

Читать  
онлайн  
Read  
onlineАндрешунас А.М.<sup>1</sup>, Клейн С.В.<sup>1</sup>, Горяев Д.В.<sup>2</sup>, Балашов С.Ю.<sup>1</sup>, Загороднов С.Ю.<sup>1</sup>

## Гигиеническая оценка эффективности воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики

<sup>1</sup>ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 614045, Пермь, Россия;

<sup>2</sup>Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю, 660049, Красноярск, Россия

**Введение.** Качество среды обитания напрямую влияет на показатели здоровья населения. Реализация воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики и в отношении автономных источников теплоснабжения (АИТ), в том числе в рамках федерального проекта «Чистый воздух», позволит улучшить качество атмосферного воздуха на приоритетных территориях.

**Цель исследования:** разработка и апробация методических подходов к гигиенической оценке с использованием критериев риска эффективности реализации на объектах теплоэнергетики и АИТ воздухоохраных мероприятий, направленных на снижение выбросов химических веществ в атмосферный воздух.

**Материалы и методы.** Оценка эффективности воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики и АИТ, включённых в комплексные планы, осуществляли по изменению пространственно дифференцированных параметров ингаляционного риска для здоровья с оценкой остаточного риска и количества населения, выведенного из зон повышенной экспозиции.

**Результаты.** На примере г. Красноярска реализация поставленных в исследовании задач позволила определить перечень 55 химических веществ из 251, выбрасываемого в результате хозяйственной деятельности объектов теплоэнергетики и АИТ. Установлено, что выбросы от данных объектов формируют неприемлемые уровни канцерогенного и неканцерогенного рисков в отношении органов дыхания, зрения, иммунной и ряда других систем организма (СР до  $3,31 \cdot 10^{-4}$ ; НПС до 202,31; НПС до 33,5). Реализация на исследуемой территории запланированных к 2024 г. воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики и АИТ позволит снизить неканцерогенный риск в 2,57–13,5 раза (канцерогенный риск снизится незначительно), а также перевести из зоны высокого неканцерогенного риска в минимальный (целевой) уровень острого неканцерогенного риска более 50 тыс. человек, из зоны хронического неканцерогенного риска — более 35 тыс. человек.

**Ограничениями исследования** являются: недостаточная полнота данных об источниках загрязнения, компонентах промышленных выбросов, ряд неопределённостей, связанных с установлением референтного уровня воздействия, критических органов и систем органов, вредных эффектов, а также с использованием для отдельных веществ расчётных данных по концентрациям.

**Выводы.** Реализация мероприятий действующего Комплексного плана позволит локально снизить уровень формируемых от объектов теплоэнергетики и АИТ рисков для здоровья населения. Снижение рисков до приемлемых уровней на всей территории города потребует реализации дополнительных мероприятий.

**Ключевые слова:** федеральный проект «Чистый воздух»; объекты теплоэнергетики; качество атмосферного воздуха; загрязняющие вещества; комплексный план; воздухоохраные мероприятия; оценка риска для здоровья; оценка эффективности мероприятий

**Соблюдение этических стандартов.** Для проведения данного исследования не требовалось заключения комитета по биомедицинской этике. Исследование выполнено на общедоступных данных официальной статистики.

**Для цитирования:** Андрешунас А.М., Клейн С.В., Горяев Д.В., Балашов С.Ю., Загороднов С.Ю. Гигиеническая оценка эффективности воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(11): 1290–1298. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1290-1298> <https://elibrary.ru/nvniitk>

**Для корреспонденции:** Андрешунас Алена Мухаматовна, мл. науч. сотр. лаб. методов комплексного санитарно-гигиенического анализа и экспертиз ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь. E-mail: ama@fcrisk.ru

**Участие авторов:** Андрешунас А.М. — дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста; Клейн С.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование; Горяев Д.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Балашов С.Ю. — сбор и обработка материала, написание текста; Загороднов С.Ю. — сбор и обработка материала, написание текста. *Все соавторы* — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 06.09.2022 / Принята к печати: 03.10.2022 / Опубликована: 30.11.2022

Alyona M. Andrishunas<sup>1</sup>, Svetlana V. Kleyn<sup>1</sup>, Dmitry V. Goryaev<sup>2</sup>, Stanislav Yu. Balashov<sup>1</sup>, Sergey Yu. Zagorodnov<sup>1</sup>

## Hygienic assessment of air protection activities at heat-and-power engineering enterprises

<sup>1</sup>Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation;

<sup>2</sup>The Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Krasnoyarsk Regional office, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

**Introduction.** Quality of the environment produces direct effects on public health in large industrial centers. Implementation of air protection activities at heat-and-power engineering enterprises and autonomous heat supply sources (AHSS), including those stipulated within the “Clean Air” Federal project will allow improving ambient air quality on priority territories.

**Our research goal** was to develop and test methodical approaches to hygienic assessment of air protection activities implemented at heat-and-power engineering enterprises and AHSS with their effectiveness estimated as per health risks.

Original article

**Materials and methods.** We estimated effectiveness of air protection activities implemented at heat-and-power engineering enterprises and AHSS included in the Complex plans. It was done by analyzing changes in spatially differentiated rates of inhalation health risks together with residual risk assessment and estimating a number of people who were removed from zones with elevated exposure levels.

**Results.** In Krasnoyarsk, we established a list that included 55 priority chemicals out of 251 substances emitted by heat-and-power engineering enterprises and AHSS. At present, these priority chemicals create unacceptable carcinogenic and non-carcinogenic health risks regarding the respiratory system, eyesight, the immune system and some others (CR is up to  $3.31 \cdot 10^{-4}$ , HI<sub>ac</sub> is up to 202.31, and HI<sub>cr</sub> is up to 33.5). Activities to be implemented by 2024 at heat-and-power engineering enterprises and AHSS on the analyzed territory will make it possible to reduce non-carcinogenic risks by 2.57–13.5 times; carcinogenic risks are expected to decrease only slightly. In addition, more than 50 thousand people exposed to high acute non-carcinogenic risks and more than 30 thousand people exposed to high chronic non-carcinogenic risks will be moved to a zone with minimal (target) non-carcinogenic health risks.

**Limitations of the study** were incomplete data on pollution sources and components of industrial emissions; some uncertainties associated with establishing reference exposure level, critical organs/systems and adverse effects; calculated data on concentrations used for certain chemicals.

**Conclusions.** Implementation of air protection activities within the existing Complex plan will allow reducing locally occurring public health risks created by heat-and-power engineering enterprises and AHSS. Additional activities are required to mitigate public health risks down to their acceptable levels in the whole city.

**Keywords:** “Clean Air” Federal project; heat-and-power engineering enterprises; ambient air quality; pollutants; complex plan; air protection activities; health risk assessment; estimation of effectiveness

**Compliance with ethical standards.** This study did not require permission by the committee on biomedical ethics (the study was accomplished with use of the publicly available official statistic data).

**For citation:** Andrishunas A.M., Kleyn S.V., Goryaev D.V., Balashov S.Yu., Zagorodnov S.Yu. Hygienic assessment of air protection activities at heat-and-power engineering enterprises. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(11): 1290–1298. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1290-1298> <https://elibrary.ru/nvntik> (In Russian)

**For correspondence:** Alena M. Andrishunas, MD, junior researcher, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russia. E-mail: ama@fcrisk.ru

#### Information about authors:

Kleyn S.V., <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>

Andrishunas A.M., <https://orcid.org/0000-0002-0072-5787>

Balashov S.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-6923-0539>

Goryaev D.V., <https://orcid.org/0000-0001-6450-4599>

Zagorodnov S.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-6357-1949>

**Contribution:** Andrishunas A.M. – design of the study, collection and processing of material, writing text; Kleyn S.V. – concept and design of the study, writing text, editing; Goryaev D.V. – concept and design of the study, editing; Balashov S.Yu. – collection and processing of material, writing text; Zagorodnov S.Yu. – collection and processing of material, writing text. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: September 6, 2022 / Accepted: October 3, 2022 / Published: November 30, 2022

## Введение

В настоящее время ведущая роль в производстве электрической и тепловой энергии во всём мире принадлежит тепловой энергетике, несмотря на стремительное развитие альтернативных способов получения энергии: гидроэлектростанции, атомные электростанции, а также станции, которые получают энергию из возобновляемых природных ресурсов (солнечный свет, ветер, приливы и др.). На сегодняшний день почти 40% электроэнергии продолжают получать на тепловых электростанциях (ТЭС), работающих на твёрдом топливе [1–3].

Крупные ТЭС чаще всего располагаются в жилых зонах или недалеко от центров перерабатывающей промышленности. Основным видом топлива на таких теплоэлектростанциях является органическое: уголь, мазут, сланцы, торф, низкокалорийные и многозольные угли (более 70%), в меньшей степени – природный газ [3, 4].

Производство тепловой энергии предприятиями теплоэнергетики с использованием органических видов топлива сопровождается существенным воздействием на уровень загрязнения атмосферы. Другим значимым источником загрязнения приземного слоя атмосферы являются печи частных домов – автономные источники теплоснабжения (АИТ), преимущественно использующие твёрдые виды топлива [5–7].

Повышенные уровни содержания в атмосферном воздухе загрязняющих веществ, поступающих в результате деятельности объектов теплоэнергетики и АИТ, могут оказывать неблагоприятное влияние на здоровье населения с преимущественной направленностью действия на органы дыхания, систему крови, процессы развития, иммунную систему, сердечно-сосудистую систему (ССС), центральную нервную систему (ЦНС) и репродуктивную систему, а также потенцировать развитие различных новообразований [8–11].

По данным многочисленных отечественных исследований, в промышленных городах Сибири до 50% случаев обострений хронических неспецифических заболеваний органов дыхания имеют вероятную связь с загрязнением атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий, включая объекты теплоэнергетики, и АИТ [9, 12–14].

С 2019 г. в Российской Федерации в рамках федеральных проектов «Чистый воздух», «Чистая страна», «Энергетическая стратегия России» активно реализуются комплексы природоохранных мероприятий<sup>1</sup>, направленных на улучшение качества атмосферного воздуха, в том числе в отношении объектов теплоэнергетики и АИТ.

Одним из активно развивающихся промышленных регионов Российской Федерации, в котором сосредоточены крупнейшие предприятия топливно-энергетического комплекса, является Сибирский федеральный округ с основным энергопроизводительным центром – г. Красноярском [5, 6]. Красноярск – крупный экономический, промышленный и энергетический центр, обеспечивающий производство, транспортировку и сбыт электрической и тепловой энергии<sup>2</sup>.

По данным сводного доклада Министерства экологии и рационального природопользования Красноярского края, ежегодно предприятиями теплоэнергетики в атмосферный воздух Красноярска выбрасывается порядка 70 тыс. тонн загрязняющих веществ. Основными предприятиями топливно-энергетического комплекса города являются АО «Назаровская ГРЭС», филиал «Красноярская ГРЭС-2»

<sup>1</sup> Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Реализация федерального проекта «Чистый воздух». Доступно: [https://www.mnr.gov.ru/press/news/v\\_sovete\\_federatsii\\_obsudili\\_realizatsii\\_federalnogo\\_proekta\\_chisty\\_vozdukh/](https://www.mnr.gov.ru/press/news/v_sovete_federatsii_obsudili_realizatsii_federalnogo_proekta_chisty_vozdukh/) (дата обращения: 10.02.2022 г.).

<sup>2</sup> Федеральная служба государственной статистики. Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов: 2020. Доступно: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/RZLCLxM7/Region-Goroda-2020.pdf> (дата обращения: 10.02.2022 г.).

ПАО «ОГК-2», АО «Красноярская ТЭЦ-1» и филиалы «Красноярская ТЭЦ-2» и «Красноярская ТЭЦ-3» АО «Енисейская ТГК (ТГК-13)», ими производится до 37,2% от выбросов всех предприятий в г. Красноярске [6].

Зона влияния объектов теплоэнергетики и АИТ на атмосферный воздух распространяется практически на всю территорию Красноярска, что определяется равномерным расположением стационарных источников выбросов по всему городу (городских ТЭЦ, районных котельных), а также наличием низких источников загрязнения атмосферы (АИТ). В результате под влиянием выбросов объектов теплоэнергетики и АИТ находится более 1 млн человек. Непрерывная работа объектов теплоэнергетики и АИТ и неблагоприятные климатические условия, характерные для сибирского региона, способствуют недостаточному рассеиванию химических веществ и накоплению загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, что приводит к формированию высоких уровней риска для здоровья населения города [6–8].

Комплексным планом мероприятий<sup>3</sup> предполагается сокращение к 2024 г. выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух г. Красноярска от объектов теплоэнергетики на 42,6 тыс. тонн (на 22,3% от уровня 2017 г.), в том числе за счёт технического переоборудования некоторых теплоэлектроцентралей (реконструкция котлов с оснащением электрофильтрами, вывод из эксплуатации малоэффективных турбоагрегатов и ввод нового турбинного оборудования, систем охлаждения и пр.). В городе запланированы ликвидация малоэффективных угольных котельных, реализация мероприятий по переселению граждан из аварийного жилого фонда с печным отоплением, подключение жилого сектора к централизованному тепловому отоплению, а также проведение газа<sup>1</sup>.

*Цель исследования* – разработка и апробация методических подходов к гигиенической оценке с использованием критериев риска эффективности реализации на объектах теплоэнергетики и АИТ воздухоохраных мероприятий, направленных на снижение выбросов химических веществ в атмосферный воздух, в рамках федерального проекта «Чистый воздух».

## Материалы и методы

Общий алгоритм оценки эффективности текущих и планируемых на объектах теплоэнергетики и АИТ воздухоохраных мероприятий включал несколько последовательных этапов: 1) формирование сводной базы параметров всех стационарных и передвижных источников с выделением объектов топливно-энергетического комплекса и АИТ, влияющих на существующее загрязнение атмосферного воздуха, с учётом реализации мероприятий; 2) установление перечня веществ, выбрасываемых объектами теплоэнергетики и АИТ; 3) установление пространственно-дифференцированных уровней загрязнения атмосферного воздуха жилых массивов до и после реализации комплексных мероприятий в отношении объектов теплоэнергетики и АИТ; 4) проведение оценки риска для здоровья населения с получением параметров риска до и после реализации мероприятий; 5) оценка эффективности реализуемых и планируемых мероприятий по критериям риска для здоровья.

Формирование сводной базы данных осуществляли в соответствии с актуальными ведомостями инвентаризации источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух территории. К объектам теплоэнергетики относили хозяйствующие субъекты, осуществляющие деятельность по производству энергии (ОКВЭД 35.11) и производству, передаче и распределению пара, горячей воды (ОКВЭД 35.30) с учётом вспомогательных производств (ТЭЦ, ГРЭС, ТГК, ОГК и пр.), и дополняли данными по АИТ – неорганизован-

ным источникам выбросов, каждый из которых представляет собой совокупность труб, котлов и печей определённой территории частной жилой застройки. В перечень выбрасываемых объектами теплоэнергетики и АИТ включали все компоненты, учтённые по данным стационарным источникам в сводной базе территории.

Для получения расчётных концентраций загрязняющих веществ в атмосфере в каждой расчётной точке, характеризующей жилую застройку города, и точке расположения постов инструментальных измерений использовали алгоритмы, утверждённые в методических рекомендациях «Методы расчётов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе»<sup>4</sup>. Для расчётов среднегодовых концентраций загрязняющих веществ использовали программу УПРЗА «Эколог-Город» 4.60.1 с блоком расчёта «Средние». Метеорологические характеристики территории получали по специальному запросу от ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» в виде метеофайла.

Для получения корректных характеристик экспозиции расчётные данные верифицировали данными инструментальных измерений качества атмосферного воздуха с использованием коэффициентов соответствия по каждому веществу в каждой точке расчётной сетки. Коэффициенты соответствия получили согласно методическим подходам, изложенным в МР 2.1.6.0157–19<sup>5</sup>. Эти же пространственно-дифференцированные коэффициенты соответствия по веществам (в настоящий момент) использовали при верификации расчётных данных, полученных с учётом перспективной реализации воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики и АИТ.

Расчёт показателей риска в настоящий момент и на перспективу в результате реализации мероприятий в отношении объектов теплоэнергетики и АИТ в каждой точке расчётной сетки проводили в соответствии с требованиями руководства Р 2.1.10.1920–04<sup>6</sup> с учётом данных о референтных уровнях воздействия в отношении критических органов и систем организма. Оценку риска выполняли путём последовательной реализации всех необходимых этапов: идентификация опасности, оценка зависимостей «экспозиция – ответ», оценка экспозиции, характеристика риска для здоровья, оценка неопределённости. На этапе оценки зависимости «доза – ответ» в соответствии с Р 2.1.10.1920–04<sup>6</sup> и перечнем исследуемых веществ устанавливали вредные эффекты (органы и системы-мишени). Канцерогенный риск для здоровья оценивали через величины индивидуального канцерогенного риска при условии пожизненной экспозиции. Неканцерогенный риск для здоровья оценивали через коэффициенты и индексы опасности при остром и хроническом воздействии. Классификацию риска осуществляли в соответствии с МР 2.1.10.0156–19<sup>7</sup>. Оценку экспозиции и расчёт риска проводили от всех источников загрязнения атмосферы на территории и отдельно от источников теплоэнергетики и АИТ.

<sup>4</sup> Приказ Минприроды России от 06.06.2017 г. № 273 «Об утверждении методов расчётов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». Зарегистрирован в Минюсте России 10.08.2017 г. № 47734.

<sup>5</sup> МР 2.1.6.0157–19 «Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха и количественная оценка экспозиции населения для задач социально-гигиенического мониторинга». М., 2019. 36 с.

<sup>6</sup> Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Р 2.1.10.1920–04. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. 2004. 143 с.

<sup>7</sup> 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. Утв. руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А.Ю. Поповой 2 декабря 2019 г. М., 2019. 25 с.

<sup>3</sup> Комплексный план мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух г. Красноярска. Утв. заместителем Председателя Правительства Российской Федерации 28 декабря 2018 г. (№ 11024п-П6).

Расчётные и верифицированные пространственные характеристики качества атмосферного воздуха (максимальные разовые и среднегодовые концентрации), параметры риска для здоровья подгружали в геоинформационную систему (ГИС) в привязке к векторной карте территории. В качестве ГИС использовали лицензионные программные продукты ArcGIS 9.3.1 фирмы ESRI.

Оценку вклада объектов теплоэнергетики и АИТ в уровни экспозиции и риска для здоровья, формируемые всеми стационарными и передвижными источниками выбросов города, осуществляли по результатам сводных расчётов рассеивания загрязняющих веществ.

Для оценки численности населения, проживающего в условиях аэрогенного риска, использовали деперсонифицированные данные о количестве застрахованного населения в базе данных территориального фонда обязательного медицинского страхования (ФОМС). Геокодирование данных о численности населения, проживающего в каждом доме, проводили в геометрическом центре здания по данным атрибута «адрес» адресного реестра – специального электронного слоя всех зданий и сооружений города в ГИС ArcGIS 9.3.1.

Оценку эффективности реализуемых и планируемых на объектах теплоэнергетики и АИТ воздухоохраных мероприятий, включённых в комплексные планы воздухоохраных мероприятий (далее – Комплексный план) территории, осуществляли по изменению параметров ингаляционного риска для здоровья с оценкой остаточного риска и численности населения, выведенного из зон проживания с повышенным уровнем риска для здоровья.

Апробацию предложенного алгоритма осуществляли на примере Красноярск – пилотной территории, включённой в федеральный проект «Чистый воздух», на которой объектами теплоэнергетики и АИТ используется в основном твёрдое топливо – уголь.

Численность населения Красноярск составляет 1,09 млн человек. Актуальная сводная база параметров источников выбросов города включает 5977 стационарных и передвижных источников, к объектам теплоэнергетики относятся 1200 стационарных источников, включая 171 неорганизованный источник выброса (АИТ). Объектами теплоэнергетики и АИТ на исследуемой территории выбрасываются 55 веществ (из 251 вещества, выбрасываемого всеми стационарными и передвижными источниками), включая компоненты, выбрасываемые вспомогательными производствами.

Расчёт рассеивания осуществляли в 13 889 расчётных точках – геометрических центрах жилых домов и точках размещения постов мониторинга качества атмосферного воздуха Росгидромета, Роспотребнадзора и территориальной сети наблюдения. Для верификации расчётных данных использовали результаты инструментальных измерений качества атмосферного воздуха на постах за 2018–2020 гг. Получена матрица, содержащая пространственные данные по концентрациям загрязняющих веществ: по 37 веществам, для которых получены только расчётные максимальные разовые концентрации, и 18 веществам – расчётные максимальные разовые концентрации, верифицированные данными инструментальных исследований; по 32 веществам – только расчётные среднегодовые концентрации; по 23 веществам – расчётные среднегодовые концентрации, верифицированные данными инструментальных исследований.

## Результаты

Реализация предложенного алгоритма на примере Красноярск выявила, что на исследуемой территории в результате деятельности объектов теплоэнергетики и АИТ в атмосферный воздух выбрасывается 55 химических веществ. Из них 7 примесей обладают канцерогенными свойствами (формальдегид, бенз(а)пирен, хром (VI), бензол, свинец, углерод (сажа), этилбензол); 25 веществ – острым неканцерогенным действием (оксид углерода, бензол, формальде-

Таблица 1 / Table 1

### Уровни индивидуального канцерогенного риска, формируемого выбросами объектов теплоэнергетики и АИТ

Individual carcinogenic levels of the risk formed by emissions from heat-and-power engineering enterprises and autonomous heat supply sources (AHSS)

Вещество Chemical	Уровни канцерогенного риска Carcinogenic risk levels	
	минимум minimum	максимум maximum
Свинец и его соединения Lead and its compounds	7.90E–13	1.27E–08
Хром (IV) Chromium (IV)	2.04E–07	1.55E–05
Углерод (Сажа) Carbon (Carbonblack)	3.96E–07	1.85E–05
Бензол Benzene	5.68E–11	4.15E–06
Этилбензол Ethylbenzene	1.48E–13	3.02E–08
Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene	2.22E–10	1.14E–07
Формальдегид Formaldehyde	3.53E–07	3.28E–04
Суммарный уровень канцерогенного риска Total carcinogenic risk (CR <sub>T</sub> )	2.48E–06	3.31E–04

гид, взвешенные вещества и др.); 50 веществ – хроническим неканцерогенным действием (оксид углерода, формальдегид, взвешенные вещества и др.)<sup>5</sup>. К I и II классам опасности относятся 17 исследуемых веществ, в том числе свинец, хром, бенз(а)пирен, бензол, гидроксibenзол, формальдегид, оксид меди, марганец.

На этапе оценки экспозиции, существующей в настоящее время, установлено, что концентрации в атмосферном воздухе пяти анализируемых веществ (диоксид азота, углерод, бензол, формальдегид, взвешенные вещества) пространственно диффузно до 31,8–201,1 раза превышали референтные уровни при остром и хроническом воздействии. Кроме того, для 13 веществ зарегистрированы превышения гигиенических нормативов (до 29,9 ПДК<sub>мр</sub>, до 15,9 ПДК<sub>сс</sub> и до 31,9 ПДК<sub>сг</sub>).

На этапе характеристики риска установлено, что индивидуальный пожизненный канцерогенный риск, формируемый всеми объектами теплоэнергетики и АИТ, в отдельных зонах исследуемой территории превышал допустимый уровень ( $CR > 1 \cdot 10^{-4}$ ) и формировался в основном формальдегидом (до  $3,28 \cdot 10^{-4}$ ) (табл. 1). При этом формальдегид не является маркерным веществом топливно-энергетического комплекса и присутствует только в выбросах источников вспомогательных производств. Суммарный уровень ингаляционного канцерогенного риска (CR<sub>T</sub>) на территории жилой застройки Красноярск, формируемый всеми объектами теплоэнергетики и АИТ, регистрировали на уровне  $2,48 \cdot 10^{-6}$ – $3,31 \cdot 10^{-4}$ . В зоне повышенного канцерогенного риска (CR<sub>T</sub> >  $1 \cdot 10^{-4}$ ), формируемого выбросами объектов теплоэнергетики и АИТ, проживают 3170 человек.

Пространственно-дифференцированный вклад объектов теплоэнергетики и АИТ в суммарный уровень канцерогенного риска от всех источников по расчётным данным составил от 5,24 до 78%.

Результаты оценки острого неканцерогенного риска в условиях ингаляционного поступления загрязняющих веществ показали, что выбросы объектов теплоэнергетики и АИТ формируют в отдельных зонах жилой застройки города риск нарушений функций органов дыхания, зрения,

Таблица 2 / Table 2

**Уровни острого неканцерогенного риска, формируемого выбросами объектов теплоэнергетики и АИТ, для отдельных органов и систем-мишеней****Acute non-carcinogenic risks caused by emissions from heat-and-power engineering enterprises and autonomous heat supply sources (AHSS) as per specific target organs and systems**

Органы мишени Target organs	Уровень опасности (НІас) Hazard index		Характеристика максимального значения риска Characteristic of maximum risk value
	минимум minimum	максимум maximum	
Органы дыхания / Respiratory organs	0.224	202.3	Высокий / High
Процессы развития организма / Process of the body development	0.013	6.59	Высокий / High
Репродуктивная система / Reproductive system	9.48E-05	2.82	Допустимый / Permissible
Органы зрения / Visual organs	0.023	19.06	Высокий / High
Сердечно-сосудистая система / Cardiovascular system	0.012	6.50	Высокий / High
Иммунная система / Immune system	9.17E-05	2.82	Допустимый / Permissible
Системные эффекты / Systemic effects	0.107	201.1	Высокий / High

процессов развития организма, ССС, а также системных эффектов, характеризующийся как «высокий» (НІас > 6) – до 6,50–202,31 НІас.; для репродуктивной и иммунной систем – как «допустимый» (НІас от 1 до 3) до 2,82 НІас (табл. 2).

К приоритетным веществам, формирующим «настораживающий» (НҚас > 1) и «высокий» (НҚас > 3) уровни острого ингаляционного неканцерогенного риска для здоровья населения города, относятся: оксид углерода, бензол, формальдегид, взвешенные вещества (НҚас > 3). Максимальные значения индексов опасности в отношении органов дыхания обусловлены локальным значимым влиянием (НҚас > 3) взвешенных веществ (вклад до 99,4%). Высокие уровни коэффициентов опасности (НҚас > 3) по взвешенным веществам формируются на территории жилой застройки (число жителей – более 276,8 тыс. человек). В настоящий момент в зонах повышенного риска (НІ > 3), характеризующего как «настораживающий» и «высокий», проживают 388 605 человек, в зоне «допустимого» риска – 358 632 человека.

По результатам расчетов рассеивания вклад объектов теплоэнергетики и АИТ в уровень острого неканцерогенного риска нарушений функций органов дыхания от всех источников выбросов города составил от 7,58 до 92,12%, для остальных органов и систем-мишеней – от 1,41 до 100%.

Результаты оценки хронического неканцерогенного риска в условиях ингаляционного поступления загрязняющих веществ показали, что риск возникновения нарушений функций органов дыхания, органов зрения, иммунной системы характеризуется как «высокий» (НІсг > 6) – индекс опасности достигал значений 19,04–33,46 НІсг, превышая допустимый уровень в отдельных зонах города более чем в 5 раз (см. рисунок). «Настораживающий» риск (индексы опасности от 3 до 6) формировался в отношении воздействия на кровотоковую систему (НІсг = 3,47), «допустимый» риск (индексы опасности от 1 до 3) – в отношении ЦНС, ССС и процессов развития организма (НІсг = 1,35–1,67) (табл. 3).

Вклад объектов теплоэнергетики в суммарный уровень хронического неканцерогенного ингаляционного риска нарушений функций органов дыхания от всех источников в разных зонах исследуемой территории составлял от 0,48 до 67,9%.

К приоритетным веществам, формирующим повышенные уровни коэффициентов опасности при хроническом воздействии (НҚсг > 1) на исследуемой территории, относятся взвешенные вещества, формальдегид, диоксид азота, оксид углерода (НҚсг до 1,35–31,85). В зонах повышенного риска, характеризующего как «настораживающий» (НҚсг > 3) и «высокий» (НІсг > 6), проживает 157,4 тыс. человек, в зоне «допустимого» риска (1 < НІсг ≤ 3) – 706,7 тыс. человек.

При проведении оценки риска установлен ряд неопределённостей, связанных с недостаточной полнотой данных об источниках загрязнения, компонентах промышленных выбросов. Установлены референтный уровень воздействия, критические органы и системы и вредные эффекты, различное время осреднения референтных уровней, характеризующих острое воздействие.

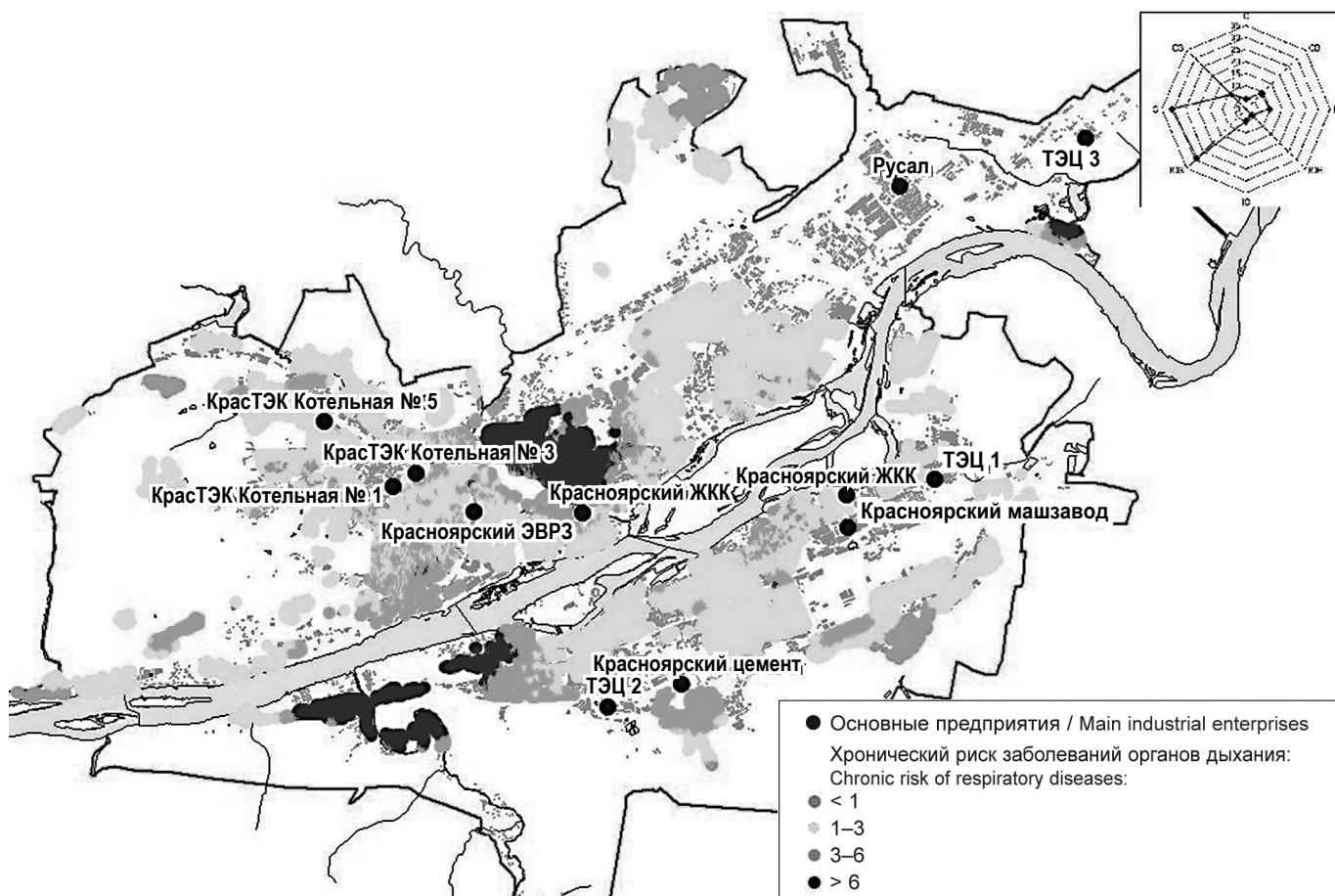
Согласно Комплексному плану воздухоохраных мероприятий, к 2024 г. в Красноярске для снижения выбросов химических веществ на объектах теплоэнергетики и АИТ предусматривается:

- замещение 35 малоэффективных угольных котельных и последующее сокращение валового выброса более чем на 8 тыс. тонн по следующим веществам: пентаксид диванадия, дижелезо триоксид, марганец, хром, диоксид азота, азота (II) оксид, углерод (сажа), диоксид серы, дигидросульфид, оксид углерода, фториды газообразные, фториды плохо растворимые, бенз(а)пирен, керосин, углеводороды предельные C<sub>12</sub>–C<sub>19</sub> и др.;
- снос 289 домов жилого фонда с печным отоплением, что позволит снизить валовый выброс на 0,3 тыс. тонн по следующим веществам: диоксид азота, азота (II) оксид, диоксид серы, оксид углерода, бенз(а)пирен, взвешенные вещества, пыль неорганическая (70–20% SiO<sub>2</sub>).

Прогнозная оценка реализации мероприятий Комплексного плана на предприятиях теплоэнергетики и в отношении АИТ к 2024 г. показала пространственно-диффузное снижение концентраций по 42 веществам. При остром воздействии по 34 веществам в точках жилой застройки наблюдается снижение концентраций в 1,16–93,4 раза, при хроническом воздействии – снижение концентраций 14 веществ в 2,1–36,5 раза. В среднем наибольшее пространственное снижение отмечено по 4 веществам: марганцу, углероду, бенз(а)пирену, фторидам неорганическим плохо растворимым (в 1,33–2,62 раза).

Уровень канцерогенного риска, формируемого данными объектами, практически не изменится: CR<sub>T</sub><sup>нпос</sup> 2,29 • 10<sup>-6</sup>–3,30 • 10<sup>-4</sup>. Сохранятся приоритетные факторы и численность населения под воздействием.

Благоприятная тенденция прогнозируется в отношении локального снижения уровня острого неканцерогенного риска нарушений функций органов дыхания, ССС и системных эффектов (снижение НІас<sup>нпос</sup> до 4,95–13,54 раза). При этом в среднем уровни острого риска в отношении органов дыхания и системных эффектов, выраженные индексами опасности, снизятся незначительно (до 1,1 раза). Практически не изменятся значения острого неканцерогенного риска в отношении иммунной, репродуктивной систем, ЦНС, органов зрения и процессов развития организма: в среднем



Зонирование территории Красноярска по показателям хронического неканцерогенного риска возникновения заболеваний органов дыхания, формируемого химическим загрязнением атмосферного воздуха объектами теплоэнергетики и АИТ.

Zones on the Krasnoyarsk city territory determined as per chronic non-carcinogenic risks of respiratory diseases due to chemical pollution in ambient air created by heat-and-power engineering enterprises and autonomous heat supply sources (AHSS).

снижение НIас на 2,04–7,78%. Структура приоритетных веществ, формирующих высокие уровни острого ингаляционного неканцерогенного риска для здоровья населения города, не изменится.

Реализация запланированных Комплексным планом мероприятий позволит перевести из зоны повышенного уровня острого неканцерогенного риска в минимальный (целевой) уровень риска в отношении органов дыхания более 50 тыс.

экспонированного населения Красноярска; в отношении системных эффектов – более 28 тыс. человек; в отношении ССС – более 3,9 тыс. человек; в отношении процессов развития организма – более 1,6 тыс. человек. В то же время в отдельных зонах максимальный уровень остаточного острого риска нарушений органов дыхания, зрения, ССС, процессов развития организма и системных эффектов по-прежнему будет характеризоваться как «высокий» (НIас > 6).

Таблица 3 / Table 3

**Уровни хронического неканцерогенного риска, формируемого выбросами объектов теплоэнергетики и АИТ, по отдельным органам и системам-мишеням**

Chronic non-carcinogenic levels of risk formed by emissions from heat-and-power engineering enterprises and autonomous heat supply sources (AHSS) by separate target organs and systems

Органы мишени Target organs	Уровень опасности (НIсг) Hazard index		Характеристика максимального значения риска Characteristic of maximum risk value
	минимум minimum	максимум maximum	
Центральная нервная система / Central nervous system	0.031	1.36	Допустимый / Permissible
Органы дыхания / Respiratory organs	0.544	<b>33.46</b>	Высокий / High
Процессы развития организма / Processes of the body development	0.032	1.67	Допустимый / Permissible
Кровотворная система / Hematopoietic system	0.123	<b>3.47</b>	Настораживающий / Alerting
Органы зрения / Visual organs	0.020	<b>19.04</b>	Высокий / High
Сердечно-сосудистая система / Cardiovascular system	0.028	1.35	Допустимый / Permissible
Иммунная система / Immune system	0.066	<b>19.12</b>	Высокий / High

Результаты оценки хронического неканцерогенного риска после реализации воздухоохраных мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от объектов теплоэнергетики и АИТ показали положительную тенденцию к снижению уровней хронического риска возникновения нарушений функций органов дыхания, центральной нервной, кроветворной, сердечно-сосудистой, иммунной систем и процессов развития организма (на 0,24–6,72 НIас). В среднем уровни опасности (НIсг) снизятся незначительно и при этом локально в зонах расположения объектов теплоэнергетики и АИТ, значения риска снизятся до 2,57 раза в отношении хронического неканцерогенного риска нарушений органов дыхания. К приоритетным веществам, формирующим неприемлемые уровни хронического ингаляционного неканцерогенного риска для здоровья населения города, будут относиться диоксид азота (НQсг до 2,2), оксид углерода (НQсг до 1,35), формальдегид (НQсг до 19), взвешенные вещества (НQсг до 31,9).

Реализация запланированных воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики и АИТ Красноярска позволит вывести из зоны повышенного хронического риска в отношении органов дыхания порядка 35,2 тыс. человек, в отношении кроветворной системы – 16,4 тыс. человек, в отношении иммунной системы – 8,4 тыс. человек.

Таким образом, прогнозируется, что реализация воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики и в отношении АИТ в целом приведёт к снижению уровней риска: острого – в отношении органов дыхания, ССС и системных эффектов; хронического – в отношении органов дыхания, центральной нервной, кроветворной, сердечно-сосудистой, иммунной систем и процессов развития организма, при этом канцерогенный риск практически не изменится.

В то же время реализуемые мероприятия по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от объектов теплоэнергетики и АИТ не обеспечат достаточного снижения уровней риска и значения риска останутся недопустимыми в отношении возникновения злокачественных новообразований и нарушений функций органов дыхания, иммунной системы и органов зрения.

К приоритетным веществам, выбрасываемым в результате деятельности объектов теплоэнергетики и АИТ и формирующим неприемлемые риски разного вида на территории Красноярска, относятся диоксид азота, оксид углерода, бензол, формальдегид, взвешенные вещества.

Данные вещества требуют особого внимания при рассмотрении планов воздухоохраных мероприятий пилотной территории и должны сохраняться в программах мониторинга.

## Обсуждение

Полученные авторами результаты подтверждают данные ранее выполненных релевантных научных исследований [2–4, 8–11, 15–21] и свидетельствуют о том, что объекты теплоэнергетики являются значимыми источниками загрязнения атмосферного воздуха городов. Дальнейшее использование угля как основного вида топлива и увеличение его доли в топливном балансе страны может негативно повлиять на уровень заболеваемости экспонируемого населения.

Оценка риска для здоровья является адекватным инструментом как для решения поставленных в исследовании задач, так и для практического применения при оценке эффективности реализуемых природоохраных мероприятий с использованием в качестве критериев безопасности гигиенических нормативов и референтных уровней. Обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия и экологической безопасности требует реализации комплексных мер [22] по управлению риском для здоровья, формируемым конкретными источниками выбросов. Первоочередного внимания требуют вещества, представляющие потенциальную угрозу здоровью экспонированного населения как при кратковременном воздействии, так и при хронической экспозиции. Существует необходимость

совершенствования качества инвентаризации выбросов, формирования программ мониторинга с учётом приоритетных веществ, определённых на основании оценки риска для здоровья, а также применения научно обоснованных методических инструментов для оценки ущерба здоровью и определения экономической эффективности воздухоохраных мероприятий.

Исследователями отмечены значимые различия в расчётных и инструментальных концентрациях веществ на постах мониторинга, составляющие для отдельных соединений десятки и сотни раз [23, 24]. Следовательно, использование расчётных данных в ряде случаев может привести к недооценке канцерогенного и неканцерогенного риска для здоровья. В рамках настоящего исследования для 32 веществ из 55 анализируемых использовали расчётные данные, что, вероятно, могло иметь следствием недооценку риска для здоровья экспонированного населения.

По некоторым литературным данным [25, 26], реализация комплекса воздухоохраных мероприятий, представленных в Комплексном плане по снижению выбросов химических веществ в атмосферный воздух от объектов теплоэнергетики и АИТ, прогнозно будет благоприятно влиять на качество воздуха в приземном слое атмосферы. Замещение малоэффективных угольных котельных и ликвидация жилья с печным отоплением также благоприятно скажется на качестве атмосферного воздуха и на здоровье людей [27].

В настоящее время на объектах теплоэнергетики осуществляется активная модернизация действующего оборудования и ввод в эксплуатацию новых экологически чистых установок и котлов. При этом реализация федеральных проектов и планов комплексных воздухоохраных мероприятий стимулирует тепловые электростанции внедрять наилучшие доступные технологии и автоматизированные системы непрерывного инструментального производственного контроля, что позволит практически решать вопросы ограничения загрязнения атмосферного воздуха в результате функционирования объектов теплоэнергетики [26–28].

К ограничениям данного исследования можно отнести неполные или неточные сведения об источниках загрязнения атмосферного воздуха и компонентах промышленных выбросов, ряд неопределённостей, связанных с установлением референтного уровня воздействия, критических органов, систем и вредных эффектов, а также с использованием для отдельных веществ расчётных данных по концентрациям.

## Заключение

1. Предложенный алгоритм оценки с использованием критериев риска для здоровья населения эффективности текущих и планируемых воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики и АИТ включает пять последовательных этапов, что позволяет оценить достаточность реализуемых мер, установить приоритетные факторы, пространственные характеристики зон повышенного риска, численность экспонированного населения, виды потенциального нарушения здоровья. Данный алгоритм является адекватным инструментом для практического использования специалистами Роспотребнадзора при решении соответствующих задач.

2. Деятельность объектов теплоэнергетики вносит существенный вклад в уровень загрязнения атмосферного воздуха и формирует постоянное поступление в окружающую среду потенциально вредных для здоровья человека веществ. На примере пилотной территории федерального проекта «Чистый воздух» в настоящий момент установлено значимое (до 100%) пространственно-дифференцированное влияние деятельности объектов теплоэнергетики и АИТ на параметры качества атмосферного воздуха и уровни формируемого ингаляционного риска для здоровья. Уровень индивидуального канцерогенного риска на территории жилой застройки города  $CR_T$  составляет  $2,48 \cdot 10^{-6}$ – $3,31 \cdot 10^{-4}$ . Уровень острого неканцерогенного риска в отношении нарушений

функций органов дыхания, зрения, процессов развития организма, сердечно-сосудистой системы, а также формирования системных эффектов локально составляет от 6,5 до 202,31 Нас. Уровень хронического неканцерогенного риска в отношении формирования болезней органов дыхания, зрения, иммунной системы в отдельных зонах составляет от 19 до 33,5 Нас. В зонах повышенного риска проживает более 800 тыс. человек.

В результате реализации воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики и АИТ канцерогенный риск практически не изменится. Острый и хронический неканцерогенные риски снизятся в отдельных зонах в пределах 2,57–13,5 раза, что позволит вывести из зоны высокого острого риска в минимальный (целевой) уровень риска более 50 тыс. человек, из зоны хронического риска – более 35 тыс. человек. Приоритетные факторы риска не изменятся.

К приоритетным факторам риска для здоровья населения, источниками которых являются выбросы объектов теплоэнергетики и АИТ (как в настоящий момент, так и в перспективе), относятся диоксид азота, оксид углерода, бензол, формальдегид, взвешенные вещества. Данные вещества требуют особого внимания при рассмотрении планов воздухоохраных мероприятий пилотной территории и должны сохраняться в программах мониторинга.

Реализуемые и планируемые мероприятия Комплексного плана по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (2018 г.) от объектов теплоэнергетики и АИТ не смогут обеспечить допустимого уровня риска на всей изученной территории. В отдельных жилых зонах города сохранятся на высоком или нарастающем уровнях индексы опасности системных эффектов, возникновения нарушений органов дыхания, сердечно-сосудистой, иммунной систем, органов зрения, процессов развития. Результаты данного исследования свидетельствуют о необходимости пересмотра и корректировки Комплексного плана воздухоохраных мероприятий Красноярск, в том числе в отношении объектов теплоэнергетики и АИТ.

В целом реализация адекватных комплексных воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики в отношении приоритетных факторов риска отражает позитивную динамику снижения загрязнения атмосферного воздуха и уровня риска для здоровья населения. Для оценки эффективности все воздухоохраные мероприятия как при планировании, так и на этапе реализации должны сопровождаться гигиенической оценкой изменений качества атмосферного воздуха по гигиеническим критериям – гигиеническим нормативам (ПДК) и критериям риска для здоровья населения.

## Литература

(п.п. 3, 14, 16, 19–22 см. References)

- Analytic Research Group (ARG). Рынок электроэнергетики России и основные игроки отрасли. Аналитический отчет; 2018. Доступно: <https://marketing.rbc.ru/research/38717/>
- Рынок Электротехники. Электроэнергетика Сибири: краткий обзор состояния и перспективы развития; 2018. Доступно: <https://marketelectro.ru/content/elektroenergetika-sibiri-kratkiy-obzor-sostoyaniya-i-perspektivy-razvitiya>
- Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. Оценка перспектив и целесообразности перехода субъектов РФ, использующих нефтепродукты с целью теплоснабжения, на местные и возобновляемые виды топлива; 2015. Доступно: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/6592.pdf>
- Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году». М.; 2021.
- Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2020 году». Красноярск; 2021.
- Росгидромет. Ежегодник состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2019 год. СПб.; 2021.
- Кесарецких К.С., Горлов П.В. Состав выбросов теплоэнергетики и их влияние на здоровье населения. В кн.: Логинов Ю.Ю., ред. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3 томах.* Красноярск; 2021: 733–5.
- Ревич Б.А. К оценке влияния деятельности ТЭК на качество окружающей среды и здоровье населения. *Проблемы прогнозирования.* 2010; (4): 87–99.
- Голиков Р.А., Кислицына В.В., Суржиков Д.В., Олешенко А.М., Мукашева М.А. Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха выбросами предприятия теплоэнергетики на здоровье населения Новокузнецка. *Медицина труда и промышленная экология.* 2019; 59(6): 348–52. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-6-348-352>
- Селюнина С.В., Петров Б.А., Цапок П.И. Заболеваемость населения, проживающего в зонах влияния атмосферных выбросов городских предприятий теплоэнергетики. *Вятский медицинский вестник.* 2005; (2): 64–7.
- Карпин В.А. Современные медико-экологические аспекты внутренних болезней на урбанизированном Севере. *Терапевтический архив.* 2003; 75(1): 30–4.
- Быкова А.А., Фандеев Н.П., Мишанов А.А. Оценка риска здоровью при энергетическом загрязнении окружающей среды. *Вестник между-*
- народной академии системных исследований. Информатика, экология, экономика.* 2008; 11(1): 95–7.
- Ефимова Н.В., Мыльникова И.В., Кузьмина М.В., Лисецкая Л.Г., Лозневая Е.Е. Оценка канцерогенного риска для населения экологически неблагоприятных территорий Иркутской области. *Медицина труда и промышленная экология.* 2019; 59(2): 117–21. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-2-117-121>
- Петров С.Б., Петров Б.А. Оценка риска здоровью населения при воздействии твердых частиц в составе атмосферных выбросов многотопливных теплоэлектростанций. *Экология человека.* 2019; (6): 4–10. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-6-4-10>
- Бачина А.В., Косыкина Е.В., Глебова Л.А., Чухров Ю.С., Попкова Л.В., Пеганова Ю.А. и др. Гигиеническое обоснование региональной модели мониторинга врожденной патологии в Кузбассе. *Медицина в Кузбассе.* 2017; 16(1): 30–9.
- Клейн С.В., Зайцева Н.В., Май И.В., Балашов С.Ю., Загороднов С.Ю., Горяев Д.В. и др. Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха для задач социально-гигиенического мониторинга: практический опыт реализации мероприятий федерального проекта «Чистый воздух». *Гигиена и санитария.* 2020; 99(11): 1196–202. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-11-1196-1202>
- Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Горяев Д.В. Методические подходы к выбору точек и программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха в рамках социально-гигиенического мониторинга для задач Федерального проекта «Чистый воздух». *Анализ риска здоровью.* 2019; (3): 4–17. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.01>
- Чехранова О.А. Переход на принципы НДТ. В кн.: *Труды Международной научной конференции молодых ученых и специалистов «Экология энергетики – 2017».* М.; 2017: 128–31.
- Справочник по наилучшим доступным техническим методам для повышения эффективности и минимизации негативного воздействия на окружающую среду в теплоэлектростанции. М.; 2008. Доступно: <http://ecoline.ru/bat-heat-power-engineering/>
- ВОЗ. ВОЗ устанавливает новые цели для улучшения качества воздуха внутри помещений; 2014. Доступно: <https://apps.who.int/mediacentre/news/releases/2014/indoor-air-pollution/ru/index.html>
- Росляков П.В. Современные воздухоохраные технологии на тепловых электростанциях (обзор). *Теплоэнергетика.* 2016; (7): 46–62. <https://doi.org/10.1134/S0040363616070079>

## References

- Analytic Research Group (ARG). Russian electric power market and federal trade. Analytical report; 2018. Available at: <https://marketing.rbc.ru/research/38717/> (in Russian)
- Electrical engineering market. Electric power industry of Siberia: a brief overview of the state and development prospects; 2018. Available at: <https://marketelectro.ru/content/elektroenergetika-sibiri-kratkiy-obzor-sostoyaniya-i-perspektivy-razvitiya> (in Russian)
- IEA – Crants – Data & Statistics. World gross electricity production, by source; 2019. Available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-gross-electricity-production-by-source-2019>
- Analytical Center under the Government of the Russian Federation. Assessment of the prospects and feasibility of the transition of the constituent entities of the Russian Federation, using oil products for the purpose of heat supply, to local and renewable fuels; 2015. Available at: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/6592.pdf> (in Russian)



5. State report «On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2020». Moscow; 2021. (in Russian)
6. State report «On the state and protection of the environment in the Krasnoyarsk Territory in 2020». Krasnoyarsk; 2021. (in Russian)
7. Roshydromet. *Yearbook of the State of Air Pollution in Cities in Russia for 2019 [Ezhegodnik sostoyaniye zagryazneniya atmosfery v gorodakh na territorii Rossii za 2019 god]*. St. Petersburg; 2021. (in Russian)
8. Kesaretskikh K.S., Gorlov P.V. Composition of thermal power emissions and their impact on public health. In: Loginov Yu.Yu., ed. *Actual Problems of Aviation and Cosmonautics. Collection of Materials of the VII International Scientific and Practical Conference dedicated to the Cosmonautics Day. In 3 Volumes [Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki. Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy Dnyu kosmonavtiki. V 3 tomakh]*. Krasnoyarsk; 2021: 733–5. (in Russian)
9. Revich B.A. To assess the impact of the fuel and energy complex on the quality of the environment and public health. *Problemy prognozirovaniya*. 2010; 21(4): 403–10.
10. Golikov R.A., Kisliitsyna V.V., Surzhikov D.V., Oleshchenko A.M., Mukasheva M.A. Assessment of the impact of air pollution by heat power plant emissions on the health of the population of Novokuznetsk. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2019; 59(6): 348–52. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-6-348-352> (in Russian)
11. Selyunina S.V., Petrov B.A., Tsapok P.I. Morbidity of the population living in the zones of influence of atmospheric emissions of urban thermal power plants. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik*. 2005; (2): 64–7. (in Russian)
12. Karpin V.A. Modern medical and environmental aspects of internal diseases in the urbanized north. *Terapevticheskiy arkhiv*. 2003; 75(1): 30–4. (in Russian)
13. Bykova A.A., Fandeev N.P., Mishanov A.A. Assessment of health risk in case of energy pollution of the environment. *Vestnik mezhdunarodnoy akademii sistemnykh issledovaniy. Informatika, ekologiya, ekonomika*. 2008; 11(1): 95–7. (in Russian)
14. Andrishunas A.M., Kleyn S.V. Fuel and energy enterprises as objects of risk-oriented sanitary-epidemiologic surveillance. *Health Risk Analysis*. 2021; (4): 65–73. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.4.07.eng>
15. Efimova N.V., Myl'nikova I.V., Kuz'mina M.V., Lisetskaya L.G., Loznevaya E.E. Carcinogenic risk assessment in population living in the ecologically problematic areas of Irkutsk region. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2019; 59(2): 117–21. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-2-117-121> (in Russian)
16. Kuleshova M.V., Pankov V.A. Assessing occupational risks for workers employed at heat-power engineering enterprises. *Health Risk Analysis*. 2020; (1): 68–75. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.1.07.eng>
17. Petrov S.B., Petrov B.A. Assessment of health risk of particulate matter components of atmospheric emissions of multifuel power plants. *Ekologiya cheloveka*. 2019; (6): 4–10. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-6-4-10> (in Russian)
18. Bachina A.V., Kos'kina E.V., Glebova L.A., Chukhrov Yu.S., Popkova L.V., Peganova Yu.A., et al. Hygienic support for the regional model of congenital anomalies monitoring in Kuzbass. *Meditsina v Kuzbasse*. 2017; 16(1): 30–9. (in Russian)
19. Mailloux N.A., Abel D.W., Holloway T., Patz J.A. Nationwide and regional PM<sub>2.5</sub>-related air quality health benefits from the removal of energy-related emissions in the United States. *Geohealth*. 2022; 6(5): e2022GH000603. <https://doi.org/10.1029/2022GH000603>
20. Cropper M.L., Guttikunda S., Jawahar P., Malik K., Partridge I. Costs and benefits of installing flue-gas desulfurization units at coal-fired power plants in India. In: Mock C.N., Nugent R., Kobusingye O., Smith K.R., eds. *Injury Prevention and Environmental Health*. 3<sup>rd</sup> ed. Washington: The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank; 2017. [https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0522-6\\_ch13](https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0522-6_ch13)
21. Li Y.R., Gibson J.M. Health and air quality benefits of policies to reduce coal-fired power plant emissions: a case study in North Carolina. *Environ. Sci. Technol*. 2014; 48(17): 10019–27. <https://doi.org/10.1021/es501358a>
22. Popova A.Yu., Zaitseva N.V., Onishchenko G.G., Kleyn S.V., Glukhikh M.V., Kamaltdinov M.R. Sanitary-epidemiologic determinants and potential for growth in life expectancy of the population in the Russian Federation taking into account regional differentiation. *Health Risk Analysis*. 2020; (1): 4–17. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.1.01.eng>
23. Kleyn S.V., Zaytseva N.V., May I.V., Balashov S.Yu., Zagorodnov S.Yu., Goryaev D.V., et al. Working out ambient air quality measuring programs for socio-hygienic monitoring: practical experience of federal project «Clean air» activity. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(11): 1196–202. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-11-1196-1202> (in Russian)
24. Zaytseva N.V., May I.V., Kleyn S.V., Goryaev D.V. Methodical approaches to selecting observation points and programs for observation over ambient air quality within social and hygienic monitoring and «Pure air» Federal project. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (3): 4–17. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.01> (in Russian)
25. Chekhranova O.A. Transition to BAT principles. In: *Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists «Ecology of Energy – 2017» [Trudy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov «Ekologiya energetiki – 2017»]*. Moscow; 2017: 128–31. (in Russian)
26. *Handbook of Best Available Techniques for Improving Efficiency and Minimizing Negative Environmental Impacts in the Thermal Power Industry [Spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnicheskim metodam dlya povysheniya effektivnosti i minimizatsii negativnogo vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredyu v teploelektroenergetike]*. Moscow; 2008. Available at: <https://ecoline.ru/bat-heat-power-engineering/> (in Russian)
27. WHO. WHO sets benchmarks to reduce health damage from indoor air pollution; 2014. Available at: <https://apps.who.int/mediacentre/news/releases/2014/indoor-air-pollution/en/index.html>
28. Roslyakov P.V. Modern air protection technologies at thermal power plants (review). *Teploenergetika*. 2016; 63(7): 495–510. (in Russian)