основные игроки отрасли: аналитический отчет // Analytic Research Group (ARG). – 2018. – 487 с.
139. Сажина, О.В. Анализ состояния атмосферного воздуха Российской Федерации как объекта, участвующего в процессе загрязнения воздушной среды / О.В. Сажина // Наука и образование: новое время. – 2016. – № 4(15). – С. 42–45. – EDN: WJVLXL.
140. Салынский, А.А. Риск-ориентированный подход при осуществлении контрольно-надзорной деятельности в Российской Федерации. Зарубежный опыт / А.А. Салынский, Г.И. Сметанкина // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2017. – Т. 1. – С. 676–680. – EDN: ZANEEN.
141. Самойлова, Е.А. Изучение загрязнения снегового покрова в зоне влияния объектов теплоэнергетики на примере Томской области / Е.А. Самойлова // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2019. – № 1-2. – С. 221–223. – EDN: EVDXAM.
142. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения 26.12.2025)

143. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021622129 Российская Федерация. Расчетный уровень пылевого воздействия стационарных источников выбросов в точках жилой застройки крупного промышленного центра: № 2021622022: заявл. 05.10.2021: опубл. 12.10.2021 / Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.В. Клейн [и др.]; заявитель Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – EDN: EPPPZI.

144. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022621935 Российская Федерация. Вероятность негативного воздействия на здоровье населения выбросов химических веществ от стационарных источников объектов теплоэнергетического комплекса: № 2022621710: заявл. 13.07.2022: опубл. 04.08.2022 / Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.В. Клейн [и др.]; заявитель Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – EDN: VGCBYO.

145. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022622160 Российская Федерация. Ассоциированные с качеством атмосферного воздуха случаи заболеваний, формируемые выбросами от объектов топливно-энергетического комплекса: № 2022622023: заявл. 12.08.2022: опубл. 30.08.2022 / Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.В. Клейн [и др.]; заявитель Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – EDN: LZADXX.

146. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023624565 Российская Федерация. Показатели компонентного, дисперсного и морфологического состава твердых частиц, содержащихся в выбросах объекта теплоэнергетики и в атмосферном воздухе в зоне его влияния: № 2023624506: заявл. 06.12.2023: опубл. 11.12.2023 / Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.В. Клейн [и др.]; заявитель Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – EDN: MAJBQE.

147. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682357 Российская Федерация. Расчет случаев нарушений здоровья населения, ассоциированных с негативным воздействием промышленных объектов: № 2022681271: заявл. 08.11.2022: опубл. 22.11.2022 / И.В. Май, Н.В. Зайцева, С.В. Клейн [и др.]; заявитель Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – EDN: PYEXZV.

148. Современные вызовы и пути совершенствования оценки и управления рисками здоровью населения / В.Н. Ракитский, С.В. Кузьмин, С.Л. Авалиани [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 3. – С. 23–29. – DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.03.

149. Сокращение объема вредных выбросов превратилось в новый тренд [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rg.ru/2021/06/02/sokrashchenie-obema-vrednyh-vybrossov-prevratilos-v-novuyj-trend.html> (дата обращения: 23.01.2026).
150. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2019 год: Ежегодник. – Санкт-Петербург: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» (ФГБУ ГГО), 2020. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://mgmtmo.ru/edumat/monitoring/zagr_atm_2019.pdf. (дата обращения: 16.12.2025)
151. Сравнительная гигиеническая оценка состава золы и пылевых фракций атмосферного воздуха в зоне влияния теплоэлектростанции для повышения точности оценки риска здоровью населения / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, А.М. Андришунас, С.Ю. Балашов // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2023. – Т. 31, № 12. – С. 37–45. – DOI: 10.35627/2219-5238/2023-31-12-37-45.
152. Старова, Е.В. Новые правовые инструменты ограничения выбросов в атмосферный воздух / Е.В. Старова // Экологическое право. – 2020. – № 2. – С. 27–31. – DOI: 10.18572/1812-3775-2020-2-27-31.
153. Таран, А.А. Влияние экологии на здоровье человека в XXI веке / А.А. Таран, Н.В. Бирюкова // Актуальные вопросы современной науки и образования: монография. – Пенза: Общество с ограниченной ответственностью "Наука и Просвещение", 2021. – С. 258–264. – EDN: ZUVXQN.
154. Телек, К.Н. Проблема загрязнения атмосферного воздуха в Г. Омске / К.Н. Телек, Е.Я. Мухамеджанова // Безопасность городской среды: матер. IV Междунар. научно-практич. конф., Омск, 16–18 ноября 2016 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2017. – С. 34–37. – EDN: YFWTXV.
155. Теплоэнергетика и централизованное теплоснабжение России в 2014-2018 годах: Информационно-аналитический доклад. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://lenoblces.ru/wp-content/uploads/2020/04/Teploenergetika_i_centralizovannoe_teplosnabzhenie_Rossii_v_2014-2018_godah.pdf?ysclid=mnbcuyuqse235556160 (дата обращения: 10.02.2026).
156. Трескова, Ю.В. Проблемы нормирования мелкодисперсных частиц в России и за рубежом / Ю.В. Трескова // Молодой ученый. – 2017. – № 23(157). – С. 17–19. – EDN: YRXHHV.
157. Угольные отходы как сырье для получения редких и рассеянных элементов / Т.Г. Черкасова, Е.В. Черкасова, А.В. Тихомирова [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – № 6(118). – С. 185–190. – EDN: VLMBIK.
158. Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха для задач социально-гигиенического мониторинга: практический опыт реализации мероприятий федерального проекта «Чистый воздух» / С.В. Клейн, Н.В. Зайцева, И.В. Май [и др.] // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 11. – С. 1196–1202. – DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-11-1196-1202.

159. Харайданова, А.А. Влияния выбросов предприятий ТЭК на загрязнение атмосферного воздуха и пути решения проблемы / А.А. Харайданова, В.А. Верхозина // Проблемы развития экономики и предпринимательства: Сб. научн. тр. XVIII всеросс. научно-практич. конф., Иркутск, 11 декабря 2020 года. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2021. – С. 146–149. – EDN: HEPRKP.

160. Чомаева, М.Н. Промышленная пыль как вредный производственный фактор / М.Н. Чомаева // Национальная безопасность и стратегическое планирование. – 2015. – № 2-1(10). – С. 119–122. – EDN: TXMYID.

161. Шайкимова, А.К. Оценка состояния атмосферного воздуха в г. Усть-Каменогорск, Казахстан / А.К. Шайкимова, Е.И. Скурнягина // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых - 2012: матер. Междунар. молодежной науч. конф.: в 3-х томах, Курск, 14–20 ноября 2012 года / Ответственный редактор Горохов А.А.; Юго-Западный государственный университет. Т. 2. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2012. – С. 210–214. – EDN: RNOWYB.

162. Экологический риск здоровью населения промышленного города от выбросов предприятия теплоэнергетики / В.В. Кислицына, Т.Г. Корсакова, И.Ю. Мотуз, В.А. Штайгер // Вестник научных конференций. – 2016. – № 10-5(14). – С. 63–64. – EDN: XDFUDF.

163. Электроэнергетика Сибири: краткий обзор состояния и перспективы развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://marketelectro.ru/content/elektroenergetika-sibiri-kratkiy-obzor-sostoyaniya-i-perspektivy-razvitiya> (дата обращения: 30.01.2026).

164. Электроэнергетический комплекс Европейского союза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eeseaec.org/elektroenergeticeskij-kompleks-evropejskogo-souza> (дата обращения: 29.01.2026).

165. Энергетическая стратегия на период до 2030 года. Доклад о реализации по итогам 2018 г.: М.: Минэнерго России, 2025. – 64 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://peschanskoe-64.gosuslugi.ru/netcat_files/64/1814/Doklad_o_realizatsii_Energeticheskoy_strategii_Rossii_na_period_do_2030_goda.pdf?ysclid=mn9nhbkxmo579486852 (дата обращения 16.12.2025).

166. Юшков, Н.Н. Влияние объектов экономики, функционирующих на территории г. Братска, на состояние компонентов окружающей среды / Н.Н. Юшков, М.Р. Ерофеева, А.Д. Синегибская // Системы. Методы. Технологии. – 2015. – № 3(27). – С. 128–138. – EDN: UKWGOH.

167. Янин, Е.П. Пылевые выбросы предприятий как источник загрязнения городской среды кадмием / Е. П. Янин // Экология урбанизированных территорий. – 2009. – № 1. – С. 30–35.

168. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for aluminum [Электронный ресурс]. – 2008. – Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Режим доступа: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp22.pdf> (дата обращения: 30.01.2026).

169. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for silica [Электронный ресурс]. – 2019. – Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Режим доступа: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp211.pdf> (дата обращения: 30.01.2026).
170. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) / O. Raaschou-Nielsen, Z.J. Andersen, R. Beelen [et al.] // *Lancet Oncol.* – 2013. – Vol. 14, № 9. – P. 813–822. – DOI: 10.1016/S1470-2045(13)70279-1.
171. Air Quality [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality_en#law (дата обращения: 15.01.2026).
172. Airborne PM10 and metals from multifarious sources in an industrial complex area / J.-M. Lim, J.-H. Moon, Y.-S. Chung [et al.] // *Atmospheric Research.* – 2010. – Vol. 96, № 1. – P. 53–64. – DOI:10.1016/j.atmosres.2009.11.013.
173. Ambient airborne particulates of diameter $\leq 1 \mu\text{m}$, a leading contributor to the association between ambient airborne particulates of diameter $\leq 2.5 \mu\text{m}$ and children's blood pressure / Q.-Zh. Wu, S. Li, B.-Y. Yang // *Hypertension.* – 2020. – Vol. 72. – P. 347–355. – DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.119.13504.
174. Ambient particulate matter (PM1, PM2.5, PM10) and childhood pneumonia: The smaller particle, the greater short-term impact? / X. Wang, Z. Xu, H. Su [et al.] // *Sci Total Environ.* – 2021. – Vol. 772. – P. 145509. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.145509.
175. An overview of the chemical composition of biomass / S.V. Vassilev, D. Baxter, L.K. Andersen, C.G. Vassileva // *Fuel.* – 2010. – Vol. 89, Iss: 5. – P. 913–933. – DOI: 10.1016/j.fuel.2009.10.022.
176. Application of data assimilation technology in source apportionment of PM2.5 during winter haze episodes in the Beijing-Tianjin-Hebei region in China / T. Sun, T. Zhang, Y. Xiang [et al.] // *Atmospheric Pollution Research.* – 2022. – Vol. 13, № 10. – P. 101546. – DOI: 10.1016/j.apr.2022.101546.
177. Arsenic speciation in the urine and hair of individuals exposed to airborne arsenic through coal-burning in Guizhou, PR China / A. Shraim, X. Cui, S. Li [et al.] // *Toxicol Lett.* – 2003. – Vol. 137. – P. 35–48. – DOI: 10.1016/s0378-4274(02)00379-x.
178. Assessment and mitigation of personal exposure to particulate air pollution in cities: An exploratory study / P.T.M. Tran, M.G. Adam, K.W. Tham [et al.] // *Sustainable Cities and Society.* – 2021. – Vol. 72. – P. 103052. – DOI: 10.1016/j.scs.2021.103052.
179. Assessment of the main sources of PM10 in an industrialized area situated in a Mediterranean Basin / A. Soriano, S. Pallarés, A.B. Vicente [et al.] // *Fresenius Environmental Bulletin.* – 2011. – Vol. 20, № 9 A. – P. 2379–2390.

180. Association of Higher Levels of Ambient Criteria Pollutants with Impaired Cardiac Autonomic Control: A Population-based study / L. Duanping, Y. Duan, E.A. Whitsel // *Am J Epidemiol.* – 2004. – № 159(8). – P. 768–777. – DOI: 10.1093/aje/kwh109.
181. Asthma insights and reality in the Gulf and the Near East / M. Khadah, B. Mahboub, N.H. Al-Busaidi [et al.] // *Int J Tuberc Lung Dis.* – 2009. – Vol. 13, № 8. – P. 1015–1022. – PMID: 19723383.
182. Balaceanu, C.M. Impact assessment of the thermoelectric power plants on the air quality in Bucharest / C.M. Balaceanu, C. Costin // *Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE): 7th International Symposium. Bucharest, Romania, 2011.* – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/261113479_Impact_assessment_of_the_thermoelectric_power_plants_on_the_air_quality_in_Bucharest/ (дата обращения: 30.11.2025).
183. Barnett, J. Environmental Security // *International Encyclopedia of Human Geography.* – 2009. – P. 553–557. – DOI: 10.1016/B978-008044910-4.00774-4.
184. Blissett, R.S. A review of the multi-component utilisation of coal fly ash / R.S. Blissett, N.A. Rowson // *Fuel.* – 2012. – Vol. 97. – P. 1-23. – DOI: 10.1016/j.fuel.2012.03.024.
185. Blood hypomethylation of inflammatory genes mediates the effects of metal-rich airborne pollutants on blood coagulation / L. Tarantini, M. Bonzini, A. Tripodi [et al.] // *Occup Environ Med.* – 2013. – Vol. 70(6). – P. 418-425. – DOI: 10.1136/oemed-2012-101079.
186. Brauch, H.G. Environment and human security: towards freedom from hazard impacts. – Bonn : UN University, 2005. – Vol. 2. – 60 p. – ISBN: 3-9810200-3-0 (electronic version).
187. Calderon, R.L. The Epidemiology of Chemical Contaminants of Drinking Water / R.L. Calderon // *Food Chem Toxicol.* – 2000. – Vol. 38(1 Suppl). – P. 13–20. – DOI: 10.1016/s0278-6915(99)00133-7.
188. Childhood leukaemia risk and residential proximity to busy roads / I. Tamayo-Uria, E. Boldo, J. García-Pérez [et al.] // *Environ Int.* – 2018. – Vol. 121. – P. 332–339. – DOI: 10.1016/j.envint.2018.08.056.
189. Chronic Fine and Coarse Particulate Exposure, Mortality, and Coronary Heart Disease in the Nurses' Health Study / R.C. Puett, J.E. Hart, J.D. Yanosky [et al.] // *Environ Health Perspect.* – 2009. – Vol. 117, № 11. – P. 16972–1701. – DOI: 10.1289/ehp.0900572.
190. Coal-Fired Electricity [Электронный ресурс] // International Energy Agency. – Режим доступа: <https://www.iea.org/energy-system/fossil-fuels/coal> (дата обращения: 11.02.2026).
191. Commission staff working document impact assessment accompanying the document Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. Stepping up Europe's 2030 climate ambition Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52020SC0176> (дата обращения: 01.02.2026).

192. Computational analysis of airflow and particle deposition fraction in the upper part of the human respiratory system / S.E. Saghaian, A.R. Azimian, R. Jalilvand [et al.] // *Biology, Engineering and Medicine*. – 2018. – Vol. 3, № 6. – DOI: 10.15761/BEM.1000155.
193. Concentrated ambient air particles induce vasoconstriction of small pulmonary arteries in rats / J.R. Batalha, P.H.N. Saldiva, R.W. Clarke [et al.] // *Environ Health Perspect.* – 2002. – Vol. 110, № 9. – P. 1191–1197. – DOI: 10.1289/ehp.021101191.
194. Couespel, N. Strengthening Europe in the fight against cancer / N. Couespel, R. Price. [Электронный ресурс] – European Parliament, Policy Department of Life Policies, 2020. – Режим доступа: [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL_STU\(2020\)642388](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL_STU(2020)642388) (дата обращения: 11.12.2025).
195. CREA. Quantifying the Economic Costs of Air Pollution from Fossil Fuels [Электронный ресурс]. Centre for Research on Energy and Clean Air (CREA), 2020. – Режим доступа: <https://energyandcleanair.org/publication/quantifying-the-economic-costs-of-air-pollution-from-fossil-fuels/> (дата обращения: 12.12.2025).
196. Diseases due to unhealthy environment: an updated estimate of the global burden of disease attributable to environmental determinants of health / A. Prüss-Üstün, J. Wolf, C. Corvalán [et al.] // *J Public Health (Oxf)*. – 2017. – Vol. 39, № 3. – P. 464–475. – DOI: 10.1093/pubmed/fdw085.
197. Distributions of minor and trace elements in Chinese coals / D. Ren, F. Zhao, Y. Wang, S. Yang // *International Journal of Coal Geology*. – 1999. – Vol. 40, No. 2-3. – P. 109–118. – EDN: ADBKEL.
198. Dust deposition and ambient PM10 concentration in Northwest China: spatial and temporal variability / X.-X. Zhang, B. Sharratt, X. Chen [et al.] // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2017. – Vol. 17, № 3. – P. 1699–1711. – DOI: 10.5194/acp-17-1699-2017.
199. Early-life exposure to submicron particulate air pollution in relation to asthma development in Chinese preschool children / Y. Zhang, J. Wei, Y. Shi [et al.] // *J Allergy Clin Immunol.* – 2021. – Vol. 148, № 3. – P. 771–782. – DOI: 10.1016/j.jaci.2021.02.030.
200. Economic burden of asthma: a systematic review / K. Bahadori, M.M. Doyle-Waters, C. Marra [et al.] // *BMC Pulm Med*. – 2009. – № 9. – P. 24. – DOI: 10.1186/1471-2466-9-24.
201. EEA. Air quality in Europe 2021 [Электронный ресурс]. European Environment Agency. – Режим доступа: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021/> (дата обращения: 25.12.2025).
202. EEA. Healthy environment, healthy lives: How the environment influences health and well-being in Europe. [Электронный ресурс] – EEA Report No 21/2019. – Режим доступа: <https://www.eea.europa.eu/publications/healthy-environment-healthy-lives> (дата обращения: 15.12.2025).
203. Effects of gaseous and solid constituents of air pollution on endothelial function / T. Münzel, T. Gori, S. Al-Kindi [et al.] // *Eur Heart J*. – 2018. – Vol. 39, Is. 38. – P. 3543–3550. – DOI: 10.1093/eurheartj/ehy481.

204. EIA. U.S. Energy Information Administration [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.eia.gov/> (дата обращения: 22.02.2025).
205. Environmental problems of thermal power plant / F. R. Zhandauletova, T. S. Sanatova, A. A. Abikenova, Demeuova Anel A // International Scientific and Practical Conference World science. – 2017. – Vol. 1, № 11(27). – P. 30–31. – EDN: ZWSHDT.
206. Estimates of the Global Burden of Ambient PM_{2.5}, Ozone, and NO₂ on Asthma Incidence and Emergency Room Visits / S.C. Anenberg, D.K. Henze, V. Tinney [et al.] // Environ Health Perspect. – 2018. – Vol. 126, № 10. – P. 107004. – DOI: 10.1289/EHP3766.
207. European Environment Agency (EEA) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/at-a-glance/state-of-europes-environment?activeTab=fa515f0c-9ab0-493c-b4cd-58a32dfa0e0a> (дата обращения: 14.12.2025).
208. Exposure to ultrafine particulate matter induces NF- κ B mediated epigenetic modifications / A. Bhargava, A. Shukla, N. Bunkar [et al.] // Environ Pollut. – 2019. – № 252. – P. 39–50. – DOI: 10.1016/j.envpol.2019.05.065.
209. Fine and ultrafine particles in the vicinity of industrial activities: A review / V. Riffault, J. Arndt, H. Marris [et al.] // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. – 2015. – Vol. 45, Issue 21. – P. 2305. – DOI: 10.1080/10643389.2015.1025636.
210. Global, national, and urban burdens of paediatric asthma incidence attributable to ambient NO₂ pollution: estimates from global datasets / P. Achakulwisut, M. Brauer, P. Hystad, S.C. Anenberg // Lancet Planet Health. – 2019. – № 3 (4). – e166–e178. – DOI: 10.1016/S2542-5196(19)30046-4.
211. Gu, S.L. The physical and chemical characteristics of particles in indoor air where high fluoride coal burning takes place / S.L. Gu, R.D. Ji, S.R. Cao // Biomed Environ Sci. – 1990. – V. 3, № 4. – P. 384–390. – PMID: 2096842.
212. Health benefits of traffic-related air pollution reduction in different socioeconomic groups: the effect of low-emission zoning in Rome / G. Cesaroni, H. Boogaard, S. Jonkers [et al.] // Occup Environ Med. – 2012. – Vol. 69, № 2. – P. 133–139. – DOI: 10.1136/oem.2010.063750.
213. Higher risk of cardiovascular disease associated with smaller size-fractioned particulate matter / P. Yin, J. Guo, L. Wang [et al.] // Environmental Science & Technology Letters. – 2020. – № 7(2). – DOI: 10.1021/acs.estlett.9b00735.
214. Household use of solid fuels and high temperature frying: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. – 2010. – Vol. 95. – 1–424 pp.
215. IHME. Global Burden of Disease data set [Электронный ресурс]. IHME, 2020. – Режим доступа: https://ghdx.healthdata.org/ihme_data (дата обращения: 29.01.2026).
216. Influence of PM₁ exposure on total and cause-specific respiratory diseases: a systematic review and meta-analysis / Y. Hu, M. Wu, Y. Li, X. Liu // Environ Sci Pollut Res Int. – 2022. – Vol. 29, № 10. – P. 15117–15126. – DOI: 10.1007/s11356-021-16536-0.

217. Inhalable Metal-Rich Air Particles and Histone H3K4 Dimethylation and H3K9 Acetylation in a Cross-sectional Study of Steel Workers / L. Cantone, F. Nordio, L. Hou [et al.] // *Environ Health Perspect.* – 2011. – № 119(7). – P. 964–969. – DOI: 10.1289/ehp.1002955.
218. Intercomparison of air quality data using principal component analysis, and forecasting of PM10 and PM2.5 concentrations using artificial neural networks, in Thessaloniki and Helsinki / D. Voukantsis, K. Karatzas, J. Kukkonen [et al.] // *Sci Total Environ.* – 2011. – № 409 (7). – P. 1266–1276. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.12.039.
219. Is there any interaction between domestic radon exposure and air pollution from traffic in relation to childhood leukemia risk? / E.V. Bräuner, C.E. Andersen, H.P. Andersen [et al.] // *Cancer Causes Control.* – 2010. – Vol. 21, № 11. – P. 1961–1964. – DOI: 10.1007/s10552-010-9608-4.
220. Issakhov, A. A numerical study for the assessment of air pollutant dispersion with chemical reactions from a thermal power plant / A. Issakhov, A. Alimbek, A. Issakhov // *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics.* – 2020. – Vol. 14(1). – P. 1035–1061. – DOI: 10.1080/19942060.2020.1800515.
221. Karplus, V.J. Quantifying coal power plant responses to tighter SO₂ emissions standards in China / V.J. Karplus, S. Zhang, D. Almond // *Proc Natl Acad Sci USA.* – 2018. – № 115 (27). – P. 7004–7009. – DOI: 10.1073/pnas.1800605115.
222. Khreis, H. Full-chain health impact assessment of traffic-related air pollution and childhood asthma / H. Khreis, K. de Hoogh, M.J. Nieuwenhuijsen // *Environ Int.* – 2018. – № 114. – P. 365–375. – DOI: 10.1016/j.envint.2018.03.008.
223. Kumar, B. Polycyclic aromatic hydrocarbons in residential soils from an Indian city near power plants area and assessment of health risk for human population / B. Kumar, V.K. Verma, S. Kumar, C.S. Sharma // *Polycyclic Aromatic Compounds.* – 2014. – Vol. 34. – P. 191–213. – DOI: 10.1080/10406638.2014.883414.
224. Leeves, G.D. Economic and Environmental Impacts of Pollution Control in a System of Environment and Economic Interdependence / G.D. Leeves, R.D. Herbert // *Chaos, Solitons & Fractals.* – 2002. – Vol. 13, № 4. – P. 693–700. – DOI: 10.1016/S0960-0779(01)00003-0.
225. Lighty, J.S. Combustion Aerosols: Factors Governing Their Size and Composition and Implications to Human Health / J.S. Lighty, J.M. Veranth, A.F. Sarofim // *J Air Waste Manag Assoc.* – 2000. – Vol. 50. – P. 1565–1622. DOI: 10.1080/10473289.2000.10464197.
226. Long-term exposure to air pollution and liver cancer incidence in six European cohorts / R. So, J. Chen, A.J. Mehta // *Int J Cancer.* – 2021. – Vol. 149, № 11. – P. 1887–1897. – DOI: 10.1002/ijc.33743.
227. Mainka, A. PM1 in ambient and indoor air-urban and rural areas in the Upper Silesian region Poland / A. Mainka, E. Zajusz-Zubek // *Atmosphere.* – 2019. – Vol. 10(11). – P. 662. – DOI: 10.3390/atmos10110662.

228. Matthew, R. Networks of Threats and Vulnerability / R. Matthew, B. McDonald: Lessons from Environmental Security Research // ESCP Report. – 2004. – № 10. – P. 36–42. – Режим доступа: https://www.files.ethz.ch/isn/135748/ECSP%20report_10.pdf (дата обращения: 15.01.2026).
229. Mechanisms of Inhaled Fine Particulate Air Pollution–Induced Arterial Blood Pressure Changes / C.R. Bartoli, G.A. Wellenius, E.A. Diaz [et al.] // Environ Health Perspect. – 2009. – Vol. 117, № 3. – P. 361–366. – DOI: 10.1289/ehp.11573.
230. Michaud, J.P. Emergency department visits and “vog”-related air quality in Hilo, Hawai’i / J.P. Michaud, J.S. Grove, D. Krupitsky // Environ Res. – 2004. – Vol. 95, № 1. – P. 11–19. – DOI: 10.1016/S0013-9351(03)00122-1.
231. Modification of caesarean section on the associations between air pollution and childhood asthma in seven Chinese cities / / H. Yu, Y. Guo, X. Zeng [et al.] // Environ Pollut. – 2020. – (267). – P. 115443. – DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115443.
232. Nalbandian, H. Trace element emissions from coal. / H. Nalbandian // CCC/203 IEA Clean Coal Centre, 2012. – 89 p. ISBN 978-92-9029-523-5.
233. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector [Электронный ресурс] // International Energy Agency. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (дата обращения: 20.02.2026).
234. Particle size distribution profile of some Indian fly ash—A comparative study to assess their possible uses / A. Sarkar, R. Rano, K.K. Mishra, I.N. Sinha // Fuel Processing Technology. – 2005. – Vol. 86, Is. 11. – P. 1221–1228. – DOI: 10.1016/j.fuproc.2004.12.002.
235. Particulate matter exposure shapes DNA methylation through the lifespan / L. Ferrari, M. Carugno, V. Bollati // Clin Epigenetics. – 2019. – № 11 (1). – P. 129. – DOI: 10.1186/s13148-019-0726-x.
236. Penney, S. Estimating the Health Impacts of Coal-Fired Power Plants Receiving International Financing [Электронный ресурс] / S. Penney, J. Bell, J. Balbus // Environmental Defense Fund. – 2009. – Режим доступа: https://www.greenpeace.org/static/planet4-thailand-stateless/2019/03/e2c6b78f-e2c6b78f-9553_coal-plants-health-impacts.pdf (дата обращения: 20.12.2025).
237. PM1 – мелкие частицы. Опасность для здоровья [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://pmvent.ru/uploads/329ccbc19340605991cf8183766c44f1.pdf?ysclid=mnbbn7q8wb173861085> (дата обращения: 10.02.2026).
238. PM10 and gaseous pollutants trends from air quality monitoring networks in Bari province: principal component analysis and absolute principal component scores on a two years and half data set / P. Ielpo, V. Paolillo, G. de Gennaro, P.R. Dambruoso // Chem Cent J. – 2014. – Vol. 8, № 1. – P. 14. – DOI: 10.1186/1752-153X-8-14.
239. PM10 Source apportionment in Milan (Italy) using time-resolved data / V. Bernardoni, R. Vecchi, G. Valli [et al.] // Sci Total Environ. – 2011. – Vol. 409, № 22. – P. 4788–4795. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.07.048.

240. Podbevšek, N. PM10 Risks In Countries of European Union / N. Podbevšek, B. Jereb // Вестник СамГУПС. – 2014. – № 3(25). – P. 9–17. – EDN: TLAMAR.
241. Pope 3rd, C.A. The Expanding Role of Air Pollution in Cardiovascular Disease: Does Air Pollution Contribute to Risk of Deep Vein Thrombosis? / C.A. Pope 3rd // Circulation. – 2009. – Vol. 119, № 6. – P. 3050–3052. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.870279.
242. Power, N.A. Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO₂ and PM₁₀) absorption attributable to woodland in Britain / N.A. Power, K.G. Willis // J Environ Manage. – 2004. – Vol. 70, № 2. – P. 119–128. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2003.11.003.
243. Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks [Электронный ресурс] / A. Prüss-Üstün, J. Wolf, C. Corvalan [et al.] – Geneva: World Health Organization, 2016, Режим доступа: <https://www.who.int/publications/item/9789241565196?ysclid=mnbpcl8cx377476800> (дата обращения: 20.12.2025).
244. Proposal for a Directive of the European parliament and of the council on ambient air quality and cleaner air for Europe (recast) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A542%3AFIN> (дата обращения: 11.04.2023).
245. Rajagopalan, S. Air Pollution and Cardiovascular Disease: JACC State-of-the-Art Review / S. Rajagopalan, S.G. Al-Kindi, R.D. Brook // J Am Coll Cardiol. – 2018. – Vol. 72, № 17. – P. 2054–2070. – DOI: 10.1016/j.jacc.2018.07.099.
246. Rao, A.B. A technical, economic, and environmental assessment of amine-based CO₂ capture technology for power plant greenhouse gas control / A.B. Rao, E.S. Rubin // Environ Sci Technol. – 2002. – № 20. – P. 4467–4475. – DOI: 10.1021/es0158861.
247. Redlich, C.A. Заболевания, связанные с загрязнением воздуха [Электронный ресурс] / C.A. Redlich, B. Linde, E.S. James // Справочник MSD: Профессиональная версия, 2020. – Режим доступа: <https://www.msdmanuals.com/ru/professional/легочные-нарушения/экологические-и-профессиональные-заболевания-легких/заболевания-связанные-с-загрязнением-воздуха?query=Заболевания,+связанные+с+загрязнением+воздуха> (дата обращения: 28.02.2025).
248. Ren, D. A preliminary study on the enrichment mechanism and occurrence of hazardous trace elements in the Tertiary lignite from the Shenbei coalfield, China / D. Ren, D. Xu, F. Zhao // International Journal of Coal Geology. – 2004. – Vol. 57. – P. 187–196. – DOI: 10.1016/j.coal.2003.10.001.
249. Residential proximity to heavy-traffic roads, benzene exposure, and childhood leukemia - the GEOCAP study, 2002–2007 / J. Houot, F. Marquant, S. Goujon [et al.] // Am J Epidemiol. – 2015. – Vol. 182, № 8. – P. 685–693 – DOI: 10.1093/aje/kwv111.
250. Short-term effects of ambient PM₁ and PM_{2.5} air pollution on hospital admission for respiratory diseases: Case-crossover evidence from Shenzhen, China / Y. Zhang, Z. Ding, Q. Xiang [et al.] // Int J Hyg Environ Health. – 2020. – Vol. 224. – P. 113418. – DOI: 10.1016/j.ijheh.2019.11.001.

251. Short-Term Effects of PM₁₀ and NO₂ on Respiratory Health among Children with Asthma or Asthma-like Symptoms: A Systematic Review and Meta-Analysis / G. Weinmayr, E. Romeo, M. De Sario [et al.] // *Environ Health Perspect.* – 2010. – Vol. 118, № 4. – P. 449–457. – DOI: 10.1289/ehp.0900844.
252. Spatially and Temporally Resolved Analysis of Environmental Trade-Offs in Electricity Generation / R.A. Peer, J.B. Garrison, C.P. Timms, K.T. Sanders // *Environ Sci Technol.* – 2016. – № 8. – P. 4537–4545. – DOI: 10.1021/acs.est.5b05419.
253. Swaine, D.J. Trace Elements in Coal. – London: Butterworths, 1990. ISBN: 0-408-03309-6.
254. Szpunar, C. Air Toxic Emissions from the Combustion of Coal: Identifying and Quantifying Hazardous Air Pollutants from U.S. Coals / C. Szpunar // ANL/EAIS/TM-83. – 1992. – 44 p.
255. Technical Note 7/2001 June 2001 MSC-E CONTRIBUTION TO THE HM AND POP EMISSION INVENTORIES: Polycyclic aromatic hydrocarbon expert estimates / V. Tsibulsky, Expert estimates of heavy metal for some European countries for 1980-1998 / V. Sokolovsky. S. Dutchak. V. Shatalov // Meteorological Centre - East Kedrova str. 8-1. Moscow, Russia.
256. The association between particulate air pollution and respiratory admissions among young children in Hanoi, Vietnam / L.M. Luong, D. Phung, P.D. Sly [et al.] // *Sci Total Envir.* – 2017. – Vol. 578. – P. 249–255. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.012.
257. The fraction of lung cancer incidence attributable to fine particulate air pollution in France: Impact of spatial resolution of air pollution models / I. Kulhánová, X. Morelli, A. Le Tertre [et al.] // *Environ Int.* – 2018. – Vol. 121 (Part 2). – P. 1079–1086. – DOI: 10.1016/j.envint.2018.09.055.
258. The impact of PM_{2.5} on the human respiratory system / Y.-F. Xing, Y.-H. Xu, M.-H. Shi, Y.-X. Lian // *Journal of Thoracic Disease.* – 2016. – Vol. 8, № 1. – P. E69–E74. – DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19.
259. Thermal power industry emissions and their contribution to air quality on the Fen-Wei Plain / L. Chen, T. Wang, X. Bo [et al.] // *Atmosphere.* – 2022. – Vol. 13, № 5. – P. 652. – DOI: 10.3390/atmos13050652.
260. Tian, L. Coal combustion emissions and lung cancer in Xuan Wei, China [PhD Thesis]. – Berkeley, CA: University of California, 2005.
261. Treatment-induced tumor cell apoptosis and secondary necrosis drive tumor progression in the residual tumor microenvironment through MerTK and IDO-1 / T.A. Werfel, D.L. Elion, B. Rahman [et al.] // *Cancer Res.* – 2018. – Vol. 79(1). – P. 171–182. – DOI: 10.1158/0008-5472.CAN-18-1106.
262. Ultrafine particulate matter impairs mitochondrial redox homeostasis and activates phosphatidylinositol 3-kinase mediated DNA damage responses in lymphocytes / A. Bhargava, S. Tamrakar, A. Aglawe [et al.] // *Environ Pollut.* – 2018. – № 234. – P. 406–419. – DOI: 10.1016/j.envpol.2017.11.093.
263. Vallero, D.A. Fundamentals of Air Pollution / D.A. Vallero // Academic Press, 2014. – 996 p. – ISBN: 978-0124017337.

264. Venkatesh, S. We are at the mouth of the cave when it comes to understanding PM1 [Электронный ресурс] // Carbon Copy. – 2020. Режим доступа: <https://science.thewire.in/politics/government/we-are-at-the-mouth-of-the-cave-when-it-comes-to-understanding-pm1/> (дата обращения: 20.12.2025)
265. WHO. Air Quality Guidelines for Europe, 2nd edition [Электронный ресурс] / World Health Organization. Regional Office for Europe, 2000. – № 91. Режим доступа: <https://www.who.int/publications/i/item/9789289013581?ysclid=mnbjop2roj139626639> (дата обращения: 30.01.2026).
266. WHO. Air Quality Standards database [Электронный ресурс]. – World Health Organization, 2025. – Режим доступа: <https://www.who.int/tools/air-quality-standards> (дата обращения: 11.08.2025).
267. WHO. Global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide [Электронный ресурс] // World Health Organization, 2021. – 273 p. – Режим доступа: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> (дата обращения: 11.12.2025).
268. WHO. Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks [Электронный ресурс]. World Health Organization 2009. – Режим доступа: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241563871?ysclid=mnbmd0bpzi196580632> (дата обращения: 29.01.2026).
269. WHO. Nearly 50 million people sign up call for clean air action for better health [Электронный ресурс]. World Health Organization, 2025. – Режим доступа: <https://www.who.int/news/item/17-03-2025-nearly-50-million-people-sign-up-call-for-clean-air-action-for-better-health> (дата обращения: 11.08.2025).
270. World Resources Institute [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.wri.org/> (дата обращения: 11.08.2025).
271. Yan, L. Epidemiological survey of endemic fluorosis in Xiou Shan and Bao Jing areas / L. Yan // *Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi*. – 1990. – Vol. 11. – Pp. 302–306. – PMID: 2261621.
272. Zagorodnov, S.Y. Component, disperse and morphological composition of ambient air dust contamination in the zones of mining-processing enterprises / S.Y. Zagorodnov, A.A. Kokoulina, S.V. Klein // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2017. – 8th International Conference on Environmental Science and Technology, ICEST 2017. – P. 012004. – DOI: 10.1088/1755-1315/78/1/012004.
273. Zaitseva, N. Assessment of ambient air quality in areas influenced by fuel and energy enterprises to provide environmental safety of the population / N. Zaitseva, S. Kleyn, A. Andrishunas // *VI International Conference on Actual Problems of the Energy Complex and Environmental Protection (АРЕС-VI-2023)*, Karshi, 14–16 июня 2023 года. Vol. 411. – Les Ulis: EDP SCIENCES S A, 2023. – P. 02010. – DOI: 10.1051/e3sconf/202341102010.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха

Таблица А.1 – Города РФ с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха (ЗА) и вещества, его определяющие, в 2023 г.

Города	Вещества, определяющие уровень ЗА	Города	Вещества, определяющие уровень ЗА
Ачинск	Ф, БП, ВВ, NO ₂ , NO	Новокузнецк	БП, Ф, ВВ, HF, NO ₂
Братск	БП, Ф, CS ₂ , PM2.5, PM10	Новочеркасск	ВВ, Ф, NO ₂ , CO, NO
Бийск	HCl, Ф, БП, ВВ, NO ₂	Петровск-Забайкальский	БП, Н 2 S, ВВ, SO ₂ , NO
Волгоград	Ф, HCl, Mn, ВВ, HF	Ростов-на-Дону	Ф, ВВ, HF, NO ₂ , фенол
Зима	БП, HCl, Ф, H ₂ S, NO ₂	Свирск	БП, ВВ, NO ₂ , SO ₂ , CO
Златоуст	Ф, Mn, ВВ, БП, NO ₂	Селенгинск	БП, ВВ, Ф, H ₂ S, PM2.5
Канск	БП, ВВ, NO ₂ , NO, SO ₂	Томск	HCl, Ф, ВВ, С (сажа), NH ₃
Красноярск	Ф, БП, Mn, Ni, NO ₂	Тула	Ф, NH ₃ , CO, ВВ, NO ₂
Курск	Ф, свинец, ВВ, NO ₂ , CO	Улан-Удэ	БП, Ф, ВВ, PM2.5, Ni
Кызыл	БП, Ф, ВВ, С (сажа), фенол	Усолье-Сибирское	Ф, БП, ВВ, NO ₂ , HCl
Лесосибирск	БП, Ф, ВВ, фенол, NO ₂	Челябинск	Ф, Mn, БП, HF, Ni
Магадан	Ф, Mn, фенол, NO ₂ , NO,	Черемхово	БП, ВВ, NO ₂ , SO ₂ , CO
Магнитогорск	Ф, ВВ, Mn, БП, фенол	Череповец	Mn, Ф, CS ₂ , NO, ВВ
Миллерово	Ф, CO, NO ₂ , NO, H ₂ S	Чита	БП, Ф, фенол, ВВ, O ₃
Минусинск	БП, Ф, ВВ, NO ₂ , CO	Шелехов	Ф, БП, ВВ, PM10, HF
Назарово	БП, Ф, ВВ, CO, NO ₂	Южно-Сахалинск	Ф, С (сажа), ВВ, БП, NO ₂
Нижний Тагил	Ф, БП, Mn, ВВ, NO ₂		

Примечание: БП – бенз(а)пирен, ВВ – взвешенные вещества, PM – взвешенные частицы фракций PM10 и PM2.5, Ф – формальдегид, CO – оксид углерода, С – углерод (сажа), HCl – хлорид водорода, H₂S – сероводород, NH₃ – аммиак, NO₂ – диоксид азота, NO – оксид азота, O₃ – приземный озон, CS₂ – сероуглерод, SO₂ – диоксид серы, Mn – марганец, Ni – никель. Выделены вещества с наибольшим вкладом в уровень загрязнения атмосферного воздуха.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Список веществ, выбрасываемых в атмосферу г. Красноярск

Таблица Б.1 – Список веществ, выбрасываемых в атмосферу г. Красноярск от всех источников

№ п/п	Код в-ва	Наименование вещества	Кол-во ист.	Суммарный выброс, г/с	Валовый выброс, т/г
1	2	3	4	5	6
1	10	Мелкодисперсные частицы РМ2.5	263	1,8599652	22,806
2	101	диАлюминий триоксид (в пересчете на алюминий)	213	5,4027328	80,038
3	110	диВанадий пентоксид (пыль) (Ванадия пятиокись)	13	0,0681302	0,097057
4	113	Вольфрам триоксид (Ангидрид вольфрамовый)	9	0,0000498	0,000038
5	118	Титан диоксид	22	0,1302878	0,058672
6	121	Железо сульфат (в пересчете на железо)	1	0,000023	0,000008
7	122	Железо трихлорид (Железа хлорид) (в пересчете на железо)	1	0,000054	0,000001
8	123	диЖелезо триоксид (Железа оксид) (в пересчете на железо)	891	13,0611284	81,200
9	125	диКалий карбонат	4	0,0057104	5,878
10	126	Калий хлорид	1	0,0163	0,11736
11	128	Кальций оксид (Негашеная известь)	8	1,3542	16,956
12	132	Кадмий сульфат (в пересчете на кадмий)	2	0,0000032	4,70E-07
13	136	Литий хлорид	1	0,0000096	0,000052
14	138	Магний оксид	28	0,0098313	0,01342
15	140	Медь сульфат (Медь серноокислая) (в пересчете на медь)	5	0,0003838	0,001505
16	143	Марганец и его соединения	603	0,2187444	1,7563
17	145	Медь сульфит (1:1) (Медь сернистая) (в пересчете на медь)	1	0,0000149	0,000102
18	146	Медь оксид (Меди оксид)	45	0,0332848	0,11424
19	150	Натр едкий	140	0,6170232	4,311622
20	151	Оловянноокислый натрий гидрат	1	0,0000045	0,000031
21	152	Натрий хлорид (Поваренная соль)	5	0,06179	0,44731
22	154	Натрий гипохлорит	2	0,027271	4,28819
23	155	диНатрий карбонат	78	0,2010605	1,12356
24	156	Натрий нитрит	5	0,0008297	0,002473
25	158	диНатрий сульфат (Натрия сульфат)	5	0,0003934	0,000237
26	160	Натрий, сульфит-сульфатные соли	1	0,003263	0,000411
27	161	пентаНатрий трифосфат (Натрий триполифосфат)	3	0,005248	0,056678
28	164	Никель оксид (в пересчете на никель)	49	0,0321264	0,961055
29	165	Никель растворимые соли (в пересчете на никель)	6	0,0000147	0,000063
30	166	Никель сульфат (в пересчете на никель)	13	0,0003078	0,000325
31	168	Олово оксид (в пересчете на олово)	53	0,0004777	0,00158
32	170	Олово сульфат (в пересчете на олово)	7	0,0000542	0,000239
33	172	Алюминий, растворимые соли	3	0,000423	0,000042
34	184	Свинец и его неорганические соединения	86	0,0015193	0,005341
35	190	диСурьма триоксид (Сурьмы трехокись)	1	0,0000017	0,000002
36	195	Желтая кровяная соль	2	0,0000812	0,000251
37	203	Хром (Хром шестивалентный)	153	0,0573371	0,065584
38	205	Цинк сульфат (в пересчете на цинк)	3	0,0000005	5,80E-07
39	206	Цинк динитрат (в пересчете на цинк) (Цинка нитрат)	3	0,0002536	0,000926
40	207	Цинк оксид (в пересчете на цинк)	11	0,005087	0,032233
41	214	Кальций дигидрооксид (Гашеная известь, Пушонка)	1	0,0002783	0,000152
42	228	Хрома трехвалентные соединения (в пересчете на Cr ³⁺)	7	0,0066918	0,022965
43	231	Бария растворимые соли	5	0,0268427	0,191062

Продолжение Таблицы Б.1

1	2	3	4	5	6
44	251	Сегнетова соль	3	0,0000811	0,000447
45	263	диЛитий карбонат (Лития карбонат) (в пересчете на литий)	4	0,00084	0,014057
46	289	Цинка монофосфат	1	0,000537	0,001683
47	301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	2773	1357,675367	16711,8977
48	302	Азотная кислота (по молекуле HNO ₃)	80	0,1191856	0,433402
49	303	Аммиак	168	27,4218258	44,829417
50	304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	2514	210,1445511	3464,85903
51	308	Ортоборная кислота (Борная кислота)	12	0,0026465	0,012823
52	311	Бор трифторид (Бор фтористый)	2	0,0000248	0,000062
53	316	Соляная кислота	173	5,3090258	52,505612
54	317	Гидроцианид (Водород цианистый, Синильная кислота)	36	0,747084	1,231753
55	322	Серная кислота (по молекуле H ₂ SO ₄)	186	0,0733583	0,417506
56	323	Кремния диоксид аморфный	15	0,1109358	2,852843
57	326	Озон	22	0,0022878	0,014509
58	328	Углерод (Сажа)	1443	193,0488373	2023,80947
59	330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	2179	1934,059829	27050,394
60	331	Сера элементарная	1	0,00112	0,0103
61	333	Дигидросульфид (Сероводород)	326	0,1607028	1,9098
62	337	Углерод оксид	2771	3792,410536	67827,96
63	339	Фосфор белый	5	0,0000914	0,00118
64	342	Фториды газообразные	477	15,8546236	495,5615
65	343	Фториды хорошо растворимые	10	0,0013094	0,005658
66	344	Фториды плохо растворимые	303	14,3697704	411,004
67	348	Ортофосфорная кислота	22	0,0601034	0,107233
68	349	Хлор	39	19,4577287	7,884859
69	370	Углерод оксид сульфид	1	0,113615	1,944579
70	371	Борофтористоводородная кислота	4	0,0000208	0,000053
71	372	Аммоний хлорид (Нашатырь)	1	5,4282907	32,900323
72	402	Бутан	66	3,3972214	5,827437
73	403	Гексан	25	6,6100345	27,30177
74	405	Пентан	7	0,7789693	2,553252
75	406	Полиэтен (Полиэтилен)	2	0,008646	0,051875
76	409	Циклопентан (Пентаметилен)	12	1,0055	11,251
77	410	Метан	375	35,8551202	344,369346
78	412	Изобутан	4	0,1029	0,6933
79	415	Смесь предельных углеводородов C ₁ H ₄ -C ₅ H ₁₂	246	158,2623418	153,759612
80	416	Смесь предельных углеводородов C ₆ H ₁₄ -C ₁₀ H ₂₂	188	54,8071772	55,819367
81	417	Этан	50	0,128739	1,122521
82	418	Пропан	51	2,824811	30,726463
83	501	Пентилены (Амилены - смесь изомеров)	201	5,9853304	8,528157
84	502	Бут-1-ен (Бутилен)	1	0,62463	0,00442
85	503	Бута-1,3-диен (1,3-Бутадиен, Дивинил)	81	7,8378149	95,918837
86	514	2-Метилпроп-1-ен (Изобутилен)	7	0,0261812	0,054829
87	516	2-Метилбута-1,3-диен (Изопрен)	9	0,0066029	0,011259
88	521	Пропен (Пропилен)	7	3,8223	0,023205
89	526	Этен (Этилен)	11	0,1926736	0,139051
90	602	Бензол	213	5,0298633	5,440777
91	616	Диметилбензол (Ксилол)	438	8,2121741	72,109785
92	618	1-(Метилэтилен)бензол (альфа-Метилстирол)	8	0,0043072	0,008336
93	620	Этенилбензол (Винилбензол, Стирол)	52	0,1484974	2,785461
94	621	Метилбензол (Толуол)	418	11,3753609	35,772545

Продолжение Таблицы Б.1

1	2	3	4	5	6
95	626	1,2,4-Триметилбензол (Псевдокумол)	4	0,0106574	0,177126
96	627	Этилбензол	211	0,2254169	1,235715
97	633	Поликарбонат	2	0,0097	0,154789
98	644	1,3-Диметилбензол (м-Ксилол)	1	0,003927	0,00068
99	703	Бенз(а)пирен (3,4-Бензпирен)	1225	2,5371762	1,141739
100	725	Возгоны каменноугольного пека	28	0,304447	7,83945
101	827	Хлорэтен (Хлорэтилен, Винилхлорид)	3	0,000408	0,00667
102	857	Дихлордифторметан (Фреон-12)	2	7,50222	0,13615
103	859	Дифторхлорметан (Фреон-22)	2	0,0001712	0,0054
104	869	Дихлорметан (Метилен хлористый)	4	2,482013	7,4225
105	882	Тетрахлорэтилен (Перхлорэтилен)	6	0,8093042	10,855674
106	898	Трихлорметан (Хлороформ)	2	0,0004	0,01166
107	902	Трихлорэтилен	2	0,0595232	0,244335
108	906	Тетрахлорметан (Углерод четыреххлористый)	1	0,00134	0,007718
109	930	2-Хлорбута-1,3-диен (Хлоропрен)	10	0,0064972	0,013828
110	931	(Хлорметил)оксиран (Эпихлоргидрин)	49	0,2086562	3,366447
111	938	1,1,1,2-Тетрафторэтан (Фреон 134-а)	10	0,92271	0,097642
112	967	Пентафторэтан (Хладон-125)	7	10,093291	0,39494
113	978	1,1,1-Трифторэтан (Фреон 143а)	7	11,92968	0,50602
114	1023	2,2'-Оксиэтанол (Диэтиленгликоль)	2	0,00009	0,0002
115	1029	4-Метил-1,3-диоксан-4-этанол (Диоксанный спирт)	1	0,0054	0,042
116	1034	Пропан-1,2-диол (Пропиленгликоль)	2	0,0235	0,09069
117	1039	Пентан-1-ол (Амиловый спирт)	3	0,000141	0,000057
118	1042	Бутан-1-ол (Спирт н-бутиловый)	189	1,8476096	6,94386
119	1046	4-Гидрокси-4-метилпентан-2-он (Спирт диацетоновый)	12	0,02156	0,04341
120	1048	2-Метилпропан-1-ол (Изобутиловый спирт)	15	0,1025405	0,505246
121	1051	Пропан-2-ол (Изопропиловый спирт)	17	0,437906	2,687652
122	1052	Метанол (Метиловый спирт)	19	0,6354138	0,461763
123	1054	Пропан-1-ол (Пропиловый спирт)	6	0,1271589	0,942348
124	1059	Фур-2-илметанол (Фурфуриловый спирт)	3	0,0014583	0,0001
125	1061	Этанол (Спирт этиловый)	271	11,0529835	31,692003
126	1062	Тетраэтоксисилан (Тетраэтилортосиликат, Этилсиликат)	3	0,0000653	0,02235
127	1069	Трикрезол	3	0,0000351	0,001107
128	1071	Гидроксibenзол (Фенол)	100	0,4722116	2,036247
129	1078	Этан-1,2-диол (Этиленгликоль, Этандиол)	2	0,0001906	0,000124
130	1109	Бутилкарбитол	3	0,08434	1,2289
131	1110	2-(Изобутокс)этанол	3	0,1687	2,4598
132	1112	Этилкарбитол	3	0,0042646	0,003113
133	1117	1-Метоксипропан-2-ол	4	0,0026163	0,00531
134	1119	2-Этоксэтанол	147	1,2324292	6,395881
135	1202	Пентилацетат (н-Амилацетат)	1	0,0000098	0,000005
136	1206	Акриловой кислоты бутиловый эфир	1	0,0027	0,000891
137	1210	Бутилацетат	209	2,7452675	14,773961
138	1213	Этенилацетат (Винилацетат)	7	0,1200091	0,749966
139	1215	Дибутилбензол-1,2-дикарбонат (Дибутилфталат)	8	0,0064776	0,011065
140	1221	Изобутилацетат (Изобутиловый эфир уксусной кислоты)	1	0,007234	0,00375
141	1225	Акриловой кислоты метиловый эфир	1	0,00135	0,000446
142	1232	Метилметакрилат	4	0,0032668	0,001748
143	1238	Пропилацетат (Уксусной кислоты пропиловый эфир)	1	0,0237	0,1687
144	1240	Этилацетат	75	1,4371387	4,25693
145	1246	Этилформиат	11	0,0026809	0,157595
146	1260	2-Этоксэтилацетат (Целлозольвацетат)	1	0,0096556	0,140078

Продолжение Таблицы Б.1

1	2	3	4	5	6
147	1267	3,6-Диоксаоктан-1,8-диол диацетат	1	0,004	0,001305
148	1301	Проп-2-ен-1-аль (Акролеин)	27	0,0931469	0,488684
149	1310	Бутаналь (Альдегид масляный)	4	0,000048	0,000137
150	1314	Пропаналь	46	0,2459543	0,281141
151	1317	Ацетальдегид	76	0,1550836	2,033224
152	1325	Формальдегид	423	0,5432583	4,485011
153	1401	Пропан-2-он (Ацетон)	204	5,6647134	18,941133
154	1404	4-Метиленоксетан-2-он (Дикетен)	2	0,00716	0,09966
155	1408	4-Метилпентан-2-он (Метилизобутилкетон)	4	0,031187	0,286063
156	1409	Бутан-2-он (Метилэтилкетон)	3	0,0435784	0,133542
157	1411	Циклогексанон	35	0,0534766	2,016
158	1505	Дигидрофуран-2,5-дион (Ангидрид малеиновый)	4	0,0000912	0,000406
159	1508	Изобензофуран-1,3-дион (Ангидрид фталевый)	3	0,0000544	0,000242
160	1519	Пентановая кислота (Валериановая кислота)	10	0,0006791	0,002761
161	1523	N,N-Диметилформамид (Диметилформамид)	2	0,0041282	0,022101
162	1531	Гексановая кислота (Кислота капроновая)	14	0,0031904	0,045317
163	1534	Бутановая кислота (Кислота масляная)	3	0,0122	0,101
164	1535	2-Метилпроп-2-еновая кислота (Метакриловая кислота)	1	0,0027	0,000891
165	1555	Этановая кислота (Уксусная кислота)	103	0,2627443	2,815841
166	1562	Дихлорэтановая кислота (Кислота дихлоруксусная)	3	0,00399	0,0738
167	1575	2,3-Дигидроксипропановые кислоты (Винные кислоты)	1	0,0004608	0,000479
168	1580	2-Гидрокси-1,2,3-пропантрикарбоновая кислота	4	0,0004971	0,000639
169	1591	Этандиовая кислота (Кислота щавелевая)	2	0,00041	0,004824
170	1592	гамма-Ноналактон	1	0,0000139	0,000095
171	1610	1,4 -Диоксан (Этилена диоксид, Диоксан)	2	0,000185	0,00006
172	1611	Эпоксидан (Оксиран, Этилена оксид)	8	0,0016777	0,003244
173	1707	Диметилсульфид	14	0,0037393	0,118485
174	1715	Метантиол (Метилмеркаптан)	13	0,0001484	0,000343
175	1716	Одорант СПМ	67	0,0051499	0,062147
176	1724	Тиокарбамид (Тиомочевина)	1	0,0007055	0,00016
177	1728	Этантиол (Этилмеркаптан)	4	0,0000013	0,000038
178	1805	Аминобензол (Анилин)	3	0,000396	0,001654
179	1813	1,6-Диаминогексан (Гексаметилендиамин)	1	0,000139	0,000124
180	1819	Диметиламин	11	0,0016562	0,026885
181	1849	Метиламин (Монометиламин)	11	0,0004986	0,015759
182	1854	Полиэтиленполиамин	7	0,0087747	0,004509
183	2001	Проп-2-еннитрил (Акрилонитрил)	66	0,4720205	14,004187
184	2011	1,1"-Метиленбис(4-изоцианатбензол)	1	0,000072	0,00031
185	2026	Полиизоцианат	1	0,0001021	0,000005
186	2031	Диизоцианатметилбензол	1	0,0000004	0,007069
187	2154	1-Метокси-2-пропанол ацетат	12	0,007982	0,092452
188	2425	Фуран-2-альдегид (Фурфурол)	3	0,0037	0,0306
189	2469	2,4,6-Триамино-1,3,5-триазин (Меламин, Циануртриамид)	3	0,0002833	0,00153
190	2510	Ампициллина натриевая соль	2	0,0006	0,00027
191	2543	Канамидин сульфат	1	0,0008	0,00014
192	2603	Микроорганизмы	13	0,0000005	0,000015
193	2704	Бензин (нефтяной, малосернистый)	962	25,8153742	244,553156
194	2726	Канифоль талловая	6	0,027131	0,007913
195	2732	Керосин	1233	34,4358259	300,71684
196	2735	Масло минеральное нефтяное	139	1,3842908	13,850982
197	2741	Гептановая фракция Нефрас ЧС 94/99	3	0,0123253	0,041177
198	2744	СМС Бриз, Вихрь, Лотос, Юка, Эра	2	0,0024921	0,006544

Продолжение Таблицы Б.1

1	2	3	4	5	6
199	2750	Сольвент нафта	64	2,3930594	14,210742
200	2752	Уайт-спирит	166	11,2949798	63,338603
201	2754	Углеводороды предельные C12-C19	337	15,7269326	48,185778
202	2799	Масло хлопковое	5	0,024581	0,057848
203	2868	Эмульсол	84	0,0599538	2,192917
204	2881	Синтетические моющие средства "Ариэль" и др.	4	0,0014775	0,023359
205	2902	Взвешенные вещества	656	70,9516758	600,834677
206	2904	Мазутная зола теплоэлектростанций	46	0,8223161	2,428209
207	2907	Пыль неорганическая >70% SiO ₂	42	1,0819357	6,912395
208	2908	Пыль неорганическая: 70-20% SiO ₂	1263	1439,356467	16707,7762
209	2909	Пыль неорганическая: до 20% SiO ₂	588	348,6096793	2670,06088
210	2915	Пыль стекловолокна	7	0,0191282	0,048251
211	2916	Пыль стеклопластика	8	0,0197037	0,032877
212	2917	Пыль хлопковая	4	0,05446	0,14435
213	2919	Пыль капрона	1	0,0195	0,138715
214	2920	Пыль меховая (шерстяная, пуховая)	20	0,0101699	0,139736
215	2921	Пыль поливинилхлорида	3	0,0188	0,06988
216	2922	Пыль полипропилена	2	0,0014951	0,04801
217	2926	Угольная зола т/электростанций	1	0,0002497	0,001079
218	2930	Пыль абразивная (Корунд белый, Монокорунд)	306	1,8891739	6,406334
219	2931	Пыль асбестоносодержащая	8	0,09021	1,128861
220	2934	Пыль аминопластов	1	0,002	0,00972
221	2936	Пыль древесная	152	11,2198386	41,683537
222	2937	Пыль зерновая (по массе) (по грибам хранения)	6	1,5649286	13,55041
223	2952	Пыль текстолита	6	0,0276955	0,049725
224	2953	Пыль фенопластов резольного типа	2	0,0006411	0,009245
225	2962	Пыль бумаги	13	0,1280542	1,973502
226	2965	Пыль гетинаксов Г-2, Г-4 (ГОСТ 3441-81)	1	0,00111	0,005
227	2968	Пыль мыльного порошка (ТУ 1816-180-84)	1	3,20E-11	1,80E-10
228	2970	Пыль полиэфирной ненасыщенной смолы ПН-12	2	0,0506	1,329768
229	2973	Пыль сахара, сахарной пудры (сахарозы)	1	0,0001	1,528
230	2975	Пыль синтетического моющего средства марки "Лотос-М"	1	6,00E-08	7,20E-07
231	2976	Пыль слюды ТУ-43-4-171-75	1	0,0046	0,0397
232	2977	Пыль талька	2	0,09256	0,15995
233	2978	Пыль резинового вулканизата	19	0,2062022	0,54218
234	2989	Пыль полиамида	6	0,0015059	0,011966
235	2990	Пыль полистирола	5	0,0048916	0,172446
236	2993	УВМ на основе гидратцеллюлозы	1	0,0005855	0,001581
237	2999	АБС-пластики 0809, 1106-30	2	0,03436	0,13002
238	3103	тетраНатрий дифосфат	1	0,0000245	0,000214
239	3112	Железо глицерофосфат	1	0,0009	0,0006
240	3119	Кальций карбонат	1	0,0056	0,24192
241	3129	Натрий силикат (Натрий кремнекислый)	1	0,0001441	0,000778
242	3132	триНатрий фосфат (Натрия о-фосфат)	23	0,0508938	0,482483
243	3147	Калий нитрат	1	0,01458	0,003154
244	3153	Натрий гидрокарбонат	2	0,0083467	0,047261
245	3155	Натрия нитрат	5	0,0009324	0,009337
246	3164	Магний сульфат гептагидрат	3	0,0002861	0,000118
247	3181	Цефалозин	2	0,0018	0,00289
248	3238	2-Этил-2-(гидроксиметил)пропан-1,3-диол (Этриол)	3	0,0002833	0,00153
249	3239	Тексанол-эфирный спирт	3	0,028	0,253
250	3603	1-Метилпирролидин-2-он (N-Метил-2-пирролидон)	1	0,00007	0,000113
251	3721	Пыль мучная	36	0,0496842	0,732211
252	3748	Смолистые вещества	83	22,777876	718,176408

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Параметры моделей причинно-следственных связей в системе «параметры качества атмосферного воздуха (концентрации) – заболеваемость населения (данные ТФОМС)»

Таблица В.1 – Параметры моделей причинно-следственных связей в системе «параметры качества атмосферного воздуха (концентрации) – заболеваемость населения (данные ТФОМС)»

Заболевание	Название параметра	Значение коэффициента в (b_0 , b_1), сл./100 тыс. населения	R^2	Достоверность модели
1	2	3	4	5
Детское население				
Болезни глаза и его придаточного аппарата	Свободный член	261,36	0,001	0,02
	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	2452,13		
	Формальдегид	5777,52		
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	Свободный член	116,36	0,001	0,003
	Фториды газообразные	6657,44		
Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	Свободный член	10,61	0,001	0,008
	Дигидросульфид (Сероводород)	2035,46		
	Азота диоксид	741,90		
	Бензол	230,41		
Болезни мочеполовой системы	Свободный член	69,32	0,004	0,000
	Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	1556793,97		
	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	48,15		
	Тетрахлорэтилен (Перхлорэтилен)	894,58		
Болезни нервной системы	Свободный член	146,90	0,005	0,000
	Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	1521597,67		
	Метилбензол (Толуол)	1070,66		
	Тетрахлорэтилен (Перхлорэтилен)	4512,79		
	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	426,55		

Продолжение Таблицы В.1

1	2	3	4	5
Болезни органов дыхания	Свободный член	2310,48	0,008	0,000
	диАлюминий триоксид (в пересчете на алюминий)	901187,71		
	Формальдегид	31372,18		
	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	32691,03		
	Дигидросульфид (Сероводород)	51305,33		
	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	10868,98		
	Тетрахлорэтилен (Перхлорэтилен)	5408,40		
	Проп-2-еннитрил (Акрилонитрил)	53914,50		
	диЖелезо триоксид (Железа оксид) (в пересчете на железо)	950223,51		
	Взвешенные вещества	126605,71		
	Азота диоксид	184578,0		
Болезни органов пищеварения	Свободный член	673,27	0,006	0,000
	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	6948,52		
	Трихлорэтилен	410,11		
	Гидроксibenзол (Фенол)	181586,60		
	Керосин	80089,48		
Болезни системы кровообращения	Свободный член	59,33	0,001	0,021
	Бензол	82,93		
	Гидроксibenзол (Фенол)	28370,64		
Врожденные аномалии [пороки развития], деформации и хромосомные нарушения	Свободный член	31,19	0,001	0,001
	Тетрахлорэтилен (Перхлорэтилен)	809,33		
Подростковое население				
Болезни глаза и его придаточного аппарата	Свободный член	205,48	0,006	0,000
	Проп-2-ен-1-аль (Акролеин)	33821685,04		
	Формальдегид	1530,14		
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	Свободный член	119,70	0,005	0,000
	Фториды газообразные	11311,26		
	Фториды плохо растворимые	9084,06		
Болезни нервной системы	Свободный член	164,61	0,001	0,001
	Тетрахлорэтилен (Перхлорэтилен)	1899,27		
	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	497,38		

Продолжение Таблицы В.1

1	2	3	4	5
Болезни органов дыхания	Свободный член	1371,32	0,011	0,000
	Дигидросульфид (Сероводород)	31821,40		
	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	17680,26		
	Проп-2-еннитрил (Акрилонитрил)	40703,62		
	Взвешенные вещества	555,96		
Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	Свободный член	282,37	0,004	0,000
	Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	298431, 55		
	Азота диоксид	93750,12		
	Бензол	210021,51		
Болезни органов пищеварения	Свободный член	560,97	0,005	0,000
	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	4183,25		
	Трихлорэтилен	265,31		
	Керосин	63884,06		
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	Свободный член	87,79	0,003	0,000
	Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	1711078,90		
Врожденные аномалии [пороки развития], деформации и хромосомные нарушения	Свободный член	21,68	0,001	0,040
	Бута-1,3-диен (1,3-Бутадиен, Дивинил)	25901,73		
Взрослое трудоспособное население				
Болезни глаза и его придаточного аппарата	Свободный член	76,79	0,002	0,000
	Формальдегид	2905,08		
	Тетрахлорэтилен (Перхлорэтилен)	889,28		
	Трихлорэтилен	122,77		
Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	Свободный член	18,41	0,0004	0,017
	Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	317134,36		
	Бензол	433,62		
Болезни мочеполовой системы	Свободный член	268,20	0,002	0,000
	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	5638,89		
	Тетрахлорэтилен (Перхлорэтилен)	1468,75		
	Проп-2-еннитрил (Акрилонитрил)	5679,76		
	Бария растворимые соли	7683160,77		

Продолжение Таблицы В.1

1	2	3	4	5
Болезни нервной системы	Свободный член	78,45	0,002	0,000
	Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	99069,21		
	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	2116,79		
	Тетрахлорэтилен (Перхлорэтилен)	886,06		
	Проп-2-еннитрил (Акрилонитрил)	3992,72		
Болезни органов дыхания	Свободный член	355,37	0,003	0,000
	Углерод (Сажа)	55578,32		
	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	4110,37		
	Тетрахлорэтилен (Перхлорэтилен)	864,82		
	Проп-2-ен-1-аль (Акролеин)	14707277,43		
	Формальдегид	1079,84		
	Проп-2-еннитрил (Акрилонитрил)	6079,97		
	диЖелезо триоксид (Железа оксид) (в пересчете на железо)	352526,96		
	Азота диоксид	29897,57		
	Формальдегид	70570,22		
Болезни системы кровообращения	Свободный член	198,52	0,0003	0,044
	Бута-1,3-диен (1,3-Бутадиен, Дивинил)	73900,86		
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	Свободный член	96,73	0,0003	0,036
	Трихлорэтилен	67,39		
Взрослое население старшего трудоспособного возраста				
Болезни глаза и его придаточного аппарата	Свободный член	337,52	0,006	0,000
	Формальдегид	7024,08		
	Трихлорэтилен	219,11		
	Проп-2-ен-1-аль (Акролеин)	34028481,69		
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	Свободный член	741,17	0,001	0,004
	Фториды газообразные	22855,58		
Болезни мочеполовой системы	Свободный член	331,89	0,003	0,000
	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	6751,90		
	Проп-2-еннитрил (Акрилонитрил)	3956,04		
	Бария растворимые соли	18068766,61		

Продолжение Таблицы В.1

1	2	3	4	5
Болезни нервной системы	Свободный член	67,9	0,003	0,000
	Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	39562,58		
	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	1659,46		
	Метилбензол (Толуол)	352,14		
	Тетрахлорэтилен (Перхлорэтилен)	558,87		
	Гидроксибензол (Фенол)	14370,80		
Болезни органов дыхания	Свободный член	349,68	0,002	0,000
	Хром (Хром шестивалентный) (в пересчете на хрома (VI) оксид)	188488,42		
	Азот (II) оксид (Азота оксид)	1358,29		
	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	4929,29		
	Метилбензол (Толуол)	1404,99		
	Гидроксибензол (Фенол)	48042,16		
	диЖелезо триоксид (Железа оксид) (в пересчете на железо)	152088,08		
	Хлор	1810110,85		
	Бута-1,3-диен (1,3-Бутадиен, Дивинил)	97489,16		
	Взвешенные вещества	665,08		
	Свободный член	625,71		
Болезни органов пищеварения	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	3567,95	0,002	0,000
	Гидроксибензол (Фенол)	217269,44		
	Керосин	57065,35		
	Свободный член	1716,65		
Болезни системы кровообращения	Гидроксибензол (Фенол)	429676,17	0,002	0,000
	Бута-1,3-диен (1,3-Бутадиен, Дивинил)	82571,70		
	Бензол	1883,21		
	Свободный член	333,67		
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	1811774,88	0,0003	0,039
Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	Свободный член	2066,914	0,0001	0,006
	Азота диоксид	2879,492		
	Бензол	564,6986		

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Реализация риска причинения вреда здоровью, детерминированного длительным совокупным аэрогенным воздействием факторов риска, у экспонированных взрослых и детей

Таблица Г.1 – Реализация риска причинения вреда здоровью, детерминированного длительным совокупным аэрогенным воздействием факторов риска, у экспонированных взрослых и детей

Код нозологической группы	Наименование нозологической группы	Величина совокупного причиненного вреда в виде негативного эффекта по нозологической группе (Δr)			
		Детское население		Взрослое население	
		величина причиненного вреда	степень тяжести	величина причиненного вреда	степень тяжести
1	2	3	4	5	6
C00 - C14	Злокачественные новообразования губы, полости рта и глотки	0,235	низкая	0,648	высокая
C15 - C26	Злокачественные новообразования органов пищеварения	0,239	низкая	0,673	высокая
C30 - C39	Злокачественные новообразования органов дыхания и грудной клетки	0,239	низкая	0,673	высокая
C40 - C41	Злокачественные новообразования костей и суставных хрящей	0,245	низкая	0,000	пренебрежимо малая
C43 - C44	Меланома и другие злокачественные новообразования кожи	0,249	низкая	0,692	высокая
C45 - C49	Злокачественные новообразования мезотелиальных и мягких тканей	0,235	низкая	0,566	средняя
C50 - C50	Злокачественное новообразование молочной железы)	0,245	низкая	0,691	высокая
C51 - C58	Злокачественные новообразования женских половых органов	0,232	низкая	0,651	высокая
C60 - C63	Злокачественные новообразования мужских половых органов	0,214	низкая	0,586	средняя
C64 - C68	Злокачественные новообразования мочевых путей	0,222	низкая	0,614	высокая
C69 - C72	Злокачественные новообразования глаза, головного мозга и других отделов ЦНС	0,422	средняя	0,599	средняя
C73 - C75	Злокачественное новообразование щитовидной железы и др.эндокринных желез	0,230	низкая	0,642	высокая
C76 - C80	Злокачественные новообразования неточно обозначенные, вторичные и неуточненных локализаций	0,245	низкая	0,681	высокая
C81 - C96	Злокачественные новообразования лимфоидной, кроветворной и родственных им тканей, которые обозначены как первичные или предположительно первичные	0,515	средняя	0,624	высокая
C97 - C97	Злокачественные новообразования самостоятельных(первичных)множественных локализаций	0,228	низкая	0,636	высокая

Продолжение Таблицы Г.1

1	2	3	4	5	6
D00 - D09	Новообразования in situ	0,228	низкая	0,597	средняя
D10 - D36	Доброкачественные новообразования	0,305	низкая	0,349	низкая
D37 - D48	Новообразования неопределенного или неизвестного характера	0,000	пренебрежимо малая	0,409	средняя
D50 - D53	Анемии, связанные с питанием	0,064	пренебрежимо малая	0,057	пренебрежимо малая
D55 - D59	Анемии вследствие ферментных нарушений	0,130	пренебрежимо малая	0,000	пренебрежимо малая
D60 - D64	Апластические и другие анемии	0,062	пренебрежимо малая	0,060	пренебрежимо малая
D65 - D69	Нарушения свертываемости крови, пурпура и другие геморрагические состояния	0,287	низкая	0,320	низкая
D70 - D77	Другие болезни крови и кроветворных органов	0,000	пренебрежимо малая	0,325	низкая
D80 - D89	Отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	0,148	пренебрежимо малая	0,404	низкая
E00 - E07	Болезни щитовидной железы	0,223	низкая	0,288	низкая
E10 - E14	Сахарный диабет	0,139	пренебрежимо малая	0,210	низкая
E15 - E16	Другие нарушения регуляции глюкозы и внутренней секреции поджелудочной железы	0,120	пренебрежимо малая	0,000	пренебрежимо малая
E20 - E35	Нарушения других эндокринных желез	0,311	низкая	0,343	низкая
E40 - E46	Недостаточность питания	0,319	низкая	0,395	низкая
E50 - E64	Другие виды недостаточности питания	0,311	низкая	0,000	пренебрежимо малая
E65 - E68	Ожирение и другие виды избыточности питания	0,262	низкая	0,332	низкая
E70 - E90	Нарушения обмена веществ	0,270	низкая	0,340	низкая
G00 - G09	Воспалительные болезни центральной нервной системы	0,000	пренебрежимо малая	0,000	пренебрежимо малая
G10 - G13	Системные атрофии, поражающие преимущественно центральную нервную систему	0,208	низкая	0,520	средняя
G20 - G26	Экстрапирамидные и другие двигательные нарушения	0,578	средняя	0,592	средняя
G30 - G32	Другие дегенеративные болезни нервной системы	0,000	пренебрежимо малая	0,556	средняя
G35 - G37	Демиелинизирующие болезни центральной нервной системы	0,247	низкая	0,682	высокая
G40 - G47	Эпизодические и пароксизмальные расстройства	0,350	низкая	0,448	средняя
G50 - G59	Поражения отдельных нервов, нервных корешков и сплетений	0,430	средняя	0,523	средняя
G60 - G64	Полиневропатии и другие поражения периферической нервной системы	0,000	пренебрежимо малая	0,548	средняя
G70 - G73	Болезни нервно-мышечного синапса и мышц	0,314	низкая	0,512	средняя
G80 - G83	Церебральный паралич и другие паралитические синдромы	0,553	средняя	0,534	средняя
G90 - G99	Другие нарушения нервной системы	0,428	средняя	0,449	средняя
H00 - H06	Болезни век, слезных путей и глазницы	0,035	пренебрежимо малая	0,030	пренебрежимо малая

Продолжение Таблицы Г.1

1	2	3	4	5	6
H10 - H13	Болезни конъюнктивы	0,031	пренебрежимо малая	0,030	пренебрежимо малая
H15 - H22	Болезни склеры, роговицы, радужной оболочки и цилиарного тела	0,323	низкая	0,428	средняя
H25 - H28	Болезни хрусталика	0,000	пренебрежимо малая	0,504	средняя
H30 - H36	Болезни сосудистой оболочки и сетчатки	0,583	средняя	0,450	средняя
H40 - H42	Глаукома	0,180	пренебрежимо малая	0,501	средняя
H43 - H45	Болезни стекловидного тела и глазного яблока	0,180	пренебрежимо малая	0,517	средняя
H46 - H48	Болезни зрительного нерва и зрительных путей	0,426	средняя	0,473	средняя
H49 - H52	Болезни мышц глаза, нарушения содружественного движения глаз, аккомодации и рефракции	0,058	пренебрежимо малая	0,070	пренебрежимо малая
H53 - H54	Зрительные расстройства и слепота	0,083	пренебрежимо малая	0,000	пренебрежимо малая
H55 - H59	Другие болезни глаза и его придаточного аппарата	0,028	пренебрежимо малая	0,036	пренебрежимо малая
H60 - H62	Болезни наружного уха	0,026	пренебрежимо малая	0,031	пренебрежимо малая
H65 - H75	Болезни среднего уха и сосцевидного отростка	0,079	пренебрежимо малая	0,081	пренебрежимо малая
H80 - H83	Болезни внутреннего уха	0,172	пренебрежимо малая	0,462	средняя
H90 - H95	Другие болезни уха	0,095	пренебрежимо малая	0,103	пренебрежимо малая
I00 - I02	Острая ревматическая лихорадка	0,000	пренебрежимо малая	0,000	пренебрежимо малая
I05 - I09	Хронические ревматические болезни сердца	0,000	пренебрежимо малая	0,168	пренебрежимо малая
I10 - I15	Болезни, характеризующиеся повышенным кровяным давлением	0,132	пренебрежимо малая	0,188	пренебрежимо малая
I20 - I25	Ишемическая болезнь сердца	0,000	пренебрежимо малая	0,236	низкая
I26 - I28	Легочное сердце и нарушения легочного кровообращения	0,192	пренебрежимо малая	0,530	средняя
I30 - I52	Другие болезни сердца	0,369	низкая	0,422	средняя
I60 - I69	Цереброваскулярные болезни	0,000	пренебрежимо малая	0,205	низкая
I70 - I79	Болезни артерий, артериол и капилляров	0,000	пренебрежимо малая	0,254	низкая
I80 - I89	Болезни вен, лимфатических сосудов и лимфатических узлов, не классифицированные в других рубриках	0,103	пренебрежимо малая	0,132	пренебрежимо малая
I95 - I99	Другие и неуточненные болезни системы кровообращения	0,000	пренебрежимо малая	0,237	низкая
J00 - J06	Острые респираторные инфекции верхних дыхательных путей	0,000	пренебрежимо малая	0,000	пренебрежимо малая
J10 - J18	Грипп и пневмония	0,129	пренебрежимо малая	0,131	пренебрежимо малая
J20 - J22	Другие острые респираторные инфекции нижних дыхательных путей	0,133	пренебрежимо малая	0,132	пренебрежимо малая
J30 - J39	Другие болезни верхних дыхательных путей	0,043	пренебрежимо малая	0,053	пренебрежимо малая

Продолжение Таблицы Г.1

1	2	3	4	5	6
J40 - J47	Хронические болезни нижних дыхательных путей	0,299	низкая	0,385	низкая
J60 - J70	Болезни легкого, вызванные внешними агентами	0,164	пренебрежимо малая	0,000	пренебрежимо малая
J80 - J84	Другие респираторные болезни, поражающие главным образом интерстициальную ткань	0,000	пренебрежимо малая	0,091	пренебрежимо малая
J85 - J86	Гнойные и некротические состояния нижних дыхательных путей	0,194	пренебрежимо малая	0,478	средняя
J90 - J94	Другие болезни плевры	0,000	пренебрежимо малая	0,417	средняя
J95 - J99	Другие болезни органов дыхания	0,439	средняя	0,481	средняя
K00 - K14	Болезни полости рта, слюнных желез и челюстей	0,000	пренебрежимо малая	0,014	пренебрежимо малая
K20 - K31	Болезни пищевода, желудка и двенадцатиперстной кишки	0,383	низкая	0,475	средняя
K35 - K38	Болезни аппендикса [червеобразного отростка]	0,543	средняя	0,587	средняя
K40 - K46	Грыжи	0,038	пренебрежимо малая	0,048	пренебрежимо малая
K50 - K52	Неинфекционные энтериты и колиты	0,452	средняя	0,564	средняя
K55 - K63	Другие болезни кишечника	0,265	низкая	0,270	низкая
K65 - K67	Болезни брюшины	0,188	пренебрежимо малая	0,530	средняя
K70 - K77	Болезни печени	0,202	пренебрежимо малая	0,559	средняя
K80 - K87	Болезни желчного пузыря, желчевыводящих путей и поджелудочной железы	0,147	пренебрежимо малая	0,187	пренебрежимо малая
K90 - K93	Другие болезни органов пищеварения	0,000	пренебрежимо малая	0,524	средняя
L00 - L08	Инфекции кожи и подкожной клетчатки	0,123	пренебрежимо малая	0,144	пренебрежимо малая
L10 - L14	Буллезные нарушения	0,000	пренебрежимо малая	0,199	пренебрежимо малая
L20 - L30	Дерматит и экзема	0,190	пренебрежимо малая	0,188	пренебрежимо малая
L40 - L45	Папулосквамозные нарушения	0,314	низкая	0,467	средняя
L50 - L54	Крапивница и эритема	0,111	пренебрежимо малая	0,111	пренебрежимо малая
L55 - L59	Болезни кожи и подкожной клетчатки, связанные с воздействием излучения	0,000	пренебрежимо малая	0,159	пренебрежимо малая
L60 - L75	Болезни придатков кожи	0,103	пренебрежимо малая	0,132	пренебрежимо малая
L80 - L99	Другие болезни кожи и подкожной клетчатки	0,121	пренебрежимо малая	0,154	пренебрежимо малая
M00 - M25	Артропатии	0,383	низкая	0,422	средняя
M30 - M36	Системные поражения соединительной ткани	0,304	низкая	0,456	средняя
M40 - M54	Дорсопатии	0,115	пренебрежимо малая	0,154	пренебрежимо малая
M60 - M79	Болезни мягких тканей	0,073	пренебрежимо малая	0,087	пренебрежимо малая
M80 - M94	Остеопатии и хондропатии	0,422	средняя	0,570	средняя
M95 - M99	Другие нарушения костно-мышечной системы и соединительной ткани	0,000	пренебрежимо малая	0,080	пренебрежимо малая

Продолжение Таблицы Г.1

1	2	3	4	5	6
N00 - N08	Гломерулярные болезни	0,200	пренебрежимо малая	0,250	низкая
N10 - N16	Тубулоинтерстициальные болезни почек	0,237	низкая	0,290	низкая
N17 - N19	Почечная недостаточность	0,220	низкая	0,612	высокая
N20 - N23	Мочекаменная болезнь	0,000	пренебрежимо малая	0,400	низкая
N25 - N29	Другие болезни почки и мочеточника	0,303	низкая	0,303	низкая
N30 - N39	Другие болезни мочевыделительной системы	0,203	пренебрежимо малая	0,223	низкая
N40 - N51	Болезни мужских половых органов	0,232	низкая	0,256	низкая
N60 - N64	Болезни молочной железы	0,224	низкая	0,358	низкая
N70 - N77	Воспалительные болезни женских тазовых органов	0,288	низкая	0,395	низкая
N80 - N98	Невоспалительные болезни женских половых органов	0,288	низкая	0,354	низкая
N99 - N99	Другие нарушения мочеполовой системы	0,000	пренебрежимо малая	0,278	низкая
Q00 - Q07	Врожденные аномалии [пороки развития] нервной системы	0,000	пренебрежимо малая	0,000	пренебрежимо малая
Q10 - Q18	Врожденные аномалии [пороки развития] глаза, уха, лица и шеи	0,381	низкая	0,370	низкая
Q20 - Q28	Врожденные аномалии [пороки развития] системы кровообращения	0,236	низкая	0,230	низкая
Q30 - Q34	Врожденные аномалии [пороки развития] органов дыхания	0,000	пренебрежимо малая	0,000	пренебрежимо малая
Q35 - Q37	Расщелина губы и неба [заячья губа и волчья пасть]	0,000	пренебрежимо малая	0,000	пренебрежимо малая
Q38 - Q45	Другие врожденные аномалии [пороки развития] органов пищеварения	0,394	низкая	0,312	низкая
Q50 - Q56	Врожденные аномалии [пороки] половых органов	0,299	низкая	0,287	низкая
Q60 - Q64	Врожденные аномалии [пороки развития] мочевой системы	0,126	пренебрежимо малая	0,144	пренебрежимо малая
Q65 - Q79	Врожденные аномалии [пороки развития] и деформации костно-мышечной системы	0,298	низкая	0,000	пренебрежимо малая
Q80 - Q89	Другие врожденные аномалии [пороки развития]	0,200	пренебрежимо малая	0,000	пренебрежимо малая
Q90 - Q99	Хромосомные аномалии, не классифицированные в других рубриках	0,000	пренебрежимо малая	0,000	пренебрежимо малая

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Акты внедрения результатов диссертационного исследования в практическую деятельность

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО НАДЗОРУ
В СФЕРЕ ЗАЩИТЫ ПРАВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
И БЛАГОПОЛУЧИЯ ЧЕЛОВЕКА

УПРАВЛЕНИЕ
ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ
ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ ЗАЩИТЫ ПРАВ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И БЛАГОПОЛУЧИЯ
ЧЕЛОВЕКА ПО ПЕРМСКОМУ КРАЮ
(Управление Роспотребнадзора по
Пермскому краю)

Куйбышева, ул. д.50,614016, г. Пермь,
Тел. (342) 239-35-63, факс (342) 239-31-24
E-mail: urpn@59.rosпотребнадзор.ru
www.59.rosпотребнадзор.ru

ОКПО 75507314; ОГРН 1055901619168
ИНН/КПП 5904122386/590401001

18.09.2025 № 59-00-06/10-30252-2025

На №

2025

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель Управления Федеральной
службы по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека по
Пермскому краю, Главный
государственный санитарный врач по
Пермскому краю

В.Г. Костарев

«18» сентября 2025 г.

АКТ

внедрения в практическую деятельность Управления Федеральной службы по надзору в сфере
защиты прав потребителей и благополучия человека по Пермскому краю результатов
диссертационной работы А.М. Андришунас «Гигиеническая оценка эффективности
мероприятий по снижению вредного воздействия компонентов выбросов объектов
теплоэнергетики и рисков для здоровья населения»

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе: председателя – Негановой А.Ф. – зам.
руководителя Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и
благополучия человека по Пермскому краю, и членов комиссии: Лебедевой Е.В. – начальника
отдела организации надзора, Казакова А.Б. – начальника отдела надзора по коммунальной
гигиене, удостоверяем, что результаты диссертационной работы научного сотрудника отдела
системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга ФБУН «ФНЦ медико-
профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Андришунас Алены
Мухаматовны «Гигиеническая оценка эффективности мероприятий по снижению вредного
воздействия компонентов выбросов объектов теплоэнергетики и рисков для здоровья населения»
внедрены в практическую деятельность Управления Федеральной службы по надзору в сфере
защиты прав потребителей и благополучия человека по Пермскому краю и используются при
проведении санитарно-эпидемиологических исследований, гигиенических оценок по
установлению причинно-следственных связей между санитарно-эпидемиологическими
факторами среды обитания и здоровьем населения, организации системы социально-
гигиенического мониторинга, планировании и проведении контрольно-надзорной деятельности.

Председатель комиссии

Члены комиссии

Неганова А.Ф.

Лебедева Е.В.

Казаков А.Б.

Подписи заверяю:

Начальник отдела государственной
санитарно-эпидемиологической службы
и кадра В.Г. Костарев 18.09.2025

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель Управления
Роспотребнадзора по Иркутской области,
Главный государственный санитарный
врач по Иркутской области

Д.Ф. Савиных



«25» сентября 2025 г.

АКТ

внедрения в практическую деятельность Управления Федеральной службы по надзору в
сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Иркутской области
результатов диссертационной работы А.М. Андришунас

*«Гигиеническая оценка эффективности мероприятий по снижению вредного
воздействия компонентов выбросов объектов теплоэнергетики и рисков для здоровья
населения»*

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе: председателя – Ждановой-Заплесвичко И.Г., начальника отдела организации деятельности Управления Роспотребнадзора по Иркутской области, Славиковской М.А., заместителя начальника отдела надзора за состоянием среды обитания и условиями проживания населения, Гусаченко Л.Д., главного специалиста-эксперта отдела организации деятельности удостоверяем, что результаты диссертационной работы Андришунас Алены Мухаматовны «Гигиеническая оценка эффективности мероприятий по снижению вредного воздействия компонентов выбросов объектов теплоэнергетики и рисков для здоровья населения» применяются в практической деятельности Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Иркутской области для гигиенической оценки приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов-участников Федерального проекта «Чистый воздух», в том числе в зонах влияния объектов теплоэнергетики; для гигиенической оценки влияния загрязнения атмосферного воздуха на состояние здоровья населения; а также для осуществления контроля за соблюдением санитарно-эпидемиологических требований хозяйствующими субъектами, в том числе объектами теплоэнергетики, использующими в качестве сырья твердое топливо.

Председатель комиссии

Члены комиссии



Жданова-Заплесвичко И.Г.

Славиковская М.А.

Гусаченко Л.Д.

Подписи заверяю





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО НАДЗОРУ
В СФЕРЕ ЗАЩИТЫ ПРАВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
И БЛАГОПОЛУЧИЯ ЧЕЛОВЕКА

Управление
Федеральной службы по надзору в сфере
защиты прав потребителей и благополучия
человека по Красноярскому краю
(Управление Роспотребнадзора по Красноярскому краю)

Каратанова ул., д. 21, г. Красноярск, 660049
тел. (8-391) 226-89-50, (8-495) 380-28-43, факс (8-391) 226-90-49
E-mail: office@24.rospotrebnadzor.ru, http://24.rospotrebnadzor.ru
ОКПО 76736519, ОГРН 1052466033608
ИНН / КПП 2466127415 / 246601001

25 СЕН 2025

№

24-00-15/22-15801-2025

на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель Управления
Федеральной службы по надзору в
сфере защиты прав потребителей и
благополучия человека по
Красноярскому краю,
Главный государственный санитар-
ный врач по Красноярскому краю

Д.В. Горяев

«15» сентября 2025 г.

АКТ

внедрения в практическую деятельность Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю результатов диссертационной работы А.М. Андришунас «Гигиеническая оценка эффективности мероприятий по снижению вредного воздействия компонентов выбросов объектов теплоэнергетики и рисков для здоровья населения»

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе: председателя – заместителя руководителя Аккерта М.Р. и членов комиссии: начальника отдела социально-гигиенического мониторинга Тихоновой И.В. и начальника отдела надзора по коммунальной и радиационной гигиене Лученковой К.В. удостоверяем, что результаты диссертационной работы Андришунас Алены Мухаматовны «Гигиеническая оценка эффективности мероприятий по снижению вредного воздействия компонентов выбросов объектов теплоэнергетики и рисков для здоровья населения» применяются для организации социально-гигиенического мониторинга качества атмосферного воздуха в зонах влияния объектов теплоэнергетики, гигиенических оценках комплексного влияния факторов среды обитания на здоровье населения и гигиенической оценке результативности воздухоохраных мероприятий, в том числе в рамках пилотного исследования в г. Красноярске – городе участнике федерального проекта «Чистый воздух».

Председатель комиссии

М.Р. Аккерт

Члены комиссии

И.В. Тихонова

К.В. Лученкова

Подписи заверяю

Начальник отдела государственной службы и кадров Управления Роспотребнадзора по Красноярскому краю
28.09.2025



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР МЕДИКО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ ЗАЩИТЫ ПРАВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
И БЛАГОПОЛУЧИЯ ЧЕЛОВЕКА**

(ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»)

Монастырская ул., д. 82, Пермь, 614045; тел/факс: (342) 237 25 34, E-mail: root@fcrisk.ru,
http://www.fcrisk.ru, ОКПО 40899186, ОГРН 1025900507269, ИНН/КПП 5902291452/590201001

19.09.2025 № 59-5016/08-1187-2025

На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФБУН «Федеральный
научный центр медико-
профилактических технологий
управления рисками здоровью
населения», д.м.н.

Алексеев В.Б.

« 19 » 09 2025 г.



АКТ

внедрения результатов диссертационной работы А.М. Андришунас «Гигиеническая оценка эффективности мероприятий по снижению вредного воздействия компонентов выбросов объектов теплоэнергетики и рисков для здоровья населения»

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе: председателя – зам. директора по организационно-методической работе, д.м.н. Лужецкого К.П. и членов комиссии: заведующего отделом иммунобиологических методов диагностики, д.м.н. Долгих О.В., заведующего отделом анализа риска для здоровья, к.м.н. Лир Д.Н., удостоверяем, что результаты диссертационной работы А.М. Андришунас «Гигиеническая оценка эффективности мероприятий по снижению вредного воздействия компонентов выбросов объектов теплоэнергетики и рисков для здоровья населения» используются в научно-исследовательской деятельности при разработке нормативно-методических и информационно-методических документов; в деятельности Органа инспекции ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» при проведении санитарно-эпидемиологических исследований, гигиенических оценок; Референс центра СГМ на базе учреждения; в образовательной деятельности при подготовке аспирантов по направлению 32.05.01 «медико-профилактическое дело» по специальности 3.2.1 «Гигиена».

Председатель

К.П. Лужецкий

Члены комиссии:

О.В. Долгих

Д.Н. Лир

Подписи заверяю:

Начальник отдела кадров

ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий
управления рисками здоровью населения»



С.А. Хомякова

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по образовательной
деятельности ФГБОУ ВО ПГМУ имени
академика Е.А. Вагнера Минздрава
России, доктор медицинских наук,
профессор

Н.В. Исаева

«13» октября 2025 г.

АКТ

внедрения в учебную деятельность ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера» Минздрава России результатов диссертационной работы Андришунас Алены Мухаматовны

**«ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ
ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ВЫБРОСОВ ОБЪЕКТОВ
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И РИСКОВ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ»**

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе: председателя – д.м.н., заведующего кафедрой эпидемиологии ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера» Фельдблом И.В., членов комиссии: доцента кафедры эпидемиологии Субботиной К.А., доцента кафедры эпидемиологии Гореликовой Е.В. удостоверяем, что результаты диссертационной работы А.М. Андришунас «Гигиеническая оценка эффективности мероприятий по снижению вредного воздействия компонентов выбросов объектов теплоэнергетики и рисков для здоровья населения» используются в учебной деятельности при подготовке студентов медико-профилактического факультета по программам специалитета «Медико-профилактическое дело» и по программам подготовки кадров высшей квалификации: аспирантура – «Медико-профилактическое дело»; ординатура – «Эпидемиология» и врачей на циклах повышения квалификации по специальности «Общая гигиена».

Председатель
Заведующая кафедрой эпидемиологии
ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика Е.А.Вагнера
Минздрава России, д.м.н., профессор



Фельдблом И.В.

Члены комиссии:
доцент кафедры эпидемиологии
ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика
Е.А.Вагнера Минздрава России, к.м.н.



Субботина К.А.

доцент кафедры эпидемиологии
ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика
Е.А.Вагнера Минздрава России, к.м.н.



Гореликова Е.В.

Подписи заверяю:

