

На правах рукописи

Алена

Андришунас Алена Мухаматовна

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

3.2.1. Гигиена

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Пермь 2026

Работа выполнена в Федеральном бюджетном учреждении науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Научный руководитель:

Клейн Светлана Владиславовна, доктор медицинских наук, профессор РАН, доцент.

Официальные оппоненты:

Ефимова Наталья Васильевна, доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», ведущий научный сотрудник лаборатории эколого-гигиенических исследований.

Сулейманов Рафаил Анварович, доктор медицинских наук, Федеральное бюджетное учреждение науки «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», главный научный сотрудник отдела комплексных проблем гигиены и экологии человека.

Ведущая организация: Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Защита состоится 16 июня 2026 г. в _____ часов на заседании объединённого диссертационного совета 99.0.040.02 на базе Федерального бюджетного учреждения науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации (614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 26).

С диссертацией можно ознакомиться на сайте www.fcrisk.ru ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» и в библиотеке ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера Минздрава России (614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 26), с авторефератом на сайтах www.fcrisk.ru и <https://vak.gisnauka.ru/>.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,
доктор медицинских наук,
профессор

Землянова Марина Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Неблагоприятная санитарно-гигиеническая ситуация в крупных промышленных центрах подтверждается данными государственных докладов (2017–2024 гг.): превышения ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе регистрируются в 74–84 % субъектов РФ; в 2024 г. доля проб атмосферного воздуха с превышением ПДК в зоне влияния промышленных предприятий составила 0,51 %, что в 1,1 раза превышает уровень 2017 г.¹ Ежегодный суммарный объем выбросов загрязняющих веществ в РФ превышает 22 млн тонн, а в 2023 г. 33 города с общей численностью населения 10,1 млн человек отнесены к территориям с экстремально высоким уровнем загрязнения атмосферы (ИЗА \geq 14)². Основными источниками выбросов выступают предприятия металлургии, химической промышленности и объекты теплоэнергетики, многие из которых являются градообразующими. Теплоэнергетика в России – активно развивающаяся отрасль и ведущий источник антропогенных выбросов. Около 40 % электроэнергии вырабатывается на тепловых электростанциях, работающих на угле. Выбросы ТЭС характеризуются широким спектром химических соединений (взвешенные частицы, оксиды углерода, азота, серы, бенз(а)пирен, металлы и др.), являющихся доказанными факторами ингаляционного риска для здоровья населения [Н.В. Зайцева, 2022, 2023; С.Б. Петров, 2022; Н.В. Бахтиерова, 2016; А.В. Таловская, 2018; Р.А. Сулейманов, 2024; О.В. Игнатенко, 2019; Р.А. Голиков, 2019, и др.].

В 2023–2024 гг. общее количество дополнительных случаев заболеваний, обусловленных загрязнением атмосферного воздуха на территории РФ, составило порядка 580–600 случаев на 100 тыс. населения³. В крупных промышленных городах детская заболеваемость респираторными, дерматологическими и аллергическими заболеваниями вдвое выше, а продолжительность лечения – в 2,5 раза дольше, что подтверждает необходимость разработки адресных мер по снижению аэрогенной нагрузки. Компоненты выбросов теплоэнергетики (включая мелкодисперсные твердые примеси), способны проникать в нижние отделы дыхательного тракта и в системный кровоток, выступая факторами повышенного риска сердечно-сосудистых, респираторных и цереброваскулярных заболеваний [А.Ю. Попова, 2019; Н.В. Зайцева, 2020; И.В. Май, 2021; Р.А. Голиков, 2017; Н.В. Ефимова, 2023; А.А. Быкова, 2008; Л.Ж. Оракбай, 2020, и др.]. В этой связи приоритетной государственной мерой, направленной на снижение негативного воздействия данных факторов, стал федеральный эксперимент по квотированию выбросов, предусматривающий сокращение валового объема выбросов на 20 % к 2024 г. (относительно 2017 г.) и двукратное снижение выбросов опасных загрязняющих веществ к 2030 г. (относительно 2020 г.) [Распоряжение Правительства РФ от 7 июля 2022 г. № 1852-р; Н.В. Зайцева, 2022, 2023; И.В. Май, 2022, 2023; А.В. Комарова, 2022; Д.П. Путятин, 2022, и др.].

Реализация указанных целевых показателей требует разработки оптимальных регулирующих воздействий, направленных на снижение загрязнения атмосферного воздуха, которые должны базироваться на гигиенических критериях, критериях риска здоровью, минимизации вреда, учитывая экономическую составляющую проводимых мероприятий. Традиционные подходы, ориентированные только на соблюдение ПДК, не учитывают комплексное действие загрязняющих веществ, что существенно снижает эффективность управления рисками. В отличие от них адресный (дифференцированный) подход к определению приоритетных мер по всем источникам загрязнения позволяет уточнять Комплексные планы по улучшению качества атмосферного воздуха, стимулировать внедрение

¹ Государственные доклады «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в РФ», 2020–2025 гг.

² Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды РФ в 2023 году»

³ Государственные доклады «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в РФ», 2024–2025 г.

эффективных природоохранных технологий и обеспечивать системное межведомственное взаимодействие [А.Ю. Попова, 2019-2022; Н.В. Зайцева, 2020-2023; С.В. Кузьмин, 2019-2021; В.Б. Гурвич, 2020-2022, Х.Х. Хамидулина, 2019; Е.Л. Генихович, 2019; М.В. Оводков, 2023].

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью научного обоснования эффективных мер по снижению аэрогенных рисков для здоровья населения в зонах влияния объектов теплоэнергетики. Особую значимость имеет совершенствование методических подходов к гигиенической оценке эффективности митигации рисков, позволяющих оптимизировать управленческие решения на основе анализа вклада объектов теплоэнергетики в комплексную аэрогенную нагрузку, оценки динамики снижения негативного воздействия и обоснования приоритетных воздухоохраных мероприятий.

Степень разработанности темы исследования. Анализ научной литературы и нормативно-методической базы свидетельствует о высокой актуальности проблемы загрязнения атмосферного воздуха в крупных промышленных городах России, особенно в регионах с развитой теплоэнергетикой [Б.А. Ревич, 2019-2020; В.В. Кислицына, 2016; Р.А. Голиков, 2019; О.В. Игнатенко, 2019]. Ряд исследований детально описывает структурное и пространственное распределение рисков причинения вреда здоровью при осуществлении хозяйственной деятельности, в том числе объектов теплоэнергетического комплекса [Н.В. Зайцева, 2018-2023; Е.А. Самойлова, 2019; С.Б. Петров, 2024; и др.]. В работах А.Ю. Поповой (2018-2022), Н.В. Зайцевой (2017-2024), С.В. Клейн (2016-2022) доказано существование устойчивых причинно-следственных связей между воздействием факторов среды обитания, обусловленных деятельностью конкретных хозяйствующих субъектов, включая теплоэнергетические объекты, и показателями здоровья экспонированного населения. Особое внимание уделяется вопросам санитарно-гигиенического нормирования и соблюдения санитарно-эпидемиологических требований при осуществлении хозяйственной деятельности субъектов [А.Ю. Попова, 2019-2022; Н.В. Зайцева, 2021]. В последние годы наблюдается активное развитие и совершенствование теоретических основ концепции оценки риска здоровью как базовой методологии управления санитарно-эпидемиологической ситуацией [Ю.А. Рахманин и соавт., 2021-2023; С.Б. Петров, 2022; В.Н. Ракитский, 2020; Н.В. Зайцева, 2022 и др.]. Разработаны и реализуются практические решения, направленные на уменьшение негативного воздействия деятельности хозяйствующих субъектов, включая объекты теплоэнергетики, на среду обитания человека посредством Комплексных планов мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ (далее Комплексные планы) (федеральный проект «Чистый воздух») [А.Ю. Попова, 2019-2024; И.В. Май, 2021; С.В. Ярушин, 2020 и др.]. Современная оценка эффективности воздухоохраных мероприятий базируется на системе многоаспектных критериев, включающих показатели снижения рисков для здоровья (смертность, заболеваемость, канцерогенный и неканцерогенный риск), предотвращенного экономического ущерба, а также соотношения достигнутых эффектов с затратами на реализацию мероприятий с применением методов «затраты – выгоды» и «затраты – эффективность». Вместе с тем, анализ выявил ряд недостаточно разработанных аспектов. Существующие подходы ориентированы на валовое снижение выбросов без учета дифференцированного вклада источников и приоритетных веществ в формирование неприемлемого риска, что не позволяет оценить гигиеническую достаточность планируемых и реализуемых мероприятий. Применяемые методические подходы не позволяют количественно оценить вклад конкретных источников теплоэнергетики в формирование ассоциированных случаев заболеваний и реализованного вреда здоровью, что ограничивает гигиеническое обоснование выбора приоритетных объектов квотирования. При значительном объеме накопленных сведений по данной проблеме, сохраняется актуальность совершенствования научно-методических подходов к гигиенической оценке эффективности

реализации воздухоохраных мероприятий, позволяющих обосновать оптимальные направления регулирующих воздействий по минимизации аэрогенных рисков здоровью населения путем снижения выбросов приоритетных химических примесей. Указанные аспекты определили цель, задачи и научную новизну настоящего диссертационного исследования, посвященного гигиенической оценке эффективности мероприятий по снижению вредного воздействия выбросов объектов теплоэнергетики и рисков для здоровья населения на примере деятельности объектов теплоэнергетики.

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.

Достижение поставленной цели осуществлялось путём решения следующих **задач**:

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:

– 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 работы.

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 золы (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 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; 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 рамках отраслевой научно-исследовательской программы Роспотребнадзора на 2021–2025 гг., плана НИР ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью»

населения» на 2021–2024 гг. и материалов федерального проекта «Чистый воздух». Результаты вошли в отчеты НИР 2021–2025 гг. (ИКРБС И222122800095-5).

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций обеспечена комплексным анализом и обобщением актуальных научных данных, углубленной проработкой материалов официальной статистической отчетности, верификацией результатов, полученных с использованием стандартизированных методик в аккредитованных лабораториях, применением воспроизводимых алгоритмов и унифицированных методов, соответствующих критериям доказательной медицины.

Репрезентативность полученных результатов 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; репрезентативная территория (г. Красноярск): расчетные максимально-разовые и среднегодовые концентрации 252 веществ в более 13 тыс. расчетных точек (точек жилья); 42 поста мониторинга (контроль 35 химических веществ); 2018–2020 гг. (начало реализации мероприятий), прогнозная оценка к 2026 г.; 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); представлением материалов диссертации на научных форумах международного, всероссийского и регионального уровней.

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на международных и всероссийских научных конференциях (2020–2024 гг.), включая SGEM 2020–2021 гг. (Вена, Албена), «Агробизнес, экологический инжиниринг и биотехнологии» (Красноярск, 2020), конференции «Анализ риска здоровью» (Пермь, 2021–2024), «Экология и здоровье населения» (Ангарск, 2021), «Здоровье и окружающая среда» (Минск, 2021), «Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях» (Саратов, 2022), «Здоровая среда» (Уфа, 2023), «Актуальные вопросы гигиены в условиях современных вызовов» (Новосибирск, 2023), «Актуальные проблемы топливно-энергетического комплекса и охраны окружающей среды» (Москва, 2023).

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 диссертационного исследования использованы: при разработке методических рекомендаций МР 2.1.6.0320-23 «Порядок определения перечня приоритетных загрязняющих веществ и перечня квотируемых 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; при подготовке Государственных докладов «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в РФ» за 2021–2024 гг.; при разработке и корректировке мероприятий ФП «Чистый воздух» национального проекта «Экология» на 2018–2024 годы.

Практическое внедрение результатов реализовано в 3 направлениях: в контрольно-надзорной деятельности: материалы работы используются Управлениями Роспотребнадзора по Красноярскому и Пермскому краям, по Иркутской области при организации СГМ, оценке

влияния факторов среды обитания на здоровье и анализе результативности воздухоохраных мероприятий (акты внедрения от 18.09.2025, 25.09.2025, 25.09.2025); в научно-методическом обеспечении: результаты внедрены в деятельность ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками для здоровья населения» и использованы при разработке нормативно-методических документов (акт внедрения от 19.09.2025); в образовательном процессе: положения диссертации интегрированы в учебный процесс ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера Минздрава России (акт внедрения от 13.10.2025).

Личный вклад автора 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. Личный вклад автора составил 80 %.

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 объём 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 источника, из которых 104 работы принадлежит зарубежным авторам. Иллюстративный материал представлен 35 рисунками, цифровые данные систематизированы в 44 таблицах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой темы, охарактеризована степень ее разработанности в научной литературе, определены цель и задачи исследования, сформулированы защищаемые положения; представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, описаны методологическая основа, примененные материалы и методы исследования, сведения о степени достоверности полученных результатов, апробации материалов исследования, практическом внедрении разработок, личном вкладе автора, публикационной активности, структуре и объеме диссертации.

В первой главе представлен аналитический обзор отечественных и зарубежных источников по гигиеническим аспектам загрязнения атмосферного воздуха выбросами объектов теплоэнергетики. Проанализированы данные о пространственном размещении этих объектов на территории РФ и о качестве атмосферного воздуха в зонах их влияния. На основе литературных данных охарактеризовано воздействие выбросов ТЭС, использующих уголь, выделены приоритетные химические компоненты и их дисперсный состав. Прослежена зависимость между содержанием химических примесей в воздухе и заболеваемостью населения в зонах влияния этих предприятий, отмечена гигиеническая

значимость оценки здоровья населения, проживающего вблизи данных объектов. Охарактеризована нормативно-правовая база государственного регулирования охраны атмосферного воздуха. В заключении главы рассмотрены методические подходы к оценке эффективности мероприятий по снижению рисков для здоровья населения.

Во второй главе представлены материалы, методы и объемы исследований.

Объектами исследования являлись хозяйствующие субъекты теплоэнергетики и теплоснабжения (включая АИТ); 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, HQ_{ac}, HQ_{ch}, H_{ac}, H_{ch}); случаи 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 связи, обуславливающие формирование риска и реализацию вреда здоровью; закономерности распределения твердых частиц в респираторном тракте в зависимости от их химического, дисперсного и морфологического состава.

Проанализировано более 260 научных работ и 45 нормативных документов. Исследован реестр объектов теплоэнергетики (деятельность «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» (код 35)) по 85 регионам РФ, включающий свыше 1,1 млн источников выбросов за 2017–2024 гг.

Разработан единый 4-х этапный алгоритм оценки эффективности мероприятий Комплексных планов по снижению выбросов. Он основан на анализе показателей: сокращение выбросов, соблюдение гигиенических нормативов, уровней риска для здоровья и снижение ассоциированной заболеваемости от объектов теплоэнергетики. Оценка проводилась путём сравнения двух временных срезов: до реализации воздухоохраных мероприятий и после их внедрения (прогнозный период).

Оценка потенциального риска причинения вреда здоровью (R^l) проводилась на основе данных федерального реестра хозяйствующих субъектов, подлежащих санитарно-эпидемиологическому надзору (2018–2022 гг.), с выделением субъектов деятельности в сфере «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» в соответствии с Постановлением № 806 и МР 5.1.0116-17; его среднее значение (R^l_{cp}) рассчитывалось как отношение суммы рисков к количеству субъектов.

Репрезентативной территорией выбран г. Красноярск – участник проекта «Чистый воздух» (численность населения более 1 млн человек). Характеристика качества атмосферного воздуха выполнена по Сводной базе данных стационарных и передвижных источников выбросов (более 6,4 тыс. источников, включая 1,2 тыс. источников объектов теплоэнергетики по данным 2017 г., всего 252 вещества). Основные объекты теплоэнергетики: ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, городские котельные, АИТ, промышленные предприятия, на территории которых расположены объекты теплоэнергетики. Оценка загрязнения до реализации воздухоохраных мероприятий проведена на основе расчётных приземных концентраций веществ путём

моделирования рассеивания выбросов в УПРЗА «Эколог-Город» 4.60.1 по МРР-2017. Моделирование выполнено в 13 889 точках жилья (геоцентры жилых строений). Для каждой точки определены максимальные разовые и среднегодовые расчетные концентрации. Вклад теплоэнергетических объектов в загрязнение и риски для здоровья оценён через долю их выбросов в общем объёме по примесям, имеющим гигиенические критерии.

Оценка инструментальных измерений качества атмосферного воздуха в г. Красноярске проведена с 27 постов Роспотребнадзора, 8 постов Росгидромета и 7 постов ТСН (35 веществ). Верификация расчётных данных результатами инструментальных измерений выполнена в соответствии с МР 2.1.6.0157-19, получены верифицированные концентрации для каждого вещества по максимальным разовым и среднегодовым показателям. Верифицированные данные качества атмосферного воздуха оценены для двух срезов: до внедрения мероприятий и после (прогнозный период). Для оценки эффективности воздухоохраных мероприятий использованы Комплексные планы для Красноярска на 2018–2024 гг. с переносом окончания на 2026 г., содержащие данные о 35 мероприятиях, котируемых веществах и объёмах снижения выбросов.

Для оценки численности экспонированного населения, рисков здоровью и ассоциированных случаев заболеваний проведена геопривязка данных. С использованием деперсонифицированного реестра застрахованных ТФОМС и ГИС идентифицировано 13 889 точек жилой застройки, для каждой из которых определена численность населения.

Для определения профиля выбросов крупного объекта теплоэнергетики (ТЭЦ-1) выполнено углублённое исследование компонентного, дисперсного и морфологического состава твёрдых частиц. Отбор проб атмосферного воздуха проведён в холодный (февраль 2022 г.) и тёплый (май 2022 г.) периоды в двух точках (в зонах наибольшего и наименьшего влияния ТЭЦ-1), проанализировано 13 веществ. Концентрации взвешенных веществ измерены гравиметрическим методом (РД 52.04.893-2020), содержание PM_{2.5} и PM₁₀ – анализатором DUSTTRAK 8533 (ГОСТ 17.2.3.01-86). Для дифференцированной оценки твёрдых частиц проведён анализ золы (2 пробы, 11 химических элементов). Гранулометрический и морфологический состав частиц золы определён методом растровой электронной микроскопии (микроскоп JSM-63090LV), химический состав – методом микрозондового рентгеноспектрального анализа с использованием программы Image J – Fiji⁴.

Оценка риска для здоровья населения, обусловленного химическим загрязнением атмосферного воздуха в результате деятельности объектов теплоэнергетики, выполнена в соответствии с «Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (Руководство 2.1.10.1920-04).

Расчёт ассоциированных с загрязнением среды случаев нарушений здоровья выполнен согласно МР 5.1.0095–14. На основе данных расчетов и ТФОМС оценены причинно-следственные связи между загрязнением воздуха репрезентативной территории и заболеваемостью населения (4 возрастные группы, 2017–2024 гг., более 500 млн данных).

Для оценки величины совокупного причиненного вреда здоровью, обусловленного длительным аэрогенным воздействием до реализации мероприятий применён усовершенствованный алгоритм, основанный на положениях МУ 2.1.10.3675-20. Усовершенствование включало определение степени тяжести вреда по каждой нозологической группе, учёт полного спектра эффектов каждого загрязняющего вещества, оценку относительной частоты и дополнительной вероятности возникновения заболеваний. На основе этих данных и сведений ТФОМС с использованием теории нечётких множеств рассчитан совокупный вред здоровью населения (число зарегистрированных случаев) для

⁴ Исследование выполнено в отделе биохимических и цитогенетических методов диагностики (зав. отделом – д.м.н., профессор М.А Землянова)

зоны влияния ТЭЦ-1 (46,3 тыс. чел.) и выполнен сопоставительный анализ с группой сравнения – Дивногорск (54,9 тыс. чел.) по 10 классам болезней.

Исследование распределения твёрдых частиц в дыхательной системе проведено с участием 15 волонтеров с соблюдением этических норм (принципов Хельсинкской декларации и одобрения локального этического комитета ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», протокол № 9 от 28.12.2022). Выполнен сопряжённый анализ загрязнения воздуха в зоне влияния ТЭЦ-1 и биологических сред волонтеров с оценкой градиентного распределения частиц в дыхательном тракте (2020 г.). В ходе 30-минутного эксперимента отбирались пробы атмосферного и выдыхаемого воздуха (фильтродержатель ИРА-20-2, фильтр АФА-ВП-20), а также биосреды: смывы из носовых ходов, мазки со слизистой носоглотки, мокрота (без стимуляции и со стимуляцией), венозная кровь (2 мл). Всего отобрано более 135 проб. Состав вдыхаемого, выдыхаемого воздуха и золы изучен методами электронной микроскопии и рентгеноспектрального анализа (более 4,5 тыс. данных)⁵.

Оценка экономического ущерба в результате деятельности объектов теплоэнергетики до реализации мероприятий Комплексного плана проводилась согласно методике МР 5.1.0095-14. Расчёт, основанный на количестве ассоциированных с качеством атмосферного воздуха случаев заболеваний, включал бюджетные потери на разных уровнях: затраты на медпомощь, расходы соцстрахования и недополученные налоговые поступления из-за недопроизводства.

Алгоритм определения безопасного уровня PM₁ при длительном воздействии включал: анализ релевантных исследований (оценка дизайна, экспозиции, эффектов), выбор наиболее значимых исследований, определение «отправной точки» экспозиции, установление совокупного модифицирующего фактора и расчет безопасного уровня PM₁. Все исследования использовали определение PM₁ как частиц ≤ 1 мкм. Безопасный уровень рассчитывался с использованием совокупного фактора неопределенности, являющегося произведением не более 3 наиболее значимых модифицирующих факторов.

Решение оптимизационной задачи по определению минимально достаточного снижения выбросов на репрезентативной территории проведено согласно алгоритму, изложенному в МР 2.1.6.0320-23. На первых этапах определены 678 опорных расчётных точек – точек локальных максимумов в зонах компактного проживания населения, характеризующих показатели опасности веществ при остром и хроническом воздействии (обработано свыше 330 млн ед. информации). Подбор оптимальных регулирующих воздействий осуществлён с применением целевой функции, включающей минимально достаточное снижение выбросов (тонн/год) на всей территории жилых массивов. Для решения задачи разработан программный модуль, реализующий метод ветвей и границ линейного программирования в среде R-studio (гос. регистрация программы для ЭВМ: 2022669645)⁶.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ Statistica 11.0 и MS Excel. Статистическая значимость гипотез оценивалась по критерию Фишера (F); различия считались значимыми при $p \leq 0,05$. Причинно-следственные связи анализировались в рамках модели «экспозиция – нарушение здоровья».

В третьей главе представлены результаты комплексной гигиенической оценки пространственного и структурного распределения потенциального риска причинения вреда здоровью населения, обусловленного деятельностью «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» (ОКВЭД 35), реализуемой

⁵ Исследование выполнено в отделе химико-аналитических методов исследования (зав. отделом – д.б.н., доцент Т.В. Нурисламова)

⁶ Исследование выполнено в отделе математического моделирования систем и процессов (зав. отделом – к.т.н. Д.А. Кирьянов)

объектами теплоэнергетики. По данным Реестра хозяйствующих субъектов, подлежащих санитарно-эпидемиологическому надзору (на январь 2024 г.) наибольшая концентрация предприятий теплоэнергетики в разрезе федеральных округов зафиксирована в Центральном ФО (20,9 % от общего числа), Сибирском ФО (18,0 %), Приволжском ФО (17,8 %) и Дальневосточном ФО (14,3 %) (Рисунок 1а). Средний показатель потенциального риска причинения вреда здоровью на один хозяйствующий субъект (R_{cp}^l) для данного вида деятельности в целом по РФ составил $5,44 \cdot 10^{-4}$, что превышает показатель для общей группы «Деятельность промышленных предприятий» ($4,62 \cdot 10^{-4}$) и обуславливает лидирующую позицию теплоэнергетического сектора по уровню создаваемого риска. Доля субъектов теплоэнергетики, отнесенных к категориям чрезвычайно высокого и высокого потенциального риска причинения вреда здоровью (1-я и 2-я категории), составила 21,7 %; их наибольшая концентрация зарегистрирована в Сибирском, Приволжском, Центральном, Уральском, и Дальневосточном ФО, совокупная доля – 78,5 % (Рисунок 1б).

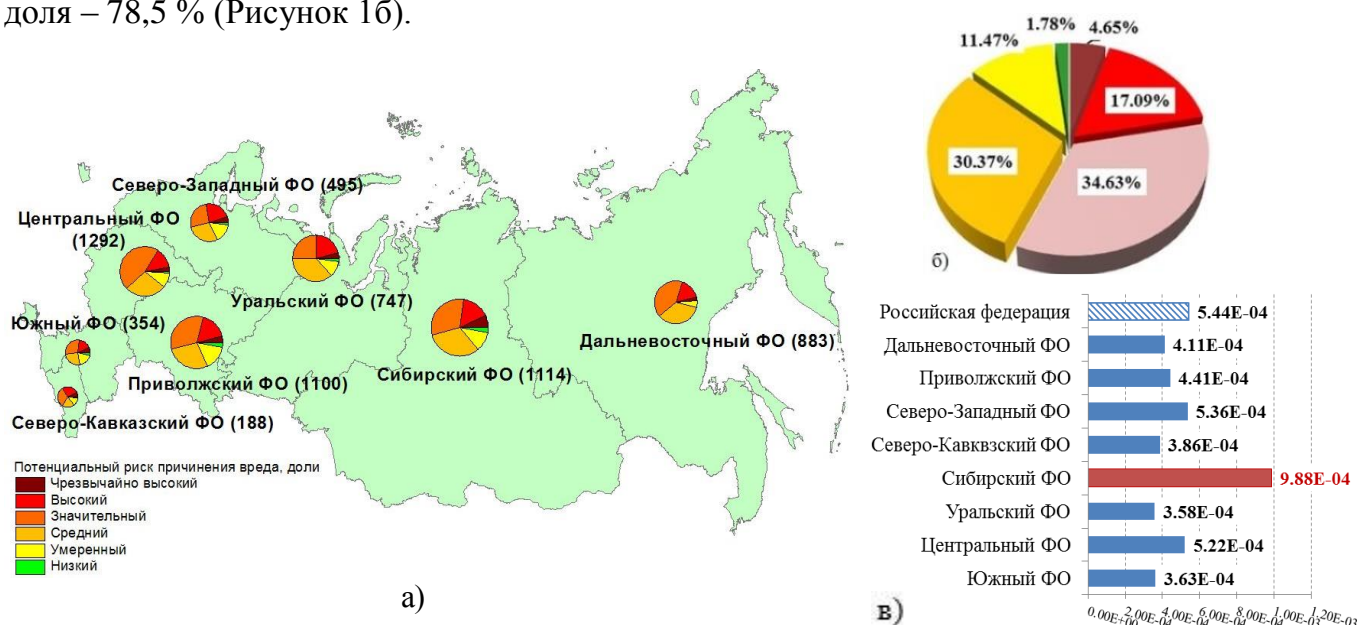


Рисунок 1 – Пространственное расположение и структура хозяйствующих субъектов, реализующих деятельность «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» с учётом категорий потенциального риска причинения вреда здоровью: а) по Федеральным округам, б) по РФ, в) уровень R_{cp}^l в разрезе ФО РФ

Особая ситуация наблюдается в Сибирском ФО, где зафиксирован максимальный средний уровень потенциального риска причинения вреда здоровью – $9,9 \cdot 10^{-4}$ (Рисунок 1в), заняв первое место в группе «Деятельность промышленных предприятий» (Рисунок 2а).

В СФО 23,2 % предприятий теплоэнергетики отнесены к категориям высокого потенциального риска причинения вреда. Масштаб воздействия (M_i^l) для чрезвычайно высокой и высокой категорий риска варьировался в диапазоне $0,0076-0,61$ и $0,00069-0,0067$ млн человек, а уровень потенциального риска (R^l) достигал $1,11 \cdot 10^{-3} - 0,17$ и $1,0 \cdot 10^{-4} - 9,9 \cdot 10^{-4}$ соответственно. Наибольшее количество объектов теплоэнергетики высоких категорий потенциального риска расположено в Красноярском крае, Республике Тыва, Кемеровской, Томской и Иркутской областях (24,0–37,9%), при этом субъекты низкой категории потенциального риска на данных территориях отсутствуют (Рисунок 2б).

До реализации воздухоохраных мероприятий (2017 г.) СФО занимал первое место среди округов по доле проб атмосферного воздуха с превышением ПДК (1,92 % при среднероссийском уровне 0,69 %), что свидетельствует о неблагоприятной санитарно-

гигиенической ситуации; в 2023 г. СФО также сохранял лидирующие позиции (1,38 %), уступая только Уральскому (1,63 %) и Дальневосточному (1,59 %) округам. Положительная динамика снижения доли нестандартных проб по отношению к 2017 г. может быть связана с началом реализации мероприятий федерального проекта «Чистый воздух».

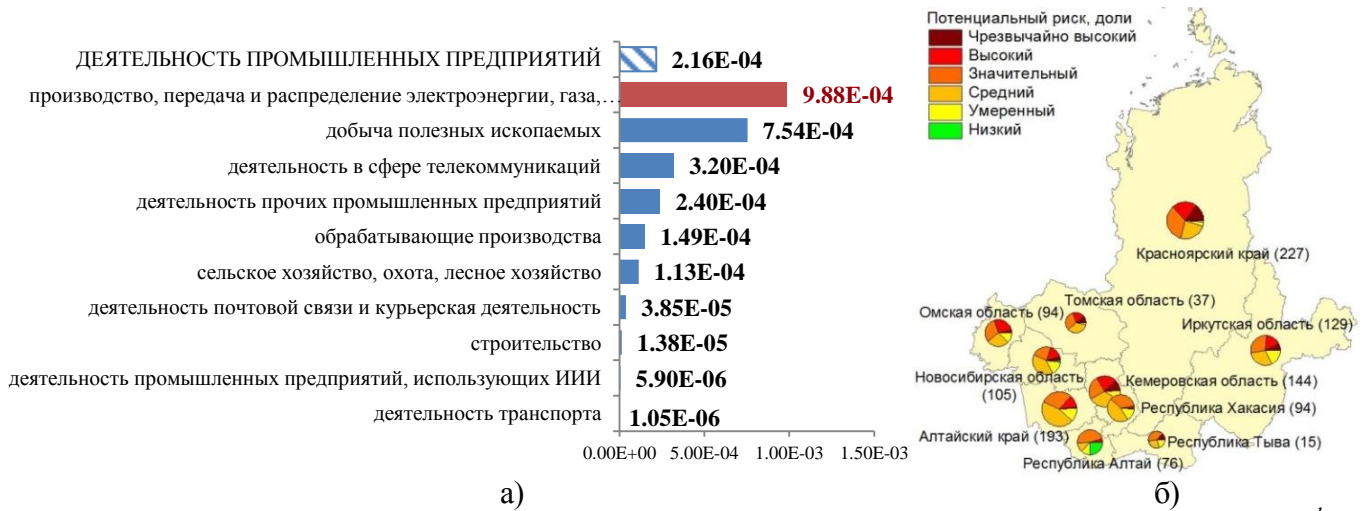


Рисунок 2 – Уровень потенциального риска причинения вреда здоровью в СФО: а) соотношение R_{cp}^l в группе «Деятельность промышленных предприятий», б) структурно-пространственное распределение субъектов, осуществляющих деятельность в сфере «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» по категориям потенциального риска причинения вреда здоровью

Государственное регулирование охраны атмосферного воздуха в РФ направлено на обеспечение благоприятных условий среды и охрану здоровья населения. Основные инструменты: государственный надзор за соблюдением санитарных и экологических норм, реализация Комплексных планов и программ снижения выбросов, внедрение системы квотирования выбросов. До реализации проектов на территориях с высоким загрязнением эти механизмы служили основой нормативного регулирования, а в рамках ФП «Чистый воздух» обеспечивают контроль за выполнением требований законодательства, способствуя достижению целевых показателей снижения загрязнения и охраны здоровья.

Для отработки методических подходов к оценке эффективности государственных инструментов регулирования качества атмосферного воздуха выбран г. Красноярск – крупный промышленный и энергетический центр СФО, участник ФП «Чистый воздух». Ежегодный объем выбросов превышает 140 тыс. тонн (более 250 веществ). Комплексным планом предусмотрено сокращение выбросов на 42,6 тыс. тонн (22,3 % от уровня 2017 г.), из которых 10,99 % приходится на объекты теплоэнергетики. В Красноярске сосредоточено наибольшее по СФО число объектов теплоэнергетики высоких категорий потенциального риска причинения вреда здоровью (23,2 %); по инструментальным данным фиксируются превышения ПДК по оксиду и диоксиду азота, аммиаку, взвешенным веществам, PM10, PM2.5, серы диоксиду, дигидросульфиду, оксиду углерода, этилбензолу и др. до 1,3–60,0 раз.

В четвертой главе представлен научно обоснованный алгоритм оценки эффективности воздухоохраных мероприятий в рамках Комплексных планов, основанный на интегральном анализе многокомпонентных показателей и применимый к различным видам хозяйственной деятельности и территориям. Оценка включает 4 группы критериев: анализ снижения валовых выбросов загрязняющих веществ (критерий 1), гигиеническую оценку соблюдения нормативов ПДК (критерий 2), оценку рисков для здоровья населения (канцерогенный риск (CR_T), коэффициенты (HQ) и индексы (HI) опасности) (критерий 3) и расчет дополнительных случаев заболеваемости, связанных с качеством атмосферного воздуха (критерий 4). Для

количественной оценки эффективности мероприятий предложен интегральный показатель (Э), рассчитываемый поэтапно по четырём группам критериев ($D_{вал}$, ΔC_{mp} , $\Delta C_{сг}$, ΔHQ_{ac} , ΔHI_{ac} , ΔHQ_{ch} , ΔHI_{ch} , ΔCR_T , ΔZ). Данный показатель учитывает достижение целевых показателей снижения выбросов, соблюдение гигиенических нормативов ($ПДК \leq 1$), допустимых уровней риска ($HQ \leq 1$, $HI \leq 3$, $CR \leq 10^{-4}$) и сокращение ассоциированной заболеваемости путём сравнения критериев до и после реализации мероприятий.

Итоговая оценка гигиенической эффективности (Э) внедренных воздухоохраных мероприятий рассчитывается на основании *наихудшего (минимального) значения* среди группы индикаторов по формуле:

$$\text{Э} = \min (\Delta C_{mp}; \Delta C_{сг}; \Delta HQ_{ac}; \Delta HI_{ac}; \Delta HQ_{ch}; \Delta HI_{ch}; \Delta CR_T; \Delta Z)$$

где Э – итоговое значение эффективности внедренных воздухоохраных мероприятий, %; $\min(\dots)$ – функция, определяющая минимальное значение эффективности среди всех критериев.

Полученное значение эффективности сопоставляется со шкалой нормирования, установленной в п. 3.10.7 МУ 2.1.10.3675-20, согласно которой выделяют пять градаций: неприемлемая – 0-20 %, низкая – 20-40 %, приемлемая – 40-60 %, достаточная – 60-80 %, высокая – 80-100 %. Интегральный показатель варьирует от 0 до 100 %, где 0 % – полное отсутствие достижения поставленных целей, а 100 % – их полное выполнение.

Усовершенствованный алгоритм оценки степени тяжести совокупного причиненного вреда здоровью, детерминированного длительным аэрогенным воздействием химических веществ, базируется на положениях в МУ 2.1.10.3675-20. При соблюдении всех основных этапов алгоритма расчет величины совокупного вреда (г) осуществляли на основании установленного веса (тяжести) причиненного вреда по каждой нозологической группе, выявленной в совокупном негативном ответе, связанном с комплексной аэрогенной экспозицией. На следующем этапе определялась величина совокупного причиненного вреда, выраженного в виде негативного эффекта для конкретной нозологической группы, в популяции, подвергшейся воздействию, относительно неэкспонированной группы.

В пятой главе представлены результаты гигиенической оценки эффективности воздухоохраных мероприятий до и после их реализации на примере объектов теплоэнергетики, работающих на твердом топливе, рассчитанной по четырем критериям.

Анализ Комплексного плана (*критерий 1*) показал, что к 2026 г. (с учетом переноса сроков) планируется снизить выбросы от объектов теплоэнергетики на 20,96 тыс. тонн (10,99 % от уровня 2017 г.). Запланированы: техническое переоборудование ТЭЦ (возведение дымовой трубы 270 м, замена котлов с оснащением электрофильтрами, вывод из эксплуатации малоэффективных турбоагрегатов, модернизация турбинного оборудования и систем охлаждения), замещение малоэффективных угольных котельных, переселение граждан из аварийного жилья с печным отоплением, подключение жилого сектора к централизованному теплоснабжению, а также газификация жилых домов, разработка правовых актов, ограничивающих использование неочищенного бурого и каменного угля на источниках выбросов. Суммарный выброс от объектов теплоэнергетики (ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, котельные, АИТ) составляет более 55 тыс. тонн (39 % от общего валового выброса всех хозяйствующих субъектов, автотранспорта и АИТ территории наблюдения).

Гигиеническая оценка влияния объектов теплоэнергетики г. Красноярск на качество атмосферного воздуха (*критерий 2*) показала, что по расчетным и верифицированным данным в зонах жилой застройки до реализации мероприятий Комплексного плана выявлены превышения гигиенических нормативов по 11 веществам: диоксиду азота, оксиду углерода, серы диоксиду, дигидросульфиду, неорганической пыли (70–20 % SiO_2), диметилбензолу,

этилбензолу, бензолу, формальдегиду, взвешенным веществам до 29,92 ПДКм.р., до 19,04 ПДКс.г. Прогнозное снижение максимальных разовых концентраций после реализации воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики по расчетным и верифицированным данным будет наблюдаться для серы диоксида в 1,8 раза, этилбензола – в 1,01 раза; среднегодовых концентраций оксида углерода, взвешенных веществ, диоксида азота – в 1,1–1,2 раза. В целом реализация мероприятий приведет к снижению концентраций 11 веществ до 29,8 ПДКм.р., 19,03 ПДКс.г. (Таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительная оценка качества атмосферного воздуха в зонах жилой застройки г. Красноярска по верифицированным данным до и после реализации воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики (максимальные значения)

Код в-ва	Наименование вещества	До мероприятий		После мероприятий	
		Доли ПДКм.р.	Доли ПДКс.г.	Доли ПДКм.р.	Доли ПДКс.г.
301	Азота диоксид	1,82	3,20	1,81	2,11
328	Углерод	1,52	0,41	1,51	0,38
330	Сера диоксид	1,11	–	0,63	–
333	Дигидросульфид	1,53	0,12	1,54	0,12
337	Углерода оксид	29,92	1,35	29,8	1,12
602	Бензол	1,41	7,39	1,40	0,25
616	Диметилбензол	7,62	1,45	7,61	0,02
627	Этилбензол	10,04	$1,57 \cdot 10^{-3}$	9,97	0,002
1325	Формальдегид	18,28	19,04	18,28	19,03
2902	Взвешенные вещества	14,97	13,79	14,81	11,68
2908	Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния, в %: 70-20	5,07	–	5,07	–

Внедрение мероприятий позволит уменьшить численность населения, проживающего в зонах с повышенными максимальными разовыми и среднегодовыми концентрациями на 13,1 тыс. и 48,7 тыс. человек соответственно.

В подтверждение вышеизложенного анализ выбросов от объектов теплоэнергетики выявил сложный состав загрязняющих веществ, включающий не только взвешенные вещества, но и широкий спектр химических элементов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека. Оценка дисперсного состава твердых частиц (до 10 мкм) в атмосферном воздухе показала, что основу (более 50 %) составляют алюминий, кремний, железо, натрий, кальций. В зоне максимального влияния объектов теплоэнергетики преобладают частицы диаметром 1–3 мкм (51,1–58,6 %), при этом около 30 % частиц имеют коэффициент сферичности 0,9–1,0. Полученные данные свидетельствуют, что компонентный состав атмосферного воздуха сложнее перечня веществ, учитываемого при инвентаризации выбросов от стационарных источников.

Микроскопическое исследование золы (частицы до 100 мкм) показало, что ее химический состав включает натрий, магний, железо, кремний, алюминий, калий, серу, фосфор, кальций, стронций. Преобладают частицы диаметром менее 10,0 мкм (63,8 %), основу которых (суммарно > 54 %) составляют кальций, магний, железо, кремний и алюминий. Около 57 % частиц размером до 10 мкм имеют коэффициент сферичности 0,4–0,7, что указывает на неправильную форму и способность задерживаться на разных уровнях дыхательных путей (Рисунок 3).

Компонентный состав твердых частиц атмосферного воздуха и золы сопоставим: более 78 % твердых частиц в воздухе представлены алюминием, кремнием, железом, натрием,

калием, кальцием, серой и фосфором. Дисперсный состав незначительно отличается: в воздухе преобладают частицы размером до 4,0 мкм (65 %, из них менее 1,5 мкм – 20,9 %), более 30 % имеют округлую форму 0,9–1,0; в золе – более 50 % частиц имеют размер до 5,5 мкм, 30 % из них обладают сферичностью 0,7–1,0.

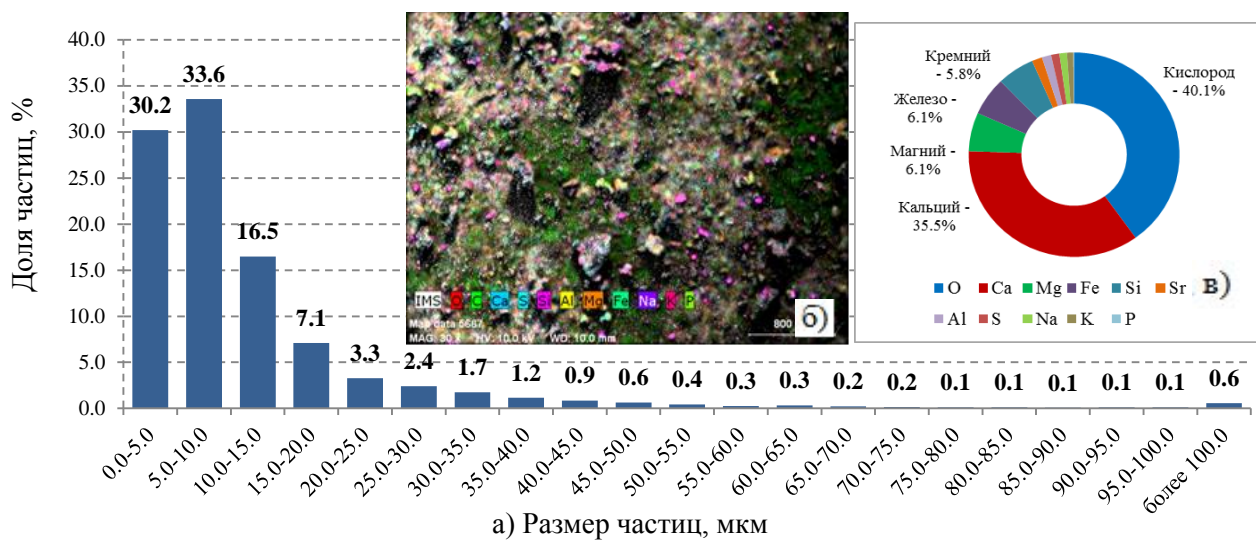


Рисунок 3 – Характеристика твердых частиц в золе: а) дисперсный состав частиц до 100 мкм, %; б) микрондовый рентгеноспектральный анализ, в) компонентный состав, %

Неудовлетворительное качество атмосферного воздуха в зонах влияния объектов теплоэнергетики формирует аэрогенную экспозицию, количественный уровень и пространственное распределение которой является источником риска (*критерий 3*) здоровью экспонированного населения. До реализации воздухоохраных мероприятий Комплексного плана в жилых зонах репрезентативной территории зафиксированы превышения суммарного канцерогенного риска по формальдегиду (CR_T до $3,28 \cdot 10^{-4}$), неприемлемые уровни острого неканцерогенного риска для оксида углерода, бензола, формальдегида и взвешенных веществ (до 2,83 – 24,9 HQac), а также хронического риска для формальдегида, взвешенных веществ, диоксида азота, оксида углерода, диметилбензола и бензола (до 1,2 – 19,04 HQch). В зоне влияния крупной ТЭЦ при остром воздействии зафиксирован риск на «настораживающем» уровне по взвешенным веществам (5,48 HQac). Хроническое воздействие формировало «настораживающий» и «высокий» уровни риска по марганцу, оксиду меди, неорганическим плохо растворимым фторидам и взвешенным веществам (максимумы до 1,08–3,42 HQch). Острая и хроническая экспозиция обуславливают повышенные индексы опасности для органов дыхания: до 25,8 HИac и до 22,6 HИch соответственно.

По результатам внедрения воздухоохраных мероприятий Комплексного плана на объектах теплоэнергетики суммарный уровень канцерогенного риска (CR_T) в жилых районах Красноярска прогнозно снизится до уровня $2,29 \cdot 10^{-6}$ – $3,30 \cdot 10^{-4}$ (от 1,0 до 1,1 раза), при этом превышения по формальдегиду (до $3,28 \cdot 10^{-4}$) сохранятся. Уровни острого неканцерогенного риска снизятся незначительно, локально в районах объектов теплоэнергетики – до 8,8 раз (нарушения органов дыхания, системное действие), хронического риска – до 30,2 раз (органы дыхания), при этом риски останутся на высоком уровне (до 25,5 HИac; до 22,6 HИch). Реализация мероприятий Комплексного плана позволит перевести из зон неприемлемого острого риска порядка 50 тысяч человек, хронического риска – более 35 тысяч человек в минимальный (целевой) уровень риска.

Повышенные уровни экспозиции комплекса химических веществ, выбрасываемых объектами теплоэнергетики, до реализации воздухоохраных мероприятий изолированно

формируют более 87 тыс. (9 469,7 сл./ 100 тыс. населения) дополнительных, ассоциированных с качеством атмосферного воздуха, случаев заболеваний (*критерий 4*). Приоритетными модифицирующими факторами, формирующими дополнительные случаи заболеваемости, являлись азота диоксид, дигидросульфид, бензол, диметилбензол, формальдегид, взвешенные вещества, углерод, углерод оксид и др. (вклад от 1,1 до 95,2 %). Основную долю дополнительных случаев заболеваний всего населения в результате деятельности объектов теплоэнергетики составляют болезни органов дыхания (80,0 % в структуре).

Реализация риска здоровью до внедрения воздухоохраных мероприятий Комплексного плана в зоне влияния крупной ТЭЦ по данным ТФОМС показала, что совокупный вред здоровью высокой и средней степени тяжести установлен у 12,1 % (2,9 тыс.) взрослых и 16 % (1,1 тыс.) детей. У взрослых реализация риска здоровью проявлялась заболеваниями систем кровообращения, нервной, мочеполовой, костно-мышечной, органов дыхания, пищеварения, кожи, зрения, слуха и новообразованиями (степень тяжести 0,41–0,69); у детей – болезнями нервной, костно-мышечной систем, органов дыхания, пищеварения, зрения и новообразованиями (степень тяжести 0,42–0,58). Причиной вреда у обеих групп являлось одновременное воздействие 9 веществ: взвешенные вещества, соединения марганца, никеля, диоксид азота, бензол, бенз(а)пирен, формальдегид, дигидросульфид, медь оксид.

Углубленное исследование распределения твердых частиц в дыхательном тракте показало неоднородное осаждение микрочастиц (< 2,5 мкм). В верхних дыхательных путях более 65 % осевших частиц имели диаметр > 10 мкм (преимущественно соединения кремния, натрия, железа, кальция, калия, серы, магния, алюминия, фосфора). По мере продвижения воздуха доля крупных частиц уменьшалась, а мелких – увеличивалась. В мокроте средних и нижних дыхательных путей содержались кремний, сера, кальций, алюминий, железо и натрий; более 60 % частиц имели размер $\leq 2,5$ мкм, из них 46,7 % – $\leq 1,5$ мкм. Доля частиц со сферичностью 0,6–1,0 составляла 70,7–100 %, что указывает на более глубокую инвазию округлых частиц. В нижних отделах преобладали частицы с коэффициентом сферичности > 0,7 (77,4 %). В крови доминировали частицы < 1,5 мкм (до 89,5 %), из них до 100 % имели сферичность 0,9–1,0. В выдыхаемом воздухе, в отличие от вдыхаемого, основными компонентами являлись кремний, натрий, железо, кальций, калий, сера, магний, алюминий, фосфор, преобладали более крупные частицы (>10 мкм – 10,9–46,4 %) округлой формы (сферичность 0,9–1,0) – 50,0 %.

Реализация воздухоохраных мероприятий Комплексного плана обуславливает снижение ассоциированных случаев заболеваемости на 18,8 % (на 16 483 случая), с 87 тыс. сл. (3,0 % от общей заболеваемости по данным ТФОМС) до 70,5 тыс. сл., при этом структура ассоциированной заболеваемости не изменится, приоритетными останутся болезни органов дыхания (75,5 %) (Таблица 2), наибольший уровень – у детской возрастной группы (78,4 %).

Экономические потери от снижения ВВП вследствие дополнительных 87 тыс. случаев заболеваний, обусловленных ухудшением качества атмосферного воздуха в результате выбросов объектов теплоэнергетики, составляют 1012,9 млн руб./год. Наибольший ущерб связан с дополнительной заболеваемостью детей болезнями органов дыхания – 400,6 млн руб./год. Прогнозируется, что после реализации мероприятий Комплексного плана число дополнительных случаев снизится до 70,5 тыс., а экономические потери сократятся почти на 20 % – до 820,8 млн руб./год.

Таблица 2 – Заболеваемость всего населения репрезентативной территории, ассоциированная с загрязнением атмосферного воздуха выбросами объектов теплоэнергетики, до и после реализации мероприятий по сокращению выбросов

Класс нозологий	Уровень ассоциированной заболеваемости		Разность до и после мероприятий, кол-во случаев
	ДО мероприятий, сл.	ПОСЛЕ мероприятий, сл.	
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

В ходе исследования установлено, что твердые частицы PM1 относятся к наиболее опасным загрязняющим веществам, что требует разработки референтных уровней безопасности для этих ультрамелкодисперсных фракций. На основе анализа релевантных исследований обоснован безопасный уровень хронического ингаляционного воздействия для PM1 на уровне 0,002 мг/м³.

В шестой главе представлены результаты апробации усовершенствованного алгоритма оценки эффективности воздухоохраных мероприятий на репрезентативной территории применительно к объектам теплоэнергетики. Установлено, что реализация запланированных недифференцированных мероприятий, описанных в главе 5, не обеспечит значимого улучшения санитарно-эпидемиологической ситуации на исследуемой территории (при снижении выбросов более 20 загрязняющих веществ на 20,9 тыс. тонн в жилой зоне сохраняются превышения гигиенических нормативов до 29,8 ПДКм.р., до 19,03 ПДКс.г., уровень риска снизится незначительно – до 25,48 Н_{ас}, до 22,60 Н_{сч}; вклад загрязняющих веществ в суммарное загрязнение варьирует от 1 до 99 % и в риск для здоровья – до 37 %). Итоговая оценка эффективности для исследуемой территории представлена в Таблице 3.

Таблица 3 – 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
$\Delta C_{сг}$	17,5	Неприемлемая
ΔHQ_{ac}	26,4	Низкая
ΔH_{ac}	27,9	Низкая
$\Delta HQ_{сч}$	17,4	Неприемлемая
$\Delta H_{сч}$	20,5	Низкая
ΔCR_T	19,03	Неприемлемая
ΔZ	18,8	Неприемлемая
Итоговая оценка эффективности:	17,4	Неприемлемая

Комплексная оценка показала локальное улучшение по отдельным гигиеническим критериям, уровням риска и ассоциированной заболеваемости, однако в масштабах всего города итоговая эффективность, рассчитанная по наихудшему значению, остается

«неприемлемой» (17,4 %). Для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия на репрезентативной территории целесообразно внедрение дифференцированного подхода к определению и оптимизации регулирующих воздействий на все источники загрязнения воздуха, включая объекты теплоэнергетики, что позволит точно идентифицировать приоритетные загрязнители и источники, требующие первоочередного снижения выбросов.

Результаты решения оптимизационной задачи для обеспечения соблюдения гигиенических нормативов и критериев риска с учетом долевого вклада объектов в загрязнение атмосферы показали, что оптимально достаточным является 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 0,2 %), на АИТ – на 0,65 тыс. тонн (на 0,47 %). К приоритетным для снижения веществам на объектах теплоэнергетики исследуемой территории можно отнести 15 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, уровень снижения выбросов которых персонафицированно варьирует по объектам от 1 до 100 %.

В заключении обобщены основные результаты диссертационного исследования, акцентирующие внимание на проблеме загрязнения атмосферного воздуха выбросами объектов теплоэнергетики. Установлено, что эксплуатация угольных теплоэнергетических объектов способствует ухудшению качества атмосферного воздуха в зонах проживания людей и оказывает выраженное негативное воздействие на их здоровье. Выбросы, образующиеся в результате сжигания угля, характеризуются наличием мелкодисперсных частиц, способных к проникновению в биологические среды, обуславливая развитие широкого спектра патологий, включая респираторные и сердечно-сосудистые заболевания. Показано, что реализуемые воздухоохраные мероприятия, направленные на снижение выбросов от теплоэнергетических объектов, могут характеризоваться недостаточной эффективностью, что актуализирует задачу разработки и внедрения оптимальных стратегий минимизации выбросов загрязняющих веществ с учетом долевого вклада каждого источника и вещества в суммарную нагрузку на атмосферу и сопряженных рисков для здоровья населения.

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 NI_{Ac} и до 22,60 NI_{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 РМ1 в условиях хронической ингаляционной экспозиции на уровне 0,002 мг/м³.

9. Интегральный показатель эффективности воздухоохраных мероприятий по лимитирующему значению (по критерию HQch), 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.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Результаты исследований позволили обосновать следующие рекомендации.

1. *Территориальным органам и организациям Роспотребнадзора в Красноярском крае:* модернизировать и расширить систему мониторинга качества атмосферного воздуха в зоне влияния объектов теплоэнергетики с оценкой концентраций приоритетных загрязнителей (взвешенные вещества, диоксид азота, бензол, бенз(а)пирен, формальдегид, оксид углерода, и др.); для каждой примеси минимальное число наблюдений – не менее 300 измерений в год; проводить систематический эпидемиологический мониторинг здоровья населения в зонах повышенного риска (заболеваемость, госпитализации, смертность по причине болезней органов дыхания, пищеварения, кровообращения, нервной, мочеполовой, опорно-двигательной систем, онкозаболеваниям) до достижения допустимых уровней риска

здоровью; интегрировать в гигиенический мониторинг данные экологического мониторинга для уточнения связей «загрязнение – здоровье» и подготовки мер по устранению вредных воздействий; применять дифференцированный подход при определении перечня приоритетных веществ и объектов квотирования, анализе воздухоохраных мероприятий; проводить санитарно-просветительскую работу среди населения о рисках и методах защиты в периоды повышенного загрязнения; организовать взаимодействие с медучреждениями для диагностики, лечения и диспансерного наблюдения групп риска; при контроле объектов теплоэнергетики оценивать наличие санитарно-защитных зон и их регистрацию в Росреестре.

2. *Росприроднадзору по Красноярскому краю*: актуализировать Комплексные планы снижения воздействия на атмосферный воздух; внедрять наилучшие доступные технологии (ИТС 38-2024) на теплоэнергетических объектах для минимизации выбросов приоритетных твердых компонентов; включить в инвентаризационные ведомости полный перечень химических компонентов твердых взвешенных частиц; перераспределить квоты выбросов среди крупных предприятий теплоэнергетики с учетом их технологических возможностей и долевого влияния на качество воздуха.

3. *Хозяйствующим субъектам теплоэнергетики г. Красноярск*: разработать программы поэтапной модернизации с заменой устаревших котельных на современные экологически безопасные технологии с улучшенными показателями сжигания топлива и эффективными системами очистки (электрофильтры, скрубберы, циклоны); обеспечить автоматизированный контроль параметров работы оборудования; провести поэтапную ликвидацию устаревших угольных котельных; организовать обучение персонала по использованию современных экологически чистых технологий.

4. *Администрации и органам местного самоуправления г. Красноярск*: разработать и внедрить региональную программу управления рисками и снижения воздействия на здоровье населения; до улучшения ситуации и достижения нормативных значений качества среды обитания и допустимых уровней риска обеспечить систематическое информирование населения о факторах риска, последствиях и методах профилактики.

5. *Министерству здравоохранения Красноярского края*: разработать и внедрить целевую программу медико-профилактической поддержки населения в зонах повышенного риска, предусмотрев активное выявление групп риска, профилактические осмотры, диспансеризацию, индивидуальные программы профилактики и лечения, информирование населения о мерах защиты здоровья; особое внимание уделять заболеваниям дыхательной, сердечно-сосудистой, нервной и опорно-двигательной систем, органов пищеварения, зрения.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Дальнейшая разработка темы предполагает развитие научно-методических направлений: изучение эмерджентных свойств неканцерогенных факторов риска, уточнение фактических объёмов выбросов, совершенствование количественной оценки неканцерогенного риска, оценку достаточности воздухоохраных мер с позиций предотвращённого вреда здоровью, формирование перечня веществ для обязательного регулирования по критериям причинённого вреда здоровью и экономическую оценку результативности планов мероприятий.

Для развития оптимизационных подходов в охране атмосферного воздуха и снижения рисков здоровью целесообразны исследования по созданию многокритериальных моделей с учётом гигиенических, экономических и технологических ограничений; совершенствованию методов учета нестационарности выбросов; верификации расчетных данных инструментальными измерениями, а также экономической оценке воздухоохраных планов через предотвращенный вред здоровью.

Для Роспотребнадзора перспективными являются переход от оценки эффективности по валовому снижению выбросов к контролю за снижением приоритетных загрязнителей, совершенствованию социально-гигиенического мониторинга с учетом долевого вклада источников и развитие межведомственного взаимодействия при корректировке Комплексных

планов; научно-методическое совершенствование дифференцированного подхода к выбору оптимальных регулирующих воздействий. Для хозяйствующих субъектов – внедрение мер по снижению выбросов приоритетных веществ и оптимизация затрат путем концентрации усилий на наиболее опасных загрязнителях.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

В рецензируемых изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus, Russian Science Citation Index

1. 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, С.Ю. Балашов, С.Ю. Загороднов, Д.В. Горяев, И.В. Тихонова, **А.М. Андришунас** // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 11. – С. 1196-1202. – DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-11-1196-1202. (Scopus).
2. 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. (Scopus).
3. 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 (APEC-VI-2023), Karshi, 14–16 июня 2023 года. Vol. 411. – Les Ulis: EDP SCIENCES S A, 2023. – P. 02010. – DOI: 10.1051/e3sconf/202341102010. – EDN NAZLVM. (Scopus).
4. 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, Д.А. Кирьянов, Д.В. Горяев, **А.М. Андришунас**, С.Ю. Балашов, В.М. Чигвинцев, Д.Р. Хисматуллин // Гигиена и санитария – 2023. – Т. 102, № 11. – С. 1241-1250. – DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-11-1241-1250. – EDN PJFMQK. (Scopus).
5. 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. – EDN PNDUKU. (Scopus).
6. **Андришунас А.М.**, Клейн С.В. Гигиеническая оценка компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов в Атмосферном воздухе в зоне влияния крупного промышленного предприятия // Медицина труда и экология человека. – 2023. – № 2(34). – С. 98-116. – DOI: 10.24412/2411-3794-2023-10207. – EDN CIAWGP.
7. Об уровне безопасного содержания микроразмерных твёрдых частиц PM_{1,0} в атмосферном воздухе / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, К.В. Четверкина, **А.М. Андришунас**, М.Ю. Цинкер // Гигиена и санитария. – 2024. – Т. 103, № 11. – С. 1434-1440. – DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-11-1434-144. – EDN NIPITL. (Scopus).
8. Свидетельство о регистрации базы данных «Расчетный уровень пылевого воздействия стационарных источников выбросов в точках жилой застройки крупного промышленного центра» [Текст]. Заявитель и правообладатель Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения») (RU). – № 2021622129, заявл. 05.10.2021; опубл. 12.10.2021 / Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Балашов С.Ю., Загороднов С.Ю., Вековшина С.А., Попова Е.В., **Андришунас А.М.**, Ситчихина Л.А. (Свидетельство о регистрации базы данных). EDN: EPPPZI.
9. Свидетельство о регистрации базы данных «Вероятность негативного воздействия на здоровье населения выбросов химических веществ от стационарных источников объектов теплоэнергетического комплекса» [Текст]. Заявитель и правообладатель Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения») (RU). – № 2022621935, заявл. 13.07.2022; опубл. 04.08.2022 / Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Балашов С.Ю., Загороднов С.Ю., Вековшина С.А., **Андришунас А.М.**, Ситчихина Л.А. (Свидетельство о регистрации базы данных). EDN: VGCBYU.

10. Свидетельство о регистрации базы данных «Ассоциированные с качеством атмосферного воздуха случаи заболеваний, формируемые выбросами от объектов топливно-энергетического комплекса» [Текст]. Заявитель и правообладатель Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения») (RU). – № 2022622160, заявл. 12.08.2022; опубл. 30.08.2022 / Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., **Андрিশунас А.М.**, Балашов С.Ю., Загороднов С.Ю., Вековщина С.А., Кирьянов Д.А., Чигвинцев В.М., Камалтдинов М.Р., Ситчихина Л.А. (Свидетельство о регистрации базы данных). EDN: LZADXX.

11. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «Расчет случаев нарушений здоровья населения, ассоциированных с негативным воздействием промышленных объектов» [Текст]. Заявитель и правообладатель Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения») (RU). – № 2022682357, заявл. 08.11.2022, опубл. 22.11.2022 / Май И.В., Зайцева Н.В., Клейн С.В., **Андрিশунас А.М.**, Кирьянов Д.А., Балашов С.Ю., Чигвинцев В.М., Ситчихина Л.А. (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ). EDN: PYEXZV.

12. Свидетельство о регистрации базы данных «Показатели компонентного, дисперсного и морфологического состава твердых частиц, содержащихся в выбросах объекта теплоэнергетики и в атмосферном воздухе в зоне его влияния» [Текст]. Заявитель и правообладатель Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения») (RU). – № 2023624565, заявл. 06.12.2023; опубл. 11.12.2023 / Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Балашов С.Ю., **Андрিশунас А.М.**, Загороднов С.Ю., Ситчихина Л.А. (Свидетельство о регистрации базы данных). EDN: MAJBQE.

13. Патент на промышленный образец «Схема «Гигиеническая оценка эффективности комплексных планов воздухоохраных мероприятий на территории, в зоне влияния хозяйствующего субъекта (ХС), группы субъектов или объектов»» [Текст]. Заявитель и правообладатель Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения») (RU). – № 144614, заявл. 15.08.2024; опубл. 19.11.2024 / Зайцева Н.В., Клейн С.В., Четверкина К.В., **Андрিশунас А.М.**, Клячин А.А. (Патент на промышленный образец). EDN: LJCSAW.

В других рецензируемых изданиях

14. Гигиеническая оценка динамики уровня загрязнения атмосферного воздуха в Российской Федерации / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, С.А. Вековщина, **А.М. Андрিশунас** // Анализ риска здоровью – 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью Rise-2020 и круглым столом по безопасности питания: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 томах / под редакцией профессора А.Ю. Поповой, академика РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2020. – Т. 1. – С. 235-243. – EDN: HOAPMP.

15. Energy power facilities as a source of potential human health risk / **А.М. Андрিশунас**, N.V. Zaitseva, S.V. Kleyln, M.R. Kamaltdinov, S.Yu. Zagorodnov, E.V. Sedusova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 867. – P. 012183 DOI:10.1088/1755-1315/867/1/012183.

16. Предприятия топливно-энергетического комплекса как источники потенциального риска причинения вреда здоровью населения / **А.М. Андрিশунас**, Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, М.Р. Камалтдинов, С.Ю. Балашов // XI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Анализ риска здоровью – 2021». Внешнесредовые, социальные, медицинские и поведенческие аспекты. Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2021. Пермь, 2021. – Т. 1. – С. 344-354. – EDN: SHTNQQ.

17. **Андрিশунас, А.М.** Потенциальный риск причинения вреда здоровью в результате хозяйственной деятельности объектов топливно-энергетического комплекса (на примере субъекта РФ) // IV Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «Экология и здоровье населения», г. Ангарск 05-09 июля 2021. – 2021. – С. 143-147. – EDN: JSEONO.

18. Опыт использования геоинформационных технологий в оценке аэрогенной химической экспозиции населения в зонах влияния объектов теплоэнергетики / **А.М. Андрিশунас**, Е.В. Попова, С.В. Клейн, С.Ю. Балашов // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью

населения: материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора. – 2021. – С. 403-410. – EDN: EIAXPН.

19. **Андришунас А.М.,** Клейн С.В. Риск-ориентированный надзор на объектах, осуществляющих деятельность в сфере теплоэнергетики // XII Всероссийская научно-практическая интернет-конференция молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием «Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях» – 2022. – С. 23-26. – EDN: VGKXLA.

20. **Андришунас А.М.,** Клейн С.В. Пространственное распределения потенциальной опасности в результате деятельности объектов теплоэнергетики и влияние их на здоровье населения // Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы гигиены в условиях современных вызовов». 2023. – С. 19-27. – EDN: FBOCCB.

21. Гигиеническая оценка влияния автономных источников теплоснабжения на качество атмосферного воздуха и формирование рисков здоровью населения / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, **А.М. Андришунас**, С.Ю. Балашов, В.М. Чигвинцев // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2023. – № 6. – с. 308-327. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-6-991.

22. **Андришунас, А.М.** Предприятия теплоэнергетики как источники потенциального риска причинения вреда здоровью населения (сравнительный и пространственно-динамический анализ) / А.М. Андришунас // Анализ риска здоровью - 2023: Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2023: материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участие, Пермь, 17–19 мая 2023 года. Том 1. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – 2023. – С. 302-308. – EDN: GATGRS.

23. **Андришунас А.М.** Анализ потенциальных рисков причинения вреда здоровью населения в зонах максимального влияния объектов теплоэнергетики // Всероссийская научно-практическая интернет-конференция молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием «Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения-2023» – <https://fcrisk.ru/forums/node/1446>.

24. **Андришунас А.М.,** Балашов С.Ю. Прогнозная оценка результативности воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетического комплекса // Анализ риска здоровью – 2024: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 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: СКCWBA.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ARFC, RFC	– референтная концентрация при остром и хроническом ингаляционном воздействии	НИР ОКВЭД	– научно-исследовательская работа – Общероссийский Классификатор Видов Экономической деятельности
CRt	– общий канцерогенный риск	ПДКм.р., ПДКс.с., ПДКс.г.	– максимально разовая, среднесуточная, среднегодовая предельно допустимая концентрация
HIас, HIch	– индексы опасности при остром и хроническом воздействии	РФ	– Российская Федерация
HQас, HQch	– коэффициенты опасности при остром и хроническом воздействии	СГМ	– социально-гигиенический мониторинг
PM2.5, PM10, PM1	– взвешенные частицы до 2,5 мкм, до 10 мкм, до 1 мкм	СФО	– Сибирский федеральный округ
ВВП	– валовый внутренний продукт	ТЭС/ТЭЦ	– теплоэлектростанция/ теплоэлектроцентраль
АИТ	– автономные источники теплоснабжения	ТФОМС	– Территориальный фонд обязательного медицинского страхования
ИЗА	– индекс загрязнения атмосферы	ФП	– Федеральный проект
МР	– методические рекомендации	ЦП	– целевой показатель
НДТ	– наилучшие доступные технологии		

Научное издание

Анришунас Алена Мухаматовна

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

3.2.1. Гигиена

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата медицинских наук

Подписано в печать 09.04.2026. **Формат 60*90/16.**
Усл. печ. л. 1,5. Тираж 100 экз. **Заказ 814/2022**

Отпечатано в типографии издательства «Книжный формат»
Адрес: 614000, г. Пермь, ул. Пушкина, 80.