

Зайцева Н.В.<sup>1,2</sup>, Клейн С.В.<sup>1,2</sup>, Май И.В.<sup>1</sup>, Кирьянов Д.А.<sup>1</sup>, Горяев Д.В.<sup>3</sup>,  
Андрешунас А.М.<sup>1</sup>, Балашов С.Ю.<sup>1</sup>, Чигвинцев В.М.<sup>1</sup>, Хисматуллин Д.Р.<sup>1</sup>

## Апостериорная оценка аэрогенного неканцерогенного риска для здоровья населения крупного промышленного центра

<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>Российская академия наук, Отделение медицинских наук, 109240, Москва, Россия;

<sup>3</sup>Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю, 660049, Красноярск, Россия

**Введение.** В статье предложено альтернативное решение задачи количественного определения и характеристики ущерба здоровью при воздействии неканцерогенных факторов рисков.

**Материалы и методы.** Предложен и апробирован методический подход (пять этапов) к апостериорной количественной оценке неканцерогенного риска для здоровья населения в виде дополнительных ассоциированных с качеством атмосферного воздуха случаев болезней, базирующийся на унифицированных и утвержденных методах оценки экспозиции, риска для здоровья, математической параметризации причинно-следственных связей «среда обитания – здоровье населения», расчёте дополнительных случаев ассоциированной заболеваемости и сопряжённой оценке полученных результатов.

**Результаты.** По расчётным данным, верифицированным данными инструментальных исследований атмосферного воздуха, в зонах жилой застройки формируются превышения гигиенических нормативов по 27 веществам и повышенные значения коэффициентов опасности по 26 веществам (до 98,7 НQас; 62,7 НQсh). Аддитивное воздействие анализируемых веществ формировало повышенные индексы опасности, классифицируемые как «настораживающие» ( $3 < HI \leq 6$ ) и «высокие» ( $HI > 6$ ), для органов дыхания, сердечно-сосудистой, кроветворной систем, печени, почек, органов зрения, процессов развития, иммунной, репродуктивной, эндокринной и других систем. Установленные уровни аэрогенной экспозиции ежегодно формируют 80,9 тыс. дополнительных случаев болезней всего населения (71%; 4,15% от всей заболеваемости); приоритетными факторами являются 23 вещества (вклад 0,25–65%). Установлена закономерность по ряду нозологических форм и классов болезней: в зонах с более высоким уровнем аэрогенного риска формируется более высокий уровень дополнительной ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости населения. Так, в зонах аэрогенного риска органам дыхания  $NIch \leq 1$  дополнительная ассоциированная заболеваемость в данном классе не формируется, в зонах  $1 < NIch \leq 3$  (проживает 800 человек) – 1,57%;  $3 < NIch \leq 6$  (более 100 тыс. человек) – 3,25%;  $NIch > 6$  (более 1,09 млн человек) – 5% для всего населения.

**Ограничения исследования.** Предложенные подходы являются расчётными, и полученные результаты могут отличаться от результатов направленных углублённых исследований по формированию доказательной базы причинения вреда здоровью населения в условиях ненормативного качества среды обитания. Параметры математических моделей в системе «среда обитания – здоровье населения» получены на ограниченном диапазоне экспозиции загрязняющих веществ атмосферного воздуха и перечне исследуемых аэрогенных факторов риска для здоровья.

**Заключение.** Предложенные расчётные методические подходы к апостериорной оценке неканцерогенных рисков для здоровья позволяют получить количественные характеристики риска в виде дополнительных случаев ассоциированной с качеством объектов среды обитания заболеваемости населения, дополняют и уточняют результаты оценки опасности для здоровья, придают им весомость и гигиеническую значимость; могут использоваться при оптимизации социально-гигиенического мониторинга, оценке эффективности и результативности реализуемых мероприятий.

**Ключевые слова:** качество атмосферного воздуха; экспозиция; риск для здоровья; факторы риска; неканцерогенный риск; эпидемиологические исследования; ассоциированная заболеваемость; геоинформационная система; проектная деятельность

**Соблюдение этических стандартов.** Для проведения данного исследования не требовалось заключения комитета по биомедицинской этике (исследование было выполнено на общедоступных и деперсонифицированных данных официальной статистики).

**Для цитирования:** Зайцева Н.В., Клейн С.В., Май И.В., Кирьянов Д.А., Горяев Д.В., Андрешунас А.М., Балашов С.Ю., Чигвинцев В.М., Хисматуллин Д.Р. Апостериорная оценка аэрогенного неканцерогенного риска для здоровья населения крупного промышленного центра. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(11): 1241–1250. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-11-1241-1250> <https://elibrary.ru/ijfmqk>

**Для корреспонденции:** Клейн Светлана Владиславовна, доктор мед. наук, гл. науч. сотр. – зав. отд. системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга, ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь. E-mail: kleyn@fcrisk.ru

**Участие авторов:** Зайцева Н.В. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Клейн С.В. – концепция и дизайн исследования, редактирование, сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста; Май И.В. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Горяев Д.В. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Кирьянов Д.А. – сбор и обработка материала, статистическая обработка данных; Балашов С.Ю. – сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста; Андрешунас А.М. – сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста; Чигвинцев В.М. – сбор и обработка материала, статистическая обработка данных; Хисматуллин Д.Р. – написание текста. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

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

Поступила: 06.09.2023 / Принята к печати: 26.09.2023 / Опубликовано: 08.12.2023

Nina V. Zaitseva<sup>1,2</sup>, Svetlana V. Kleyn<sup>1,2</sup>, Irina V. May<sup>1</sup>, Dmitriy A. Kiryanov<sup>1</sup>, Dmitriy V. Goriaev<sup>3</sup>, Alena M. Andrishunas<sup>1</sup>, Stanislav Yu. Balashov<sup>1</sup>, Vladimir M. Chigvintsev<sup>1</sup>, Dmitriy R. Khismatullin<sup>1</sup>

## Posterior assessment of airborne non-carcinogenic health risk of the population of a large industrial center

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

<sup>2</sup>Russian Academy of Sciences, the Department for Medical Sciences, Moscow, 109240, Russian Federation;

<sup>3</sup>Krasnoyarsk Regional Office of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

**Introduction.** This article suggests an alternative solution to the task of quantifying and describing health harm under exposure to non-carcinogenic risk factors.

**Materials and methods.** We have developed and tested a methodical approach that includes five subsequent steps; it is eligible for posterior quantification of non-carcinogenic health risks represented by additional diseases cases associated with poor ambient air quality. The approach relies on unified and validated methods for assessing exposure and health risks, mathematical parameterization of cause-effect relations within the "environment – public health" system, and calculation of additional incidence as well as combined assessment of all the obtained results.

**Results.** According to calculated data, which were also verified by instrumental observations of ambient air quality, the existing hygienic standards are violated as per 27 chemicals in residential areas. Elevated hazard quotients are identified for 26 chemicals (up to 98.7HQac; up to 62.7HQch). Additive effects of the analyzed chemicals created elevated hazard indices (HI) in residential areas that could be ranked as "alerting" ( $3 < HI \leq 6$ ) and "high" ( $HI > 6$ ) for respiratory organs, the cardiovascular and hematopoietic systems, liver, kidneys, eyes, development, the immune, reproductive, endocrine, and other systems. The identified levels of airborne exposure annually cause approximately 80.9 thousand additional diseases among the total population (71.0‰; 4.15% of the total incidence); 23 chemicals are considered priority risk factors (contributions vary between 0.25 and 65.0%). We have identified certain regularity for some disease classes: higher levels of additional incidence associated with ambient air quality are established in zones with higher airborne health risks. Thus, in zones where airborne risks for respiratory organs are  $HIch \leq 1$ , we identified no additional incidence as per such diseases; in zones with  $1 < HIch \leq 3$  (with population being 800 people), additional incidence reaches 1.57‰ for the total population;  $3 < HIch \leq 6$  (more than 100 thousand people), 3.25‰;  $HIch > 6$  (more than 1.09 million people), 5.0‰.

**Limitations.** The suggested approaches have been obtained by calculation. Their results might differ from those obtained by targeted in-depth investigations aimed at creating an evidence base of health harm under adverse environmental conditions that do not conform to hygienic standards. The parameters of mathematical models within "the environment – public health" system have been obtained for a limited range of exposure to pollutants in ambient air and a limited list of airborne health risk factors.

**Conclusion.** The suggested methodical approaches to posterior assessment of non-carcinogenic health risks allows quantifying these health risks as additional diseases associated with poor quality of the environment; they enlarge the results of health risk assessment and make them more precise, validate and support them with hygienic significance. They can be utilized within optimization of social and hygienic monitoring and assessment of effectiveness of implemented prevention activities.

**Keywords:** ambient air quality; exposure; health risks; risk factors; non-carcinogenic risks; epidemiological studies; associated incidence; geoinformation system; project activities

**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 and deidentified official statistic data).

**For citation:** Zaitseva N.V., Kleyn S.V., May I.V., Kiryanov D.A., Goriaev D.V., Andrishunas A.M., Balashov S. Yu., Chigvintsev V.M., Khismatullin D.R. Posterior assessment of airborne non-carcinogenic health risk of the population of a large industrial center. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(11): 1241–1250. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-11-1241-1250> <https://elibrary.ru/ijfmqk> (in Russian)

**For correspondence:** Svetlana V. Kleyn, MD, PhD, DSci., Associate Professor, Head of the Department for Systemic Procedures of Sanitary-Hygienic Analysis and Monitoring of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation. E-mail: [kleyn@fcrisk.ru](mailto:kleyn@fcrisk.ru)

### Information about authors:

Zaitseva N.V., <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>  
Kleyn S.V., <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>  
May I.V., <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>  
Kiryanov D.A., <https://orcid.org/0000-0002-5406-4961>  
Goryaev D.V., <https://orcid.org/0000-0001-6450-4599>  
Andrishunas A.M., <https://orcid.org/0000-0002-0072-5787>  
Balashov S.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-6923-0539>  
Chigvintsev V.M., <https://orcid.org/0000-0002-0345-3895>  
Khismatullin D.R., <https://orcid.org/0000-0002-7615-6816>

**Contributions:** Zaitseva N.V. – study concept and design, editing; Kleyn S.V. – study concept and design, editing, data collection and analysis, writing the text; May I.V. – study concept and design, editing; Kiryanov D.A. – data collection and analysis; Goriaev D.V. – study concept and design, editing; Andrishunas A.M. – data collection and analysis, writing the text; Balashov S.Yu. – data collection and analysis, writing the text; Chigvintsev V.M. – data collection and analysis; Khismatullin D.R. – writing the 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, 2023 / Accepted: September 26, 2023 / Published: December 8, 2023

## Введение

Сохранение здоровья населения Российской Федерации, развитие и совершенствование системы здоровьесбережения являются приоритетными задачами государства и рассматриваются как определяющий фактор социально-экономического развития страны и важнейший индивидуальный и общественный ресурс<sup>1,2</sup> [1].

Многочисленными научными исследованиями показано, что здоровье человека определяется сложным взаимодействием целого ряда факторов: наследственность, образ и качество жизни, а также состояние среды обитания<sup>3</sup> [2, 3]. В результате условия окружающей среды, являясь факторами риска и важной детерминантой здоровья, существенно повышают вероятность возникновения болезней у населения. По данным ВОЗ, вклад факторов окружающей среды в состояние здоровья может определять от 13 до 20% бремени болезней [4, 5].

По данным отечественных эпидемиологических исследований, в среднем за последние пять лет в Российской Федерации около 20–50 тыс. дополнительных случаев смерти и 3–10 млн дополнительных случаев болезней органов дыхания, эндокринной, нервной, костно-мышечной систем, системы кровообращения, крови, новообразований и других нарушений здоровья обусловлены негативным влиянием факторов среды обитания<sup>3</sup>. В настоящее время более 60% населения страны проживает в условиях, для которых органами Роспотребнадзора установлено неудовлетворительное состояние среды обитания<sup>4</sup>.

Одной из основных проблем санитарного состояния среды обитания является загрязнение атмосферного воздуха. Человек может в определённой степени регулировать воздействие отдельных факторов риска, связанных с питьевой водой и продуктами питания (потребление очищенной питьевой воды физиологического состава, экологически чистых продуктов питания), в то время как атмосферный воздух является неуправляемым с позиции обычного жителя объектом среды обитания.

По данным ВОЗ, ежегодно в мире регистрируется около 4,2 млн случаев преждевременной смерти по причине развития сердечно-сосудистых, респираторных и онкологических болезней, вызванных воздействием мельчайших твёрдых частиц диаметром 2,5 мкм (PM<sub>2,5</sub>). При этом около 58% случаев преждевременной смерти, связанной с загрязнением атмосферного воздуха, происходит по причине развития ишемической болезни сердца и инсульта, 18% – хронической обструктивной болезни лёгких или острых инфекций нижних дыхательных путей, 6% – рака лёгких [6].

По данным государственных докладов Роспотребнадзора<sup>3</sup> и Росприроднадзора<sup>5</sup>, ежегодно в атмосферный воздух нашей страны выбрасывается более 22 млн тонн загрязняющих веществ. Приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха в 2021 г. включал

42 города с общим числом жителей 10,4 млн человек<sup>5</sup>. В данный список включены города с очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха, для которых комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) равен или выше 14.

В связи с этим минимизация аэрогенных факторов риска и обусловленного загрязнением атмосферного воздуха нарушений здоровья населения в крупных промышленных центрах нашей страны на сегодняшний день является приоритетной задачей как на федеральном, так и на региональном уровнях. На решение данной задачи направлен федеральный проект «Чистый воздух» национального проекта «Экология», целью которого названо снижение совокупного объёма выбросов загрязняющих веществ в крупных промышленных центрах не менее чем на 20% (к 2024 г. относительно 2017 г.) и сокращение в 2 раза выбросов опасных загрязняющих веществ (к 2030 г. относительно 2020 г.). Следствием реализации данного проекта станет улучшение качества атмосферного воздуха на экологически неблагоприятных территориях и минимизация риска для здоровья и вреда, причиняемого экспонированному населению.

В последние годы для оценки и характеристики потенциального влияния факторов среды обитания на здоровье населения и оценки санитарно-эпидемиологического состояния территории широко используется такой инструмент, как оценка риска для здоровья [7]. Концепция риска позволяет учитывать возможность оценки определённого направленного канцерогенного и неканцерогенного влияния на отдельные органы и системы-мишени человека с учётом многофакторного и многосредового воздействия факторов, времени экспозиции (острое, хроническое воздействие) и часто используется для оценки эффективности планируемых и реализуемых мероприятий, направленных на улучшение качества объектов среды обитания. В настоящее время используемая в Российской Федерации методология оценки риска от воздействия химических веществ позволяет рассчитать количественные характеристики потенциального ущерба здоровью населения только для канцерогенных эффектов. Для неканцерогенных эффектов в соответствии с используемой методологией рассчитываются параметры риска, выраженные коэффициентами и индексами опасности, не позволяющие оценить потенциальный количественный ущерб здоровью населения в виде дополнительных случаев нарушений здоровья и, следовательно, эффективность реализуемых мер, направленных на снижение негативного воздействия факторов неканцерогенной опасности. В связи с этим актуален поиск альтернативных путей решения задач пространственного количественного определения и характеристики ущерба здоровью при воздействии неканцерогенных факторов риска, а также сопряжённого анализа уровней формируемого аэрогенного риска для здоровья экспонированного населения (априорного риска) и причинённого ущерба в виде дополнительных, ассоциированных с качеством атмосферного воздуха случаев болезни (апостериорного риска). Это стало основанием для проведения настоящего исследования.

## Материалы и методы

Апостериорная оценка аэрогенного риска осуществлялась в соответствии со следующим алгоритмом: 1) расчёт пространственно-дифференцированных концентраций загрязняющих веществ от всех стационарных и передвижных источников загрязнения атмосферы в каждой точке расчётной сетки жилой застройки с последующей гигиенической оценкой установленных уровней экспозиции; 2) расчёт и оценка параметров аэрогенного неканцерогенного риска для здоровья в данных точках; 3) геопривязка к электронной карте случаев заболеваемости по обращаемости населения основных возрастных групп и расчёт относительных показателей заболеваемости в анализируемых расчётных точках жилой застройки за аналогичный оценке экспозиции и риску для здоровья временной период; 4) построение моделей причинно-следственных связей между показателями

<sup>1</sup> Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993 г.) (с учётом поправок, внесённых Законом РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 г. № 6-ФКЗ, от 30.12.2008 г. № 7-ФКЗ, от 05.02.2014 г. № 2-ФКЗ, от 01.07.2020 г. № 11-ФКЗ). Собрание законодательства РФ, 01.07.2020 г., № 31. Официальный интернет-портал правовой информации. 4398 с. URL: <https://www.pravo.gov.ru>

<sup>2</sup> Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_22481/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/) (дата обращения: 15.07.2023 г.).

<sup>3</sup> Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2021 году». Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, М., 2022. 340 с.

<sup>4</sup> Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году». Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, М., 2023. 368 с.

<sup>5</sup> Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году». Минприроды России; МГУ им. М.В. Ломоносова, М., 2022. 684 с.

качества атмосферного воздуха (дозовой нагрузкой) и заболеваемостью населения в разрезе основных классов и групп болезней, а также возрастных групп с последующим расчётом ассоциированных с качеством атмосферного воздуха случаев болезней в анализируемых расчётных точках жилой застройки; 5) сопряжённая оценка пространственно-дифференцированных уровней формируемого аэрогенного риска для здоровья (априорного риска) и уровней ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости населения (апостериорного риска).

Объектом исследования являлась территория города Красноярска — участника федерального проекта «Чистый воздух» (численность населения более 1 млн человек, общая площадь 350 км<sup>2</sup>). Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха города являются предприятия цветной металлургии, машиностроения, химической промышленности, теплоэнергетики и автомобильный транспорт. Территория характеризуется неблагоприятными климатическими условиями (температурный фактор, пониженная интенсивность движения воздуха и влажность, способствующие низкому рассеиванию загрязняющих веществ и их накоплению в атмосферном воздухе), формирующими высокие уровни загрязнения всех объектов среды обитания<sup>4,6</sup>. Так, уровень загрязнения атмосферного воздуха на протяжении последнего десятилетия на исследуемой территории характеризуется как «очень высокий» и «высокий» (ИЗА<sub>5</sub> 7–14)<sup>7</sup>. По данным международного рейтинга городов по качеству воздуха и загрязнению атмосферы IQAir, исследуемая территория заняла первое место: индекс качества воздуха составил в 2021 г. 420 ед., в феврале 2023 г. — 214 ед., в отдельных районах города — более 500 ед. Периодически в городе объявляется режим «чёрного неба» (в 2022 г. до 4 раз от 2 до 9 дней).

Оценка экспозиции в зонах жилой застройки города осуществлялась по данным расчётов рассеивания примесей в атмосферном воздухе (база данных параметров стационарных и передвижных источников выбросов 2017 г.), верифицированных данными инструментальных исследований на постах ФГБУ «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (8 постов, 18 химических веществ), ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» в городе Красноярске (22 маршрутных поста, 25 химических веществ), территориальной сети наблюдения КГБУ «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края» (5 постов, 23 химических вещества) за 2017–2021 гг.

Расчёты рассеивания 268 загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах от 8227 источников (в том числе от 6605 источников выбросов промышленных предприятий, 1306 автономных источников теплоснабжения и 316 участков улично-дорожной сети города), осуществлялись по регулярной сетке в границах жилой застройки исследуемой территории с шагом 200 × 200 м (всего 1952 расчётных прямоугольника, далее — расчётных точек) в соответствии с МРП–2017<sup>8</sup> с использованием УПРЗА «Эколог-Город» 4.50. Пространственную оценку экспозиции осуществляли с использованием геоинформационной системы ArcGIS 9.3.1.

Сопоставление результатов расчётов рассеивания с результатами натуральных измерений содержания химических веществ в точках постов мониторинга качества атмосферного воздуха выявило существенные различия между расчётными и натурными концентрациями, что обусловило необходимость проведения процедуры верификации. Мас-

сив расчётных данных по концентрациям химических веществ в зонах жилой застройки верифицировали данными инструментальных исследований: для острой экспозиции использовался 95-й перцентиль из разовых концентраций за 2017–2021 гг. на постах наблюдения, для среднегодовой экспозиции — среднегодовая концентрация на постах за этот же период наблюдения. Верификация расчётных данных данными натурных измерений осуществлялась в соответствии с МР 2.1.6.0157–19<sup>9</sup>. Оценка уровней формируемой экспозиции исследуемых 268 веществ (из которых по 246 веществам использовались расчётные концентрации, а по 22 веществам — расчётные концентрации, верифицированные данными инструментальных измерений) осуществлялась по соответствию действующим на период исследования СанПиН 2.1.6.1032–01<sup>10</sup> и СанПиН 2.1.3684–21<sup>11</sup>.

Расчёт параметров острого и хронического неканцерогенного риска (выраженного коэффициентами и индексами опасности) для критических органов и систем осуществляли в соответствии с Р 2.1.10.1920–04<sup>12</sup>. Классификацию уровней риска при сопоставительной оценке с уровнями формируемой ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости осуществляли в соответствии с МР 2.1.10.01.56–19<sup>13</sup>.

Для расчёта ассоциированных с качеством атмосферного воздуха дополнительных случаев заболеваемости использовались только данные о хронической экспозиции. Для пространственной оценки дополнительных ассоциированных с качеством атмосферного воздуха случаев заболеваемости населения на исследуемой территории осуществляли геопривязку данных Территориального фонда обязательного медицинского страхования (ТФОМС) по Красноярскому краю за 2017–2021 гг. (заболеваемость по обращаемости за медицинской помощью) к точкам жилой застройки, расположенным в расчётных квадратах, для которых на предыдущем этапе рассчитаны уровни экспозиции. В результате сформированы ГИС-слои с численностью застрахованного населения по уникальным адресам в расчётных точках жилой застройки исследуемой территории в разрезе основных возрастных групп и количеством зарегистрированных случаев болезней по отдельным нозологическим формам и классам болезней (кодированных в соответствии с МКБ–10 до трёхзначных рубрик) в тех же временных разрезах за 2017–2021 гг.

<sup>9</sup> МР 2.1.6.0157–19 «Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха и количественная оценка экспозиции населения для задач социально-гигиенического мониторинга», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 02.12.2019 г. [Электронный ресурс]. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. Кодекс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565246542> (дата обращения: 12.06.2023 г.).

<sup>10</sup> СанПиН 2.1.6.1032–01 Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населённых мест, утв. Главным санитарным врачом Российской Федерации 13.07.2000 г. [Электронный ресурс]. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. Кодекс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006803> (дата обращения: 13.06.2023 г.).

<sup>11</sup> СанПиН 2.1.3684–21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» [Электронный ресурс]. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. Кодекс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177> (дата обращения: 13.06.2023 г.).

<sup>12</sup> Р 2.1.10.1920–04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. М., 2004 [Электронный ресурс]. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. Кодекс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 15.07.2023 г.).

<sup>13</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 (утв. Роспотребнадзором 02.12.2019 г.) [Электронный ресурс]. КонсультантПлюс. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_415503/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_415503/) (дата обращения: 06.04.2023 г.).

По результатам геопривязки случаев обращения населения за медицинской помощью к адресному реестру электронной топографической карты определили, что из 1952 точек расчётной сетки, расположенных в жилой застройке, население проживает в 1637 точках (квадратах расчётной сетки). В связи с этим дальнейший анализ ассоциированной заболеваемости проводили только для этих расчётных точек.

Расчёт ассоциированных с качеством атмосферного воздуха случаев заболеваемости по классам и нозологическим группам болезней в соответствии с МКБ-10 для каждой возрастной группы осуществляли в соответствии с МР 5.1.0095–14<sup>14</sup> с использованием множественного регрессионного анализа и применением пакета Statistica 10 (1):

$$Z = a_0 + \sum_i a_i \cdot q_i, \quad (1)$$

где  $Z$  – показатель заболеваемости населения, случаев на 100 тыс. человек;  $q_i$  – показатель загрязнения атмосферного воздуха по  $i$ -му химическому веществу, мг/м<sup>3</sup>;  $a_0$ ,  $a_i$  – параметры множественной регрессионной модели.

В результате сформирован пакет моделей с параметрами причинно-следственных связей между показателями качества атмосферного воздуха и заболеваемостью населения в разрезе основных классов и групп болезней, а также возрастных групп. Полученные на данном этапе модели проходили статистическую экспертизу и сопоставление с матрицей биологического правдоподобия в соответствии с Р 2.1.10.1920–04. Расчёт проводился в соответствии с гипотезой о возникновении случаев болезней, ассоциированных с загрязнением атмосферного воздуха, в случае превышения содержания химических веществ референтных уровней, характеризующих порог влияния (2):

$$\Delta Z = Z(q_i) - Z(q_i^*), \quad (2)$$

где  $\Delta Z$  – показатель заболеваемости населения, ассоциированной с показателями загрязнения атмосферного воздуха, случаев на 100 тыс. человек;  $q_i$  – показатель загрязнения атмосферного воздуха по  $i$ -му химическому веществу, мг/м<sup>3</sup>;  $q_i^*$  – референтное значение показателя загрязнения атмосферного воздуха по  $i$ -му химическому веществу, мг/м<sup>3</sup>.

В качестве недействующего уровня загрязнения атмосферного воздуха ( $q^*$ ) в отношении формирования дополнительной заболеваемости принимались концентрации химических веществ, соответствующие референтным уровням (Rfc) или (при отсутствии данного критерия) гигиеническим критериям (ПДКсс, ОБУВ). В случае отсутствия критериев безопасности по химическому веществу расчёты не проводились.

Сопряжённая оценка расчётных уровней формируемого аэрогенного риска для здоровья населения в точках (ячейках) расчётной сетки сопоставлялась с использованием геоинформационной системы с уровнем формируемой ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости населения в соответствующих критических органах и системам классах и нозологических группах болезней.

## Результаты

Результаты оценки экспозиции в зонах жилой застройки исследуемой территории показали, что по расчётным данным, верифицированным данными инструментальных измерений, в атмосферном воздухе формируются превыше-

ния гигиенических нормативов по 27 веществам. По ряду веществ превышения установлены на уровне более 10 ПДК<sub>мр</sub> или ПДК<sub>сс</sub>, в том числе по гидроксibenзолу, гидрохлориду, этилбензолу, взвешенным веществам, формальдегиду, бенз(а)пирену, бензолу и ряду других.

По результатам оценки неканцерогенного риска установлено, что повышенные значения коэффициентов опасности (НҚ более 1) в зонах жилой застройки формируются в отношении 26 веществ: взвешенных веществ (НҚас варьирует от 0,2 до 98,7; НҚch – от 0,08 до 16,5), проп-2-ен-1-аля (НҚас от 0,2 до 96,2), бензола (НҚас от 0,02 до 67,2; НҚch от 0,02 до 19,1), формальдегида (НҚас от 0,1 до 51,3; НҚch от 0,2 до > 100), бенз(а)пирена (НҚch от 0,06 до 39,6), дигидросульфида (НҚch от 0,01 до 24,8), гидрохлорида (НҚас от 0,1 до 15,9; НҚch от 0,07 до 3,6), углерода (НҚch от 0,02 до 11,8), аммиака (НҚас от 0,003 до 3,8; НҚch от 0,01 до 1,3), серы диоксида (НҚch от 0,01 до 3,1), натрия едкого (НҚас от 0,01 до 2,8), бута-1,3-диена (НҚас от 0,009 до 2,8), этилбензола (НҚас от 0,006 до 2,7; НҚch от 0,0002 до 18,3), гидроксibenзола (НҚch от 0,04 до 2,3), меди оксида (НҚch от 0,004 до 2,1), бута-1,3-диен (НҚch от 0,01 до 1,9), фторидов неорганических плохо растворимых (НҚch от 0,02 до 1,7), азота диоксида (НҚас от 0,1 до 1,6; НҚch от 0,2 до 62,7), углерода оксида (НҚас от 0,03 до 1,5; НҚch от 0,05 до 17,4), диметилбензола (НҚас от 0,0002 до 1,5; НҚch от 0,008 до 3,6), метилбензола (НҚас от 0,0004 до 1,5), азота (II) оксида (НҚас от 0,02 до 1,4; НҚch от 0,02 до 32,3), озона (НҚас от 0,04 до > 100), керосина (НҚch от 0,1 до > 100), бензина (НҚch от 0,05 до > 100), мазутной золы (НҚch от 0,02 до 1,4). По остальным веществам превышений коэффициентов опасности на территории жилой застройки по верифицированным данным установлено не было.

Аддитивное воздействие анализируемых веществ сформировало повышенные индексы опасности (НІ более 1) во всех зонах жилой застройки для органов дыхания (1,44 – > 100 НІас; 2,2 – > 100 НІch), в отдельных зонах – для печени (до > 100 НІch), почек (до > 100 НІch), кроветворной системы (до > 100 НІch), органов зрения (до > 100 НІас; > 100 НІch), процессов развития (до 70,4 НІас; 58,3 НІch), иммунной (до 67,2 НІас; > 100 НІch), репродуктивной (1,44 – > 100 НІас; 2,2 – > 100 НІch), нейроэндокринной (до 18,3 НІch), центральной нервной (до 1,94 НІас; > 100 НІch), сердечно-сосудистой (до 1,51 НІас; 19,7 НІch), костной систем (до 2,42 НІch), системных эффектов (до 98,8 НІас; 11,8 НІch) и пр. Распределение численности экспонированного населения с учётом уровней формируемого неканцерогенного риска в соответствии с классификацией уровней риска<sup>13</sup> представлено в табл. 2.

Параметризация причинно-следственных связей между содержанием в атмосферном воздухе 268 веществ в 1637 расчётных точках жилой застройки города и показателями заболеваемости населения в этих зонах по 34 классам и нозологическим группам болезней пяти основных возрастных групп (всё население, дети, подростки, взрослые трудоспособного возраста, взрослые старше трудоспособного возраста) с последующей статистической экспертизой и экспертизой биологического правдоподобия позволила получить 131 множественную математическую модель. Выкопировка параметров отдельных моделей влияния загрязняющих веществ на заболеваемость детского населения представлена в табл. 1.

Расчёт показателей нарушений здоровья населения в виде дополнительных ассоциированных с качеством атмосферного воздуха случаев болезней позволил установить, что определённые (верифицированные и расчётные) уровни аэрогенной экспозиции формируют порядка 80,9 тыс. дополнительных случаев болезней всего населения в год (71 сл. на 1000 человек), что составляет 4,15% от всей зарегистрированной по данным ФОМС заболеваемости населения. Наибольшие уровни ассоциированной заболеваемости всего населения на исследуемой территории, обусловленные комплексным воздействием факторов атмосферного

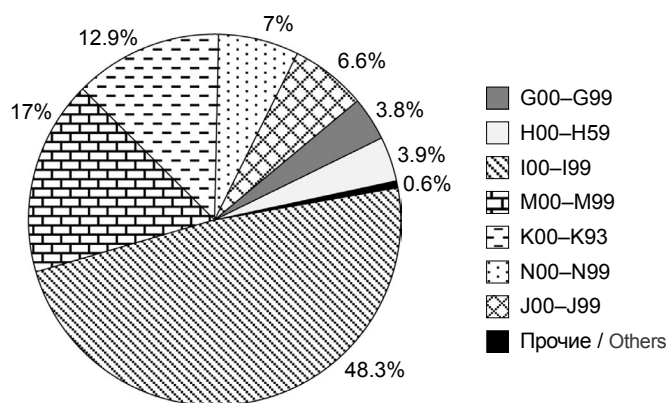
<sup>14</sup> МР 5.1.0095–14. Расчёт фактических и предотвращённых в результате контрольно-надзорной деятельности экономических потерь от смертности, заболеваемости и инвалидизации населения, ассоциированных с негативным воздействием факторов среды обитания: методические рекомендации. Утв. руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом РФ А.Ю. Поповой 23 октября 2014 г. [Электронный ресурс]. КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200129398> (дата обращения: 06.04.2023 г.).

Таблица 1 / Table 1

**Выкопировка параметров моделей влияния загрязняющих веществ атмосферного воздуха (концентрации веществ, мг/м<sup>3</sup>) на заболеваемость детского населения (на 100 тыс. чел.) по некоторым классам болезней ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,02-0,27$ )**

**Parameters of models describing effects of airborne pollutants (chemical levels, mg/m<sup>3</sup>) on incidence among children (per 100 thousand people) as per some disease classes ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,02-0,27$ )**

Классы болезней по МКБ-10 Classes of diseases according to ICD 10	Переменная Variable	Значение параметра (а) The parameter value
D50–D90 Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм Diseases of the blood and blood-forming organs and certain disorders involving the immune mechanism	Свободный член / Free term	1,75E + 02
	Бенз(а)пирен / Benz(a)pyrene	2,25E + 06
	Трикрезол / Tricresol	5,09E + 10
	Формальдегид / Formaldehyde	5,72E + 02
D80–D89 Отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм Certain disorders involving the immune mechanism	Свободный член / Free term	–6,08E + 01
	Дигидросульфид / Dihydrosulfide	6,35E + 03
	Этен / Ethane	3,90E + 06
	Пропан-2-он / Propane-2-on	4,29E + 04
E00–E90 Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ Endocrine, nutritional and metabolic diseases	Триэтиламин / Triethylamine	1,50E + 09
	Свободный член / Free term	2,62E + 03
	Ртуть / Mercury	3,14E + 14
	Свинец и его неорганические соединения (в пересчёте на свинец) Lead and its inorganic compounds (recalculated as per lead)	1,64E + 09
G00–G99 Болезни нервной системы Diseases of the nervous system	Гидроцианид / Hydrocyanide	1,01E + 08
	Свободный член / Free term	4,27E + 03
	Ртуть / Mercury	2,22E + 14
	Пентан / Pentane	5,51E + 04
	1,2-диметилбензол / 1,2-dimethylbenzene	1,21E + 05
	Тетрахлорэтилен / Tetrachloroethylene	4,51E + 07
	Тетрахлорметан / Tetrachloromethane	2,60E + 09
	Тетрафлорметан / Tetrafluoromethane	1,26E + 08
	Метанол / Methanol	1,53E + 08
	Метилметакрилат / Methyl methacrylate	2,50E + 10
	Пропан-2-он / Propane-2-on	8,48E + 06
	Проп-2-еннитрил / Prop-2-enitrile	3,63E + 06
	Уайт-спирит / White spirit	1,79E + 06
I00–I99 Болезни системы кровообращения Diseases of the circulatory system	Свободный член / Free term	2,75E + 03
	Гидроцианид / Hydrocyanide	1,04E + 09
	Гидроксibenзол / hydroxybenzene	5,87E + 05
J00–J99 Болезни органов дыхания Diseases of the respiratory system	Свободный член / Free term	6,66E + 04
	Азотная кислота / Nitric acid	7,45E + 09
	Сера диоксид / Sulfur dioxide	1,26E + 05
	Триэтиламин / Triethylamine	3,59E + 11
	Угольная зола т/электростанций / Coal ash from thermal power stations	2,59E + 10
	Пыль асбестосодержащая / Asbest-containing dust	1,55E + 08
K00–K93 Болезни органов пищеварения Diseases of the digestive system	Свободный член / Free term	2,71E + 04
	Этилбензол / Ethylbenzene	3,33E + 02
	Трихлорэтилен / Trichloroethylene	1,93E + 09
	Тетрахлорметан / Trichloromethane	3,87E + 09
	Бензилкарбинол / Benzylcarbinol	1,32E + 09
	Гидроксibenзол / Hydroxybenzene	8,85E + 05
	Пропан-2-он / Propane-2-on	2,55E + 07
	Бензин (нефтяной, малосернистый) (в пересчёте на углерод) Benzine (oil, low-sulfur) (recalculated as per carbon)	1,28E + 02
M00–M99 Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани Diseases of the musculoskeletal system and connective tissue	Свободный член / Free term	6,97E + 03
	Фториды хорошо растворимые Soluble fluorides	1,28E + 10
N00–N99 Болезни мочеполовой системы Diseases of the genitourinary system	Свободный член / Free term	2,57E + 03
	Кадмий сульфат (в пересчёте на кадмий) Cadmium sulfate (recalculated as per cadmium)	2,98E + 13
	1,2,4-триметилбензол / 1,2,4-trimethylbenzene	1,38E + 08
	Тетрахлорэтилен / Tetrachloroethylene	6,86E + 06
	Тетрахлорметан / Tetrachloromethane	6,43E + 08
	1,1,1,2-Тетрафторэтан / 1,1,1,2-Tetrafluoroethane	4,95E + 07
	Гидроксibenзол / Hydroxybenzene	3,06E + 05
	Этилацетат / Ethenyl acetate	2,25E + 08
	Бензин (нефтяной, малосернистый) (в пересчёте на углерод) Benzine (oil, low-sulfur) (recalculated as per carbon)	3,78E + 01
	Масло минеральное нефтяное / Mineral oil	5,22E + 07
Q00–Q99 Врождённые аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения Congenital malformations, deformations and chromosomal abnormalities	Свободный член / Free term	2,50E + 03
	Углерод оксид / Carbon oxide	5,04E + 00
	Метанол / Methanol	1,15E + 08
	2-Этоксиэтанол 2-etoxyethanol	7,96E + 05



**Рис. 1.** Структура дополнительной ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости всего населения исследуемой территории. Классы болезней представлены согласно Международной классификации болезней 10-го пересмотра (МКБ-10).

**Fig. 1.** The structure of additional incidence associated with ambient air quality among the total population on the examined territory. Classes of diseases according to the 10<sup>th</sup> revision of the International Classification of Diseases (ICD-10).

воздуха, формируются в классах «Болезни системы кровообращения» (52,8%), «Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани» (18,6%), «Болезни органов пищеварения» (14,1%), «Болезни мочеполовой системы» (7,7%), «Болезни органов дыхания» (7,7%) (рис. 1).

Карта-схема пространственной модели распределения показателей всей дополнительной ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости всего населения исследуемой территории представлена на рис. 2 (см. на вклейке).

Для детского и подросткового населения характерна несколько иная структура ассоциированной заболеваемости. Лидирующую позицию у детского населения занимают болезни органов пищеварения (36,7%), далее идут болезни органов дыхания (30,9%), болезни системы кровообращения (18,8%). У подростков приоритетные места по количеству ассоциированных с качеством атмосферного воздуха нарушений здоровья занимают болезни органов дыхания (49,9%), болезни органов пищеварения (15%), болезни системы кровообращения (10,5%).

В целом для исследуемой территории приоритетными факторами, определяющими формирование ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости, являются 23 вещества, в том числе фенол, диалюминий триоксид, хром шестивалентный, серы диоксид, дигидро-

Таблица 2 / Table 2

**Выкопировка уровней формируемой дополнительной ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости всего населения по отдельным классам болезней в разрезе уровней формируемого хронического неканцерогенного риска для здоровья населения в отношении соответствующих органов-мишеней и систем-мишеней**

An extract showing levels of additional incidence associated with ambient air quality among the total population as per certain disease classes and identified chronic non-carcinogenic health risks for relevant organs and systems

Органы-мишени и системы-мишени Target organs and target systems	Индекс опасности НICh Chronic HI	Численность всего населения в условиях данного уровня и вида риска The total population number exposed to this level and type of a health risk	Ассоциированная заболеваемость всего населения в зонах данного уровня и вида риска Associated prevalence among the total population in zones with this level and type of a health risk		
			Код по МКБ-10 ICD-10 code	случаев на 1000 человек Cases/1000 people	
Органы дыхания Respiratory organs	≤ 1	0	J00–J99	Болезни органов дыхания Diseases of the respiratory system	0
	1.01–3.0	808			1.57
	3.01–6.0	102 700			3.25
	> 6	1 095 498			5.00
Печень Liver	≤ 1	37 590	K70–K77	Болезни печени Diseases of liver	0
	1.01–3.0	329 283			0.75
	3.01–6.0	484 748			3.2
	> 6	344 163			3.89
Процессы развития организма Development	≤ 1	75 116	Q00–Q89	Врождённые аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения Congenital malformations, deformations and chromosomal abnormalities	0
	1.01–3.0	257 199			0.18
	3.01–6.0	441 057			0.24
	> 6	423 233			0.44
Сердечно-сосудистая система Cardiovascular system	≤ 1	432 929	I00–I99	Болезни системы кровообращения Diseases of the circulatory system	0
	1.01–3.0	713 890			55.22
	3.01–6.0	37 417			61.73
	> 6	14 786			66.27
Кроветворная система (кровь) Hematopoietic system (blood)	≤ 1	26 735	D60–D64	Апластические и другие анемии Aplastic and other anaemias	0
	1.01–3.0	560 063			0.54
	3.01–6.0	501 001	D70–D77	Другие болезни крови и кроветворных органов Other diseases of blood and blood-forming organs	0.57
	> 6	106 306			2.44
Иммунная система Immune system	≤ 1	0	D80–D89	Отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм Certain disorders involving the immune mechanism	0
	1.01–3.0	163 498			0.03
	3.01–6.0	326 318			0.05
	> 6	704 065			0.61
Почки, репродуктивная система Kidneys, reproductive system	≤ 1	89 142	N00–N99	Болезни мочеполовой системы Diseases of the genitourinary system	0
	1.01–3.0	677 688			5.65
	3.01–6.0	233 439			6.96
	> 6	349 371			7.9
Органы зрения Eyes	≤ 1	56 434	H00–H59	Болезни глаза и его придаточного аппарата Diseases of the eye and adnexa	0
	1.01–3.0	373 048			1.92
	3.01–6.0	461 395			2.57
	> 6	307 048			4.91

сульфид, углерода оксид, фториды газообразные, хлор, бензол, диметилбензол, формальдегид, взвешенные вещества и др. По критерию количественного уровня формируемой ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости приоритетными являются фенол (65%), бензол (13%), фториды плохо растворимые (3,8%), бута-1,3-диен (4,7%), взвешенные вещества (4,1%), фториды газообразные (3,4%), серы диоксид (1,85%), дигидросульфид (1,46%) и пр. Для детского населения такими веществами являются фенол (58,3%), серы диоксид (30,9%), этилбензол (6,89%), взвешенные вещества (1,78%), бута-1,3-диен (0,73%), формальдегид (0,46%), бенз(а)пирен (0,36%), диметилбензол (0,28%), углерода оксид (0,25%) и пр.

Полученные приоритеты сопоставимы между собой по перечню веществ, формирующих повышенные аэрогенные риски для здоровья населения, и перечню веществ, формирующих ассоциированную с качеством атмосферного воздуха заболеваемость.

Сопряжённая оценка уровней ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости (апостериорных рисков) и уровней формируемых хронических неканцерогенных рисков (априорных рисков) в отношении соответствующих органов-мишеней и систем-мишеней позволила выявить определённую закономерность для ряда нозологических форм и классов болезней: в зонах с более высоким уровнем аэрогенного риска формируется и более высокий уровень дополнительной ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости населения. Так, в зонах жилой застройки с уровнем хронического аэрогенного риска в отношении органов дыхания  $NICh \leq 1$  ассоциированная заболеваемость в классе «Болезни органов дыхания» не формируется. В зонах с уровнем аэрогенного риска органам дыхания  $1 < NICh \leq 3$  и населением более 800 человек формируется дополнительная ассоциированная с качеством атмосферного воздуха заболеваемость на уровне 1,57 случая на 1000 человек (всего населения), данные представлены в табл. 2.

С увеличением уровня формируемого риска, обусловленного более высоким содержанием в атмосферном воздухе веществ, обладающих свойствами негативного воздействия на органы дыхания, растёт уровень ассоциированной заболеваемости: в зонах с индексами опасности  $3 < NICh \leq 6$  (настораживающий уровень риска), в которых проживает более 100 тыс. человек, формируется обусловленная качеством атмосферного воздуха заболеваемость всего населения в классе «Болезни органов дыхания» (J00–J99) на уровне 3,25%, при  $NICh > 6$  (проживает более 1,09 млн человек) в среднем формируется ассоциированная заболеваемость на уровне 5%.

## Обсуждение

Неблагополучное состояние среды обитания является одним из основных факторов ухудшения состояния здоровья населения промышленных городов. Об этом свидетельствуют результаты ранее опубликованных исследований по оценке риска для здоровья населения при воздействии загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от предприятий различных отраслей промышленности [8, 9].

Широкое использование процедуры оценки риска для здоровья в различных гигиенических задачах оправданно как с позиции анализа, оценки и прогнозирования санитарно-эпидемиологической ситуации, приоритизации и ранжирования факторов риска для здоровья, так и с позиции оптимизации программ мониторинга объектов среды обитания, совершенствования системы санитарно-эпидемиологического нормирования, оптимизации направлений управляющих воздействий, оценки эффективности и результативности проектной деятельности и пр. В то же время риск, являясь вероятностной величиной, в ряде случаев не может рассматриваться как аргумент для принятия управленческих решений. В связи с этим крайне важно соотношение результатов оценки риска с фактически причиняемым

вредом здоровью [10]. На современном этапе разработана и широко используется методология установления и доказывания ассоциированного с негативным воздействием факторов среды обитания вреда здоровью человека<sup>15</sup> [11–14], включающая в себя четыре последовательных этапа, в том числе подэтап углублённых медико-биологических исследований, являющихся трудоёмкими и дорогостоящими процедурами в практике гигиенических оценок, расследований и экспертиз. Предложенные расчётные методические подходы к количественной оценке апостериорных рисков с использованием утверждённых унифицированных методов во многих случаях придадут результатам оценки риска для здоровья населения весомость и гигиеническую значимость, а также существенно облегчат принятие адекватных управленческих решений при реализации конституционно закреплённого права граждан на благоприятную окружающую среду (ст. 42 Конституции Российской Федерации).

Полученные результаты подтвердили гипотезу о влиянии качества объектов среды обитания, в частности атмосферного воздуха, на здоровье человека. При этом показано, что более значимое отклонение параметров факторов атмосферного воздуха от гигиенических нормативов и (или) референтных уровней существенно повышает вероятность возникновения болезней и формирует более высокие интенсивные значения показателей дополнительной ассоциированной заболеваемости экспонированного населения. Анализ состояния здоровья населения исследуемой территории показал, что повышенные концентрации в атмосферном воздухе химических веществ, обладающих различными механизмами биологического влияния и интенсивностью тропности к органам и системам организма, могут воздействовать на органы дыхания, пищеварения, зрения, на развитие новообразований, нервную, кроветворную, сердечно-сосудистую, иммунную, эндокринную и другие системы и органы, что подтверждается результатами других релевантных исследований [15–18].

Следует отметить, что выявленные закономерности носят общий характер, и полученные множественные модели причинно-следственных связей могут быть использованы для гигиенического анализа и оценки на территориях со схожим компонентным составом и уровнем загрязнения атмосферного воздуха. Для остальных территорий предложенный алгоритм количественной оценки апостериорного неканцерогенного риска для здоровья с использованием соответствующих исходных данных позволит получить более точные результаты, адекватные фактическим или прогнозируемым уровням экспозиции и риска для здоровья. Перспективным направлением данного исследования является изучение эмерджентных свойств неканцерогенных факторов риска для здоровья, количественных и классификационных характеристик неканцерогенного риска, совершенствование подходов к оценке его реализации.

Кроме того, актуальной остаётся оценка эффективности и результативности проектной деятельности в наиболее загрязнённых городах – участниках федеральных проектов [19–21]. Показатели остаточных априорного, апостериорного рисков и реализуемого вреда здоровью могут являться как критериями эффективности и результативности воздухоохранительных мероприятий с позиций обеспечения безопасности населения, так и целевыми и индикативными показателями проектной деятельности.

**Ограничения исследования.** Предложенные подходы являются расчётными, и полученные результаты могут отличаться от результатов направленных углублённых исследований по формированию доказательной базы причинения вреда

<sup>15</sup> Методические указания МУ 2.1.10.3165–14 «Порядок применения результатов медико-биологических исследований для доказательства причинения вреда здоровью населения негативным воздействием химических факторов окружающей среды» (утв. 23.05.2014 г. руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А.Ю. Поповой).



здоровью населения в условиях ненормативного качества среды обитания. Параметры математических моделей в системе «среда обитания – здоровье населения» получены на ограниченном диапазоне экспозиции загрязняющих веществ атмосферного воздуха и перечне исследуемых аэрогенных факторов риска для здоровья.

## Заключение

1. По результатам исследования предложен включающий пять последовательных этапов методический подход к расчётной количественной оценке неканцерогенного риска для здоровья населения в виде дополнительных ассоциированных с качеством объектов среды обитания случаев болезней, базирующийся на унифицированных и утверждённых методах оценки экспозиции, риска для здоровья, математической параметризации причинно-следственных связей в системе «среда обитания – здоровье населения», расчёте дополнительных случаев ассоциированной заболеваемости и сопряжённой оценке полученных результатов.

2. Результаты апробации предложенных подходов на пилотной территории показали, что по расчётным данным, верифицированным данными инструментальных исследований атмосферного воздуха, в зонах жилой застройки формируются превышения гигиенических нормативов по 27 веществам. Повышенные значения коэффициентов опасности формируются в отношении 26 веществ (до 98,7 HQac; до 62,7 HQch). Аддитивное воздействие анализируемых веществ формировало в зонах жилой застройки повышенные индексы опасности, классифицируемые как «настораживающие» ( $3 < NI \leq 6$ ) и «высокие» ( $NI > 6$ ), для органов дыхания, сердечно-сосудистой, кроветворной систем, печени, почек, органов зрения, процессов развития, иммунной, репродуктивной, эндокринной и других систем и органов.

3. Установленные уровни аэрогенной экспозиции загрязняющих веществ в зонах жилой застройки ежегодно формируют около 80,9 тыс. дополнительных случаев болезней всего населения в год (71 сл. на 1000 чел.), что составляет 4,15% от всей зарегистрированной (по данным ФОМС) заболеваемости населения. В структуре заболеваемости всего населения приоритетные позиции занимают «Болезни системы кровообращения» (52,8%), «Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани» (18,6%), «Болезни органов пищеварения» (14,1%), «Болезни мочеполовой системы» (7,7%), «Болезни органов дыхания» (7,7%). Для детского и подросткового населения характерна несколько иная структура ассоциированной заболеваемости. Дети: «Болезни органов пищеварения» (36,7%), «Болезни органов дыхания» (30,9%), «Болезни системы кровообращения» (18,8%); подростки: «Болезни органов дыхания» (49,9%), «Болезни органов пищеварения» (15%), «Болезни системы кровообращения» (10,5%).

4. Приоритетными факторами, определяющими формирование ассоциированной с качеством атмосферного

воздуха заболеваемости, являются 23 вещества, в том числе фенол, диалюминий триоксид, хром шестивалентный, серы диоксид, дигидросульфид, углерода оксид, фториды газообразные, хлор, бензол, диметилбензол, формальдегид, взвешенные вещества и др.; вклад факторов в разных возрастных группах составляет 0,25–65%. Полученные приоритеты по перечню веществ, формирующих повышенные аэрогенные риски для здоровья населения, и перечню веществ, формирующих ассоциированную с качеством атмосферного воздуха заболеваемость, сопоставимы между собой.

5. Сопряжённая оценка уровней ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости и уровней формируемых хронических неканцерогенных рисков в отношении соответствующих органов-мишеней и систем-мишеней позволила выявить определённую закономерность по ряду нозологических форм и классов болезней: в зонах с более высоким уровнем аэрогенного риска формируется и более высокий уровень дополнительной ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости населения. Так, в зонах с уровнем аэрогенного риска органам дыхания  $NICh \leq 1$  (минимальный (целевой) уровень риска) дополнительная ассоциированная с качеством атмосферного воздуха заболеваемость в классе «Болезни органов дыхания» (J00–J99) не формируется; в зонах с уровнем риска  $1 < NICh \leq 3$  (допустимый уровень риска), в которых проживает более 800 человек, формируется заболеваемость на уровне 1,57% для всего населения; в зонах с уровнем риска  $3 < NICh \leq 6$  (настораживающий уровень риска), в которых проживает более 100 тыс. человек, – 3,25%; в зонах с  $NICh > 6$  (проживает более 1,09 млн человек) в среднем формируется ассоциированная заболеваемость на уровне 5%.

6. Предложенные расчётные методические подходы к апостериорной оценке неканцерогенных рисков для здоровья позволяют получить количественные характеристики апостериорного риска в виде дополнительных случаев ассоциированной с качеством объектов среды обитания заболеваемости населения, дополняют и уточняют результаты оценки риска для здоровья, придают им весомость и гигиеническую значимость в практике гигиенических оценок, исследований и экспертиз, а также существенно облегчают принятие адекватных управленческих решений при реализации конституционно закреплённого права граждан на благоприятную окружающую среду.

7. Количественные характеристики неканцерогенного риска для здоровья могут использоваться при оптимизации программ социально-гигиенического мониторинга, оценке эффективности и результативности реализуемых мероприятий, а также стать целевыми и индикативными показателями проектной деятельности на федеральном и региональном уровнях. Как перспективное направление данного исследования надо отметить изучение эмерджентных свойств неканцерогенных факторов риска для здоровья, количественных и классификационных характеристик неканцерогенного риска и совершенствование подходов к оценке его реализации.

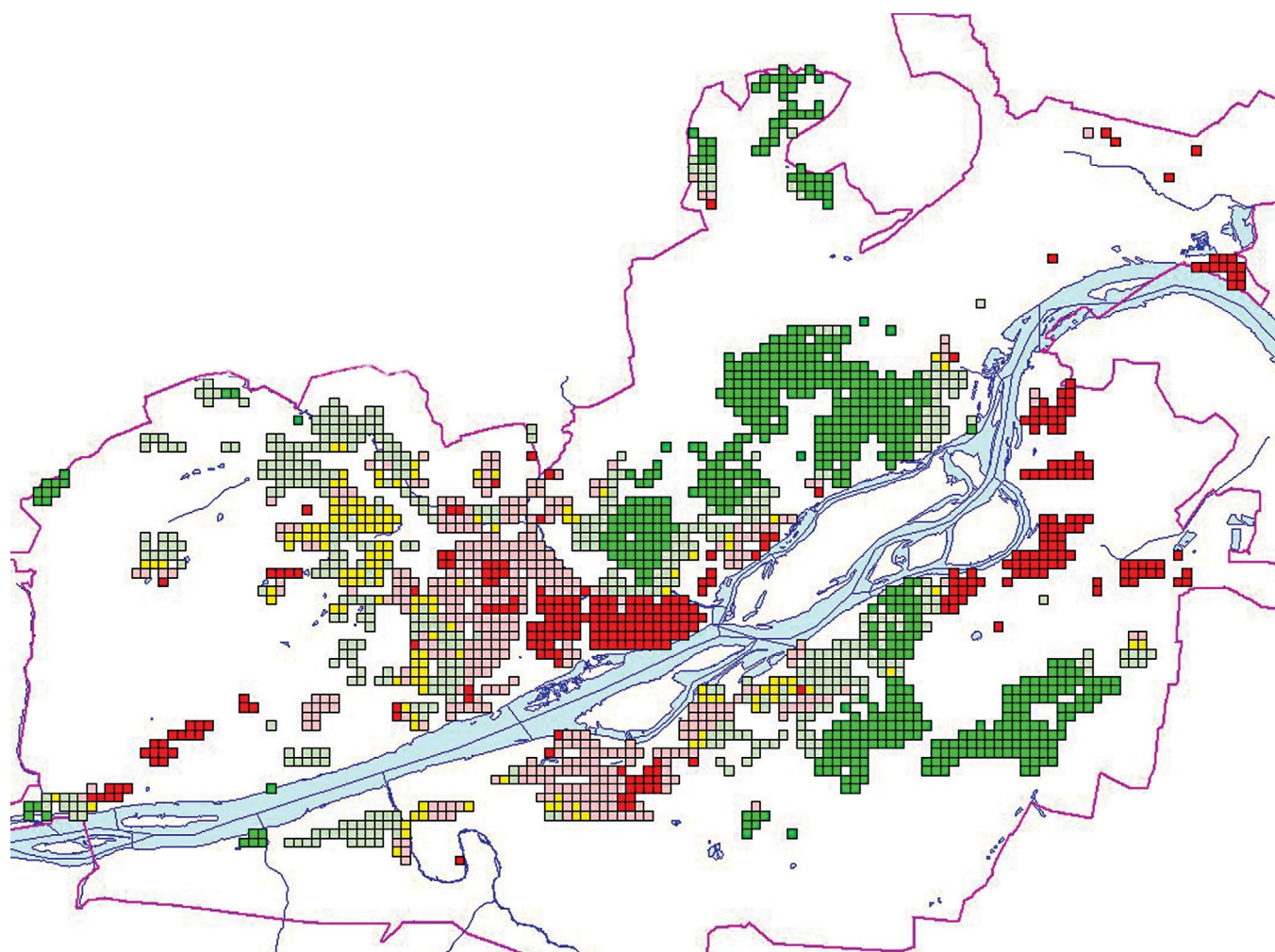
## Литература

- Басов А.В. Некоторые аспекты определения понятия «санитарно-эпидемиологического благополучия населения». В кн.: *Развитие государственности и права в Республике Крым: материалы Всероссийской научно-практической конференции*. Краснодар; 2016: 247–50. <https://elibrary.ru/wiprjn>
- Рахманин Ю.А. Современные проблемы экологии человека и гигиены окружающей среды в обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения России. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2008; (1): 12–3. <https://elibrary.ru/ijaajx>
- Бахтин Ю.К. Факторы формирования здоровья человека и их значение. *Молодой ученый*. 2012; (5): 397–400. <https://elibrary.ru/rfysap>
- ВОЗ. Доклад о состоянии здравоохранения в Европе 2021: итоги реализации связанных со здоровьем Целей в области устойчивого развития в период пандемии COVID-19 с учетом принципа «никого не оставить без внимания»; 2022. Доступно: <https://iris.who.int/handle/10665/352138>
- ВОЗ. Доклад о состоянии здравоохранения в Европе 2015: целевые ориентиры и более широкая перспектива – новые рубежи в работе с фактическими данными; 2015. Доступно: <https://iris.who.int/handle/10665/327845>
- ВОЗ. Загрязнение атмосферного воздуха (воздуха вне помещений); 2022. Доступно: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Ракитский В.Н., Кузьмин С.В., Авалиани С.Л., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А. Современные вызовы и пути совершенствования оценки и управления рисками здоровьем населения. *Анализ риска здоровью*. 2020; (3): 23–9. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.03> <https://elibrary.ru/wsou3d>
- Михайлова В.С. Оценка индивидуальных рисков здоровью от загрязнения атмосферного воздуха города Красноярск. В кн.: *Экология Южной Сибири и сопредельных территорий. Материалы XXIII Международной научной школы-конференции студентов и молодых ученых*. Абакан; 2019: 67. <https://elibrary.ru/tjtizd>
- Зайцева Н.В., Май И.В. Основные итоги, перспективы применения и совершенствования оценки риска здоровью населения сибирских городов – участников проекта «Чистый воздух» (Братск, Норильск, Красноярск, Чита). *Гигиена и санитария*. 2021; 100(5): 519–27. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-519-527> <https://elibrary.ru/ogjixt>

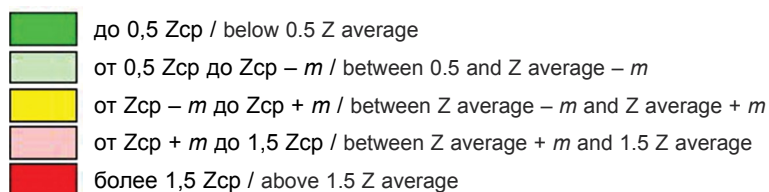
10. Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., ред. *Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития*. Пермь; 2014. <https://elibrary.ru/udtylr>
11. Клейн С.В. *Методология гигиенического анализа условий причинения вреда здоровью человека при нарушении законодательства в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения в результате хозяйственной деятельности субъектов с различными профилями внешнего фактора риска*: Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. Пермь; 2018.
12. Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В. К вопросу установления и доказательства вреда здоровью населения при выявлении неприемлемого риска, обусловленного факторами среды обитания. *Анализ риска здоровью*. 2013; (2): 14–26. <https://elibrary.ru/rcjbev>
13. Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Седусова Э.В. Опыт установления и доказывания вреда здоровью населения вследствие потребления питьевой воды, содержащей продукты гиперхлорирования. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. 2015; (12): 16–8. <https://elibrary.ru/vbvepr>
14. Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Ханхареев С.С., Болосинова А.А. Научно-методические аспекты и практический опыт формирования доказательной базы причинения вреда здоровью населения в зоне влияния отходов прошлой экономической деятельности. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(11): 1038–44. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-11-1038-1044> <https://elibrary.ru/yobwui>
15. Галактионова М.Ю., Артюхов И.П. Заболеваемость и факторы риска развития аритмий у школьников города Красноярска. В кн.: *Тезисы V Всероссийского конгресса «Детская кардиология 2008»*. М.; 2008. <https://elibrary.ru/xgspst>
16. Тит А.И., Колокольцев М.М. Характеристика заболеваемости взрослого населения в Красноярском крае и Иркутской области. В кн.: *Совершенствование методологии познания в целях развития науки. Сборник статей международной научно-практической конференции*. Уфа; 2017: 211–3. <https://elibrary.ru/yguyp>
17. Зуков Р.А., Модестов А.А., Сафонцев И.П., Клименок М.П., Слепов Е.В. Анализ заболеваемости злокачественными новообразованиями в Красноярском крае за 2010–2019 гг. *Эффективная фармакотерапия*. 2021; 17(2): 64–7. <https://doi.org/10.33978/2307-3586-2021-17-2-64-67> <https://elibrary.ru/pnffhw>
18. Мальгина Н.В., Мирасова В.М. К вопросу о состоянии заболеваемости в Красноярском крае по показателям окружающей среды. *Аспирант*. 2017; (5): 71–80. <https://elibrary.ru/zqxqxx>
19. Крива А.С., Никитин С.В., Овчинникова Е.Л., Плотнокова О.В., Колчин А.С., Черкашина М.Н. и др. О ходе реализации федерального проекта «Чистый воздух» на территории города Омска. *Анализ риска здоровью*. 2020; (4): 31–45. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.4.04> <https://elibrary.ru/ofylqu>
20. Кузьмин С.В., Авалиани С.Л., Додина Н.С., Шашина Т.А., Кислицын В.А., Рыжаков Н.Н. и др. Основные результаты выполненных проектов по оценке риска здоровью в ряде городов-участников федерального проекта «Чистый воздух» (Липецк, Череповец, Новокузнецк, Омск). В кн.: *Анализ риска здоровью – 2021. Внешнесредовые, социальные, медицинские и поведенческие аспекты. Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2021: Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Пермь; 2021: 331–8. <https://elibrary.ru/izvvpk>
21. Ярушин С.В., Кузьмин Д.В., Шевчик А.А., Цепилова Т.М., Гурвич В.Б., Козловских Д.Н. и др. Ключевые аспекты оценки результативности и эффективности реализации федерального проекта «Чистый воздух» на примере комплексного плана мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в городе Нижний Тагил. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. 2020; (9): 48–60. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-330-9-48-60> <https://elibrary.ru/vkpknb>

## References

1. Basov A.V. Some aspects of the definition of the concepts of sanitary and epidemiological nutrition of the population. In: *Development of Statehood and Rights in the Republic of Crimea: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference [Razvitiye gosudarstvennosti i prava v Respublike Krym: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*. Krasnodar; 2016: 247–50. <https://elibrary.ru/wiprjn> (in Russian)
2. Rakhmanin Yu.A. Current problems of the human environment and environmental hygiene in the provision of Russia's population with sanitary and epidemiological well-being. *Zdravookhraneniye Rossiyskoy Federatsii*. 2008; (1): 12–3. <https://elibrary.ru/ijaajx> (in Russian)
3. Bakhtin Yu.K. Factors in the formation of human health and their significance. *Molodoy uchenyy*. 2012; (5): 397–400. <https://elibrary.ru/rfysap> (in Russian)
4. WHO. The European Health Report 2021. Taking stock of the health-related Sustainable Development Goals in the COVID-19 era with a focus on leaving no one behind; 2022. Available at: <https://iris.who.int/handle/10665/352137>
5. WHO. European Health Report 2015: Targets and beyond – reaching new frontiers in evidence; 2015. Available at: <https://iris.who.int/handle/10665/327873>
6. WHO. Ambient (outdoor) air pollution; 2022. Available at: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
7. Rakitskiy V.N., Kuz'min S.V., Avaliani S.L., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislitsin V.A. Contemporary challenges and ways to improve health risk assessment and management. *Analiz riska zdorov'yu*. 2020; (3): 23–8. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.03> <https://elibrary.ru/nmfkzx>
8. Mikhaylova V.S. Assessment of individual health risks from air pollution in the city of Krasnoyarsk. In: *Ecology of Southern Siberia and Adjacent Territories. Materials of XXIII International Scientific School-Conference of Students and Young Scientists [Ekologiya Yuzhnoy Sibiri i sopredel'nykh territoriy. Materialy XXIII Mezhdunarodnoy nauchnoy shkoly-konferentsii studentov i molodykh uchenykh]*. Abakan; 2019: 67. <https://elibrary.ru/tjizd> (in Russian)
9. Zaytseva N.V., May I.V. Main results, prospects of application and improvement of the health risk assessment of the population of Siberian cities-participants of the «Clean air» project (Bratsk, Norilsk, Krasnoyarsk, Chita). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(5): 519–27. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-519-527> <https://elibrary.ru/ogjixt> (in Russian)
10. Onishchenko G.G., Zaytseva N.V., eds. *Health Risk Analysis in the Strategy of State Socio-Economic Development [Analiz riska zdorov'yu v strategii gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya]*. Perm'; 2014. <https://elibrary.ru/udtylr> (in Russian)
11. Kleyn S.V. *Methodology for hygienic analysis of the conditions for causing harm to human health in violation of legislation in the field of ensuring the sanitary and epidemiological welfare of the population as a result of the economic activities of entities with different profiles of external environmental risk*: Diss. Perm'; 2018. (in Russian)
12. Zaytseva N.V., May I.V., Kleyn S.V. On the determination and proof of damage to human health due to an unacceptable health risk caused by environmental factors. *Analiz riska zdorov'yu*. 2013; (2): 14–26. <https://elibrary.ru/rcjbev> (in Russian)
13. Zaytseva N.V., May I.V., Kleyn S.V., Sedusova E.V. An experience of establishing and proving of harm to the public health caused by consumption of drinking water containing hyperchlorination products. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2015; (12): 16–8. <https://elibrary.ru/vbvepr> (in Russian)
14. Zaytseva N.V., May I.V., Kleyn S.V., Khankhareev S.S., Boloshinova A.A. Scientific and methodological aspects and practical experience for the formation of the evidential base of hazard to health in the population in the zone of influence of waste from the past economic activity. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(11): 1038–44. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-11-1038-1044> <https://elibrary.ru/yobwui> (in Russian)
15. Galaktionova M.Yu., Artyukhov I.P. Morbidity and risk factors for the development of arrhythmias in schoolchildren of the city of Krasnoyarsk. In: *Abstracts of the V All-Russian Congress «Children's Cardiology 2008» [Tezisy V Vserossiyskogo kongressa «Detskaya kardiologiya 2008»]*. Moscow; 2008. <https://elibrary.ru/xgspst> (in Russian)
16. Tit A.I., Kolokol'tsev M.M. Characteristics of the incidence of the adult population in the Krasnoyarsk Territory and the Irkutsk Region. In: *Improvement of the Methodology of Knowledge for the Development of Science. Collection of Articles of the International Scientific-Practical Conference [Sovershenstvovanie metodologii poznaniya v iselyakh razvitiya nauki. Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*. Ufa; 2017: 211–3. <https://elibrary.ru/yguyp> (in Russian)
17. Zukov R.A., Modestov A.A., Safontsev I.P., Klimenok M.P., Sleпов E.V. Analysis of malignant neoplasms incidence in the Krasnoyarsk area for 2010–2019 years. *Effektivnaya farmakoterapiya*. 2021; 17(2): 64–7. <https://doi.org/10.33978/2307-3586-2021-17-2-64-67> <https://elibrary.ru/pnffhw> (in Russian)
18. Malygina N.V., Mirasova V.M. On the issue of the state of morbidity in the Krasnoyarsk territory in terms of environmental indicators. *Aspirant*. 2017; (5): 71–80. <https://elibrary.ru/zqxqxx> (in Russian)
19. Kriva A.S., Nikitin S.V., Ovchinnikova E.L., Plotnikova O.V., Kolchin A.S., Cherkashina M.N., et al. On implementation of «Clean air» federal project in Omsk. *Analiz riska zdorov'yu*. 2020; (4): 32–46. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.4.04> <https://elibrary.ru/rvwpw>
20. Kuz'min S.V., Avaliani S.L., Dodina N.S., Shashina T.A., Kislitsin V.A., Ryzhakov N.N., et al. Main results of completed health risk assessment projects in a number of cities participating in the Clean Air federal project (Lipetsk, Cherepovets, Novokuznetsk, Omsk). In: *Health Risk Analysis – 2021. Environmental, Social, Medical and Behavioral Aspects. Together with the International Meeting on Environment and Health RISE-2021: Proceedings of the XI All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation [Analiz riska zdorov'yu – 2021. Vneshnesredovye, sotsial'nye, meditsinskie i povedencheskie aspekty. Sovmestno s mezhdunarodnoy vstrechey po okruzhayushchey srede i zdorov'yu RISE-2021: Materialy XI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Perm'; 2021: 331–8. <https://elibrary.ru/izvvpk> (in Russian)
21. Yarushin S.V., Kuz'min D.V., Shevchik A.A., Tsepilova T.M., Gurvich V.B., Kozlovskikh D.N., et al. Key aspects of assessing effectiveness and efficiency of implementation of the Federal Clean Air Project on the example of the Comprehensive Emission Reduction Action Plan in Nizhny Tagil. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2020; (9): 48–60. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-330-9-48-60> <https://elibrary.ru/vkpknb> (in Russian)



Всё население, все заболевания: / Total population, all diseases:



**Рис. 2.** Карта-схема. Пространственная модель распределения показателей ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости населения города, всего, случаев на 100 тыс. человек ( $Z_{cp}$  – среднегородской уровень ассоциированной заболеваемости,  $m$  – доверительный интервал среднего значения).

**Fig. 2.** A scheme showing a spatial model of distribution of additional incidence associated with ambient air quality among the total city population, the total number of diseases, cases/100 thousand people ( $Z_{cp}$  is the mean associated incidence in the city;  $m$  is the confidence interval of the mean value).