



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)

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

Введение. В рамках реализации положений федерального проекта «Чистый воздух» выполнена оценка риска здоровью населения городов Братск, Норильск, Красноярск, Чита при воздействии химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух. Основной задачей оценки риска являлось обоснование для целей мониторинга и квотирования перечня приоритетных химических веществ, вносящих наибольшие вклады в риски, и определение основных источников загрязнения атмосферы города этими веществами – для целей последующего квотирования.

Материалы и методы. Исходной информацией для оценки экспозиции и рисков для здоровья населения каждого города явились сводные базы данных стационарных и передвижных источников выбросов. Расчёты выполняли в стандартизованных программных продуктах серии «Эколог-Город». Показатели риска определяли в соответствии с положениями и требованиями руководства Р 2.1.10.1920-04. В каждом городе расчёты выполняли в точках жилых зданий (от 11 до 14 тыс. точек на территории). Учтены выбросы более 1350 тыс. источников. Рассмотрены приземные концентрации от 45 до 60 примесей в каждом городе.

Результаты. Установлено, что неприемлемый, в том числе высокий риск для здоровья формируется во всех исследованных городах. Кратность превышения допустимых уровней риска по показателю индекса опасности достигала 15–20 раз. В зонах неприемлемого риска проживают порядка 630 тыс. человек, в том числе более 200 тыс. человек – в зонах высокого риска заболеваний. Критически поражаемыми органами и системами являются органы дыхания, иммунная система, кровь, развитие потомства и пр. Определённые для каждой территории химические примеси и их источники, вносящие в сумме до 90% вклада в неприемлемые риски, рассматриваются как приоритеты для ведения мониторинга и квотирования. Выработаны рекомендации по совершенствованию процедуры подготовки исходных данных для оценки риска, а также верификации результатов оценки риска эпидемиологическими и медико-демографическими исследованиями.

Ключевые слова: атмосферный воздух; федеральный проект; риски для здоровья; приоритетные вещества; квотирование; здоровье

Для цитирования: 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): 519–527. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-519-527>

Для корреспонденции: Май Ирина Владиславовна, доктор биол. наук, профессор, зам. директора по научной работе ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь. E-mail: may@fcrisk.ru

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов: Зайцева Н.В. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Май И.В. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка. *Все соавторы* – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила 07.04.2021 / Принята к печати 18.05.2021 / Опубликована 15.06.2021

Nina V. Zaitseva, Irina V. May

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)

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation

Introduction. As part of implementing the federal project “Clean air” provisions, the Human health risk assessment in Bratsk, Norilsk, Krasnoyarsk, Chita under the influence of ambient air-polluting chemicals was carried out. The main task of the risk assessment was to substantiate the list of priority chemicals that make the most significant contribution to risks (for monitoring and quoting) and to determine the primary sources of air pollution in the city with these substances (for subsequent quotas).

Materials and methods. The initial information for assessing the exposure and human health risks in each city was the consolidated databases of stationary and mobile emissions sources. Calculations were carried out in standardized software products of the “Ecolog-Gorod” series. Risk indicators were determined under the provisions and requirements of the guideline R 2.1.10.1920-04. In each city, the calculations were performed at residential buildings (from 11 to 14 thousand points in the territory). Emissions from more than 1350 thousand sources were taken into account. Surface concentrations of 45 to 60 impurities in each city are considered.

Results. Unacceptable, including high health risk, was found to form in all the cities studied. According to the hazard index, the diversity of exceeding the permissible risk levels reached 15–20 times. About 630 thousand people live in areas of unacceptable risk, including more than 200 thousand people in areas of high risk of diseases. Critical affected organs and systems are the respiratory systems, immune system, blood, offspring development, etc. The chemical impurities determined for each territory and their sources, which together contribute up to 90% to unacceptable risks, are considered as priorities for monitoring and quotas. Recommendations were developed to improve the procedure for preparing initial data for risk assessment and verify the results of risk assessment by epidemiological and medical-demographic studies.

Keywords: atmospheric air; federal project; health risks; priority substances; quotas; health

For citation: Zaitseva 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): 519–527. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-519-527> (In Russ.)

For correspondence: Irina V. May, MD, Ph.D., D Sci., Professor, Deputy Director for research work of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation. E-mail: may@fcrisk.ru

Information about the authors:

Zaitseva N.V., <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>; May I.V., <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>

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

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution of the authors: Zaitseva N.V. – the concept and design of the study, editing; May I.V. – the concept and design of the study, the collection and processing of the material, statistical analysis. All co-authors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Received: April 7, 2021 / Accepted: May 18, 2021 / Published: June 15, 2021

Введение

В соответствии с пунктом 16.1 Плана мероприятий по реализации федерального проекта «Чистый воздух» (приложение 2 к паспорту федерального проекта «Чистый воздух») и пунктом 5.2 Плана мероприятий Роспотребнадзора в рамках федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология» на 2019–2024 гг. в течение сентября–декабря 2020 г. специалисты научных учреждений Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека выполняли оценку риска здоровью населения 12 городов-участников на момент старта проекта (на базовый 2017 г.).

Основной задачей такой оценки являлось получение количественных характеристик риска здоровью, обоснование перечня химических веществ, которые вносят наибольшие вклады в риски (приоритетные вещества) и определение основных источников загрязнения атмосферы города этими веществами (приоритетные объекты). Предполагалось, что именно сокращение выбросов наиболее опасных для здоровья человека, ущербобразующих веществ должно предусматриваться комплексными планами воздухоохраняющих мероприятий на территориях. Эти же вещества должны рассматриваться как приоритеты государственного мониторинга, а источники их поступления в среду обитания – как приоритеты при экологическом нормировании (квотировании) выбросов.

Такие подходы полностью соответствуют современным «здоровьеориентированным» тенденциям управления качеством воздуха и сопрягаются с задачами сохранения здоровья нации и повышения медико-демографического потенциала страны [1–4].

Кроме того, многими исследованиями указывается и на значительные экономические потери, которые формируются повышенной смертностью и заболеваемостью населения, ассоциированной с факторами загрязнения атмосферного воздуха [5–7]. Указывается, что стоимость отложенных вмешательств довольно высока [8, 9]. Предупреждение таких потерь, несомненно, является важной задачей органов управления всех уровней [10–12].

Загрязнение атмосферного воздуха является и существенным фактором неудовлетворённости населения качеством жизни [13, 14].

С учётом вышеперечисленных факторов оценка риска здоровью предусмотрена и федеральным проектом «Чистый воздух» и нормативно-правовой базой системы экологического нормирования, прежде всего «Правилами квотирования выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух», утверждёнными Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29 ноября 2019 г. № 814¹.

Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения выполнял оценку риска здоровью населения четырёх сибирских городов: Братск, Норильск, Красноярск, Чита. Полученные результаты были специфичны для каждого конкретного города, отражали особенности городской планировки,

промышленной, транспортной нагрузки, уровни развития систем теплоснабжения и пр. Вместе с тем анализ полученных данных позволил не только получить количественные характеристики риска, но и выделить типовые проблемы процедуры оценки экспозиции и рисков для здоровья, наметить перспективы применения и совершенствования оценки риска здоровью населения.

Цель настоящего исследования – обобщение результатов оценки риска на территориях и выделение основных научных и методических проблем, выявленных в ходе исследования, определение дальнейших путей совершенствования оценки риска в задачах управления качеством воздуха.

Объектами исследования явились города Братск, Норильск, Красноярск, Чита, включённые в федеральный проект «Чистый воздух», выбросы, идентифицированные на территории этих городов, качество атмосферного воздуха и риски для здоровья населения, которые формируются при воздействии химических веществ.

Материалы и методы

Исходной информацией для оценки экспозиции и рисков для здоровья населения каждого города явились сводные базы данных стационарных и передвижных источников выбросов, переданные исполнителям работ Министерством природных ресурсов 05.11.2020 г. в виде электронного банка данных, а также материалы отчётов и заключений по результатам выполнения сводных расчётов (приказ Минприроды № 1463 от 30.10.2020 г. «Об утверждении заключения о проведении сводного расчета загрязнения атмосферного воздуха...»).

В г. Братске были учтены выбросы 2202 источников выбросов 112 видов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (1627 источников 134 предприятий и организаций города, 459 автономных источников теплоснабжения и 116 участков улично-дорожной сети). Суммарный учтённый выброс загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников составил 127,207 тыс. т/год.

База данных г. Красноярска содержала записи о 6411 источниках выбросов загрязняющих веществ 807 предприятий и организаций города, 171 автономном источнике теплоснабжения и 263 участках улично-дорожной сети 122 автодорог. Суммарный учтённый выброс загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных и передвижных источников составил 140,827 тыс. т/год.

По г. Норильску учитывали выбросы 2145 источников (1196 организованных и 774 неорганизованных) 110 предприятий и организаций города и 175 участков улично-дорожной сети 28 автодорог. Суммарный годовой выброс – 107 химических веществ и соединений – составлял порядка 1860 тыс. тонн ЗВ.

По г. Чите переданные базы данных содержали записи о 2705 источниках выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух – 391 источник автотранспорта, 188 предприятий и организаций города, 1110 автономных источников теплоснабжения. База данных стационарных источников содержала сведения о выбросах 99 наименований ЗВ общей массой 75 468,93 т/год, передвижных – 10 загрязняющих веществ общей массой 994,8 т/год.

Оценку рисков здоровью выполняли на основе данных о приземных концентрациях загрязняющих веществ, полученных в результате расчётов рассеивания по программам

¹ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29 ноября 2019 г. № 814 «Об утверждении правил квотирования выбросов загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух».

«Эколог-Город» 4.60.1 с блоком расчёта «Средние», реализующим методы расчётов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утверждены приказом Минприроды России от 06.06.2017 г.). Метеорологические характеристики каждого города учитывались согласно метеофайлам, предоставленным ГГО им. Воейкова.

Расчёты приземных концентраций выполняли в точках размещения жилых зданий и сооружений: в целом от 11 до 35 тыс. расчётных точек на территории.

Результаты расчётов рассеивания подгружались в геоинформационную систему (ГИС) в привязке к векторным картам территорий, на которых были сформированы тематические слои административных границ, границ промышленных площадок, селитебных территорий, зданий и сооружений с адресным реестром, улично-дорожной сети, гидрографии. В качестве ГИС использовали лицензионные программные продукты фирмы ESRI – ArcView 3.2 и ArcGIS 9.3.1.

Расчитанные концентрации являлись исходными данными для проведения процедуры оценки риска, решения задач зонирования территории городов, а также определения вклада отдельных факторов (химических веществ), хозяйствующих субъектов и/или автомобильного транспорта в загрязнение воздуха и риски для здоровья населения.

Показатели риска определяли в соответствии с положениями и требованиями руководства Р 2.1.10.1920-04². Канцерогенный риск для здоровья выражали через величины канцерогенного риска при условии пожизненной экспозиции. Неканцерогенный риск для здоровья выражали через индексы опасности (НИ) при остром и хроническом воздействии. При характеристике риска учитывали критерии, установленные Р 2.1.10.1920-04 и рекомендованные методическими рекомендациями МР 2.1.10.01.0156-16³.

Результаты расчётов в точках постов инструментальных измерений системы экологического и социально-гигиенического мониторинга сопоставляли для характеристики неопределённостей и понимания тенденций соответствия (несоответствия) расчётной и инструментально измеряемой экспозиции населения к вредным примесям и корректности полученных параметров риска здоровью.

Результаты

Установлено, что, по результатам расчётов рассеивания, пожизненный канцерогенный риск в изученных городах составил в Братске от $1,1 \cdot 10^{-6}$ до $1,98 \cdot 10^{-6}$; Норильске – от $2,06 \cdot 10^{-7}$ до $1,85 \cdot 10^{-5}$; Красноярске – от $1,83 \cdot 10^{-6}$ до $5,94 \cdot 10^{-5}$, Чите – от $2,20 \cdot 10^{-6}$ до $5,74 \cdot 10^{-5}$. Риски характеризовались как приемлемые (менее $1 \cdot 10^{-6}$), однако превышающие пренебрежимо малый уровень. Основные факторы риска бенз(а)пирен, формальдегид, бензол; в меньшей степени – сажа (углерод чёрный), соединения хрома.

Неприемлемый неканцерогенный риск для здоровья населения, ассоциированный с воздействием химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, регистрировали на всех исследованных территориях.

В условиях кратковременных воздействий загрязнений выявлены неприемлемые, в том числе высокие риски нарушения функций:

- органов дыхания во всех четырёх городах с наибольшим средневзвешенным по городу индексом опасности в г. Норильске (НИ = 7,49) и локальным максимумом индекса опасности 28,3 НИ в г. Чите;

- иммунной системы и крови (Братск, Красноярск, Норильск, Чита) с максимумом более 50 НИ в г. Красноярске);
- системных нарушений (во всех четырёх городах) с локальными максимумами выше 20 НИ в гг. Красноярске и Чите;
- развития потомства во всех четырёх городах с локальными максимумами выше 20 НИ в г. Красноярске.

В условиях длительного хронического загрязнения неприемлемые риски нарушения формировались в отношении: органов дыхания (на всех исследованных территориях); крови (Норильск, Красноярск, Чита с наибольшими уровнями индексов опасности в г. Красноярске – более (50 НИ); иммунной системы (Братск, Красноярск); развития потомства (Братск, Чита); костной системы (Братск); нервной системы (Красноярск).

В целом наибольшие риски с учётом уровня превышения приемлемого уровня и численности населения, проживающего в условиях неприемлемого риска, отмечены в отношении болезней органов дыхания (табл. 1).

Представленные данные свидетельствуют о том, что в зонах неприемлемого риска нарушения функций органов дыхания в четырёх изучаемых городах на момент старта проекта «Чистый воздух» проживает более 630 тыс. человек, в том числе более 200 тыс. человек – в условиях высокого риска заболеваний.

Принимая во внимание, что болезни органов дыхания являются самым распространённым классом заболеваний, неприемлемый риск ингаляционного воздействия является фактором дополнительной, повышенной заболеваемости населения, а следовательно, существенным ущербобразующим по критериям экономических потерь. Последние формируются прежде всего утратой трудоспособности работающих жителей (по причине болезни или ухода за больным), снижением объёма регионального производимого продукта и предоставляемых услуг, дополнительными затратами органов здравоохранения или самих граждан на медицинское обслуживание [6].

По результатам оценки вклада отдельных загрязняющих веществ в неприемлемый риск для здоровья были определены приоритетные химические компоненты выбросов, которые в жилой застройке города суммарно формируют не менее 95% неприемлемого риска. Эти вещества рассматривали как обязательные для включения в систему мониторинга, подлежащие первоочередному квотированию и включению в планы мероприятий по снижению выбросов (табл. 2).

Азота диоксид, сумма пылей, сера диоксид, бенз(а)пирен, углерод (сажа), бензол вошли в список приоритетов на всех исследованных территориях. Фтористые соединения, тяжёлые металлы, ряд других приоритетных примесей вносили значимый вклад в риски здоровью в отдельных городах, где отражали специфику выбросов предприятий.

В 2019–2020 гг. все перечисленные примеси были включены в программы постоянного мониторинга качества атмосферного воздуха Росгидромета и Роспотребнадзора на территориях.

Для каждого города были определены промышленные предприятия или иные объекты, которые формировали в сумме 95% и более неприемлемого риска для здоровья и выбросы которых рассматривались как подлежащие первоочередному сокращению.

К примеру, для г. Красноярска к приоритетам были отнесены АО «РУСАЛ Красноярский Алюминиевый Завод», Красноярская ТЭЦ-3 и ТЭЦ-2 АО «Енисейская ТГК (ТГК-13), ООО «Сумитек Интернейшнл» и автотранспорт на улицах города. В Братске приоритетами являлись ПАО «Русал-Братск», Филиал АО «Группа «Илим», ПАО «Иркутскэнерго» ТЭЦ-6 и ТЭЦ 7, АО «Иркутскнефтепродукт» и пр.

Автономные источники теплоснабжения частного сектора были определены как общегородские приоритеты только в г. Чите, где на отдельных участках города они формировали до 60% вклада в острые риски болезней органов дыхания

² Р 2.1.10.1920-04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. 2004. 143 с.

³ 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 МР 2.1.10.0156-19. Утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 02.12.2019 г. Эл. ресурс. <https://docs.cntd.ru/document/1200088393> (дата обращения 01.03.2021 г.).

Таблица 1 / Table 1

Риск нарушений функций органов дыхания (индексы опасности) на исследованных территориях по результатам расчётов рассеивания примесей**Risk of respiratory diseases (hazard indices) in study areas based on dispersion modeling of impurities**

Показатели Indicators	Братск Bratsk	Норильск Norilsk	Красноярск Krasnoyarsk	Чита Chita
<i>При остром воздействии In case of acute exposure</i>				
Средневзвешенный по городу (по численности экспонированного населения) индекс опасности при острых воздействиях Weighted average for the city (by the number of exposed population) hazard index for acute impacts	3.40	7.49	1.68	2.17
Численность населения в зонах неприемлемого риска, тыс. человек Population in areas of unacceptable risk, thousand people	156.3	181.83	131.91	136.88
Доля населения от общей численности в зонах неприемлемого острого риска, % Share of the population in areas of unacceptable acute risk, % of the total population, %	69.1	100	12.4	38.9
Максимальный зарегистрированный индекс опасности при остром воздействии Maximum Acute Exposure Hazard Index Recorded	7.5	13.2	9.3	28.3
<i>При хроническом воздействии With chronic exposure</i>				
Средневзвешенный по городу (по численности населения) индекс опасности при хроническом воздействии City-weighted average (by population) Hazard Index for chronic exposure	1.50	12.76	1.54	1.56
Максимальный зарегистрированный индекс опасности при хроническом воздействии Maximum Recorded Chronic Hazard Index	3.40	42.24	58.74	3.74
Численность населения в зонах высокого хронического риска, тыс. человек Population in areas of high chronic risk, thousand people	0.01	181.83	7.68	13.97
Доля населения от общей численности в зонах неприемлемого хронического риска, % Share of the population in areas of unacceptable chronic risk, % of the total population, %	0.004	100	7.2	3.9

Таблица 2 / Table 2

Химические вещества, компоненты выбросов предприятий, транспорта, автономных источников теплоснабжения, формирующие в сумме 95% неприемлемого риска на территории исследованных городов**Chemical substances, components of emissions from enterprises, transport, autonomous sources of heat supply, forming totally of 95% of unacceptable risk in the territory of the studied cities**

Приоритетные загрязняющие вещества Priority pollutants		Братск Bratsk	Норильск Norilsk	Красноярск Krasnoyarsk	Чита Chita
Азота диоксид	Nitrogen dioxide	+	+	+	+
Сумма пылей	Dust sum (Total suspended particles)	+	+	+	+
Сера диоксид	Sulfur dioxide	+	+	+	+
Бенз(а)пирен	Benz (a) pyrene	+	+	+	+
Углерод (сажа)	Carbon (soot)	+	+	+	+
Бензол	Benzene	+	+	+	+
Никеля соединения	Nickel compound		+		
Марганец и его соединения	Manganese and its comp.		+	+	
Меди оксид	Copper oxide		+		
Хром (VI+)	Chrome (VI+)	+		+	
Азота оксид	Nitrogen oxide	+		+	
Фториды газообр.	Gaseous fluorides	+	+		
Углерода оксид	Carbon oxide			+	+
Серная кислота	Sulfuric acid		+		

и риски системных нарушений, влияли на канцерогенные риски, риски нарушений развития потомства. Локальное влияние автономных источников теплоснабжения было отмечено в г. Братске и Красноярске. Для Красноярска среди приоритетов выделен автотранспорт на улицах города. Для других городов вклад городского автомобильного транспорта не был существенным.

Исследование позволило выявить целый ряд научных и методических проблем, требующих разрешения в интересах повышения корректности оценки рисков здоровью и адекватности последующего применения результатов в задачах управления качеством воздуха.

Так, сопоставление уровней приземных концентраций, полученных из сводных расчётов рассеивания загрязняющих примесей, с итогами инструментальных измерений на постах государственной системы экологического мониторинга показало, что данные не всегда удовлетворительно коррелировались между собой⁴ (табл. 3).

Кратность превышения натуральных данных над расчётными по ряду показателей достигала несколько порядков, в том числе для веществ с доказанными канцерогенными свойствами (бенз(а)пирену, свинцу, формальдегиду). На территориях в целом имелись примеры удовлетворительной сходимости расчётных и натуральных данных и/или примеры, когда расчётные концентрации были выше, чем полученные при измерениях. Однако таких случаев отмечено существенно меньше, и они касались в основном разовых приземных концентраций. Анализ позволил предположить наличие недоучтённых негативных эффектов для здоровья экспонированного населения.

Отдельно обращала на себя внимание проблема оценки риска от воздействия пыли как существенного фактора опасности для здоровья [15–17]. На постах мониторинга атмосферного воздуха г. Красноярска, Норильска, Читы взвешенные вещества систематически регистрируются на уровнях выше гигиенических нормативов. Пыль как сумма твёрдых выбросов (TSP, total suspended particles) вошла в списки приоритетов на всех изученных территориях. Пример вклада пыли разного вида в неприемлемый риск для здоровья населения в разных зонах г. Красноярска представлен в табл. 4.

Из приведённых данных видно, что пыли вносили на отдельные участки города до 78% вклада в острый риск. Вклад до 60% суммарная пыль вносит и в хронические риски здоровью. При этом ситуация характерна для всех исследованных городов.

В ведомостях же инвентаризация источников пыли дефрагментирована, идентифицирована по химическому составу. Так, в сводной базе данных по г. Красноярску содержатся сведения о наличии в выбросах предприятий 46 видов твёрдых веществ (пылей). При этом при нормировании выбросов расчётные приземные концентрации соотносятся с индивидуальными ПДК каждой конкретной пыли, совместное действие не учитывается. Соблюдение по данным расчётов рассеивания установленных гигиенических нормативов каждым отдельным видом пыли может привести к отсутствию необходимости квотирования и общего сокращения массы выбрасываемой пыли. Как следствие уровни приемлемого риска могут быть не достигнуты. При этом наиболее опасные фракции пылей (с размерами менее 10 мкм), несмотря на установление гигиенических нормативов их содержания в атмосферном воздухе, до настоящего времени практически не учитываются в составе выбросов.

⁴ Данные о величинах концентраций приведены в соответствии с отчётом АО «НИИ Атмосфера» о выполнении работ «Формирование сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха для городов Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец и Чита, включая инструментальные обследования загрязнения атмосферного воздуха. Проведение анализа репрезентативности существующей сети инструментальных наблюдений за состоянием атмосферного воздуха и возможные пути развития».

Отсутствие лабораторных методов идентификации отдельных видов пыли делает невозможным инструментальный контроль соблюдения конкретным хозяйствующим субъектом допустимых (установленных) выбросов отдельных видов пылей. Определение суммы твёрдых веществ гравиметрическим методом, при котором количественно измеряется масса (концентрация) всех твёрдых частиц в сумме, не позволяет связать полученные уровни загрязнения с деятельностью конкретных юридических лиц, индивидуальных предпринимателей или иных источников. Как следствие систематическое превышение на постах наблюдения концентраций взвешенных веществ остаётся вне сферы государственного регулирования.

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о неприемлемых рисках для здоровья населения, ассоциированных с загрязнением атмосферного воздуха изученных городов. При этом исследование позволяет оценивать принятую для оценки риска экспозицию как заниженную, а рассчитанные уровни риска в целом как недооценённые. Основной причиной ситуации, вероятно, является неполная или недостаточно корректно выполненная инвентаризация источников выбросов на территориях, недоучёт вклада автотранспорта, особенно при расчёте среднегодовых концентраций загрязняющих веществ. Решение проблемы видится в верификации и периодической актуализации баз данных об источниках выбросов. Это касается и стационарных, и передвижных источников выбросов [18].

Важным элементом такой верификации может и должен являться систематический сопряжённый анализ результатов измерений и расчётов. Постоянная сопоставительная оценка расчётных и натуральных данных важна для идентификации источников загрязнения и уточнения их количественных характеристик. При этом расширение перечня точек, в которых проводится верификация результатов расчётов, включение в него точек инструментальных измерений социально-гигиенического мониторинга может существенно повысить эффективность такого анализа.

Кроме того, представляется, что существенным аналитическим ресурсом для корректировки сводной базы данных об источниках в городе может стать включение в программы социально-гигиенического мониторинга веществ, маркерных для выбросов конкретных предприятий, и сопоставление получаемых результатов измерений с данными расчётов при заданных метеопараметрах (при которых проводились измерения) [19].

Несомненно, важной задачей является и актуализация как расчётных методик, в соответствии с которыми устанавливаются спектр и массы выбросов от конкретных источников выделения, так и методик инструментальных измерений веществ в выбросах и атмосферном воздухе.

Отдельной проблемой является учёт пылевых компонентов выбросов для задач последующего мониторинга и нормирования (квотирования). В интересах защиты здоровья граждан представляется целесообразным при наличии в составе выбросов нескольких видов пылей нормативное закрепление требования по учёту суммы пылей как условия согласования Роспотребнадзором проектов нормативов допустимых выбросов, комплексных экологических разрешений, деклараций о воздействии на окружающую среду и пр. Актуальным является и закрепление обязательности выделения мелкодисперсных фракций твёрдых выбросов (PM10 и PM2.5) в ходе инвентаризации твёрдых выбросов.

Сажа в соответствии с распоряжением Правительства от 8 июля 2015 г. № 1316 не включена в перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды. Следовательно, сокращение выбросов данной примеси не стимулируется административно-правовыми методами. Отсутствие снижения выбросов сажи может рас-

Таблица 3 / Table 3

Фрагмент сопоставительного анализа расчётных и инструментально измеренных концентраций химических веществ в точках размещения постов экологического мониторинга на исследованных территориях

Fragment of a comparative analysis of the calculated and instrumentally measured chemicals concentrations at the state environmental monitoring points in study areas

№ поста Post No.	Загрязняющее вещество Pollutant	Территория Territory	$C_{изм}$ C_{mes}	$C_{расч}$ C_{calc}	$C_{изм}/C_{расч}$ C_{mes}/C_{calc}	Недоучтённый эффект в отношении Unaccounted effect in a relationship
<i>98%-й перцентиль разовых концентраций, мг/м³</i> <i>98th percentile of acute concentrations, mg/m³</i>						
2	Сероводород Hydrogen sulfide	Братск Bratsk	0.006	0.0001	60	Органы дыхания Respiratory system
7	Сероводород Hydrogen sulfide	Братск Bratsk	0.006	0.0001	60	Органы дыхания Respiratory system
8	Сероводород Hydrogen sulfide	Чита Chita	0.022	0.000003	733	Органы дыхания Respiratory system
11	Сероводород Hydrogen sulfide	Чита Chita	0.017	0.0001	340	Органы дыхания Respiratory system
4	Сероводород Hydrogen sulfide	Норильск Norilsk	0.070	0.34	2.1	Органы дыхания Respiratory system
11	Сероводород Hydrogen sulfide	Норильск Norilsk	0.070	0.040	1.8	Органы дыхания Respiratory system
1	Фтористый водород Hydrogen fluoride	Красноярск Krasnoyarsk	0.015	0.002	7.5	Органы дыхания Respiratory system
3	Фтористый водород Hydrogen fluoride	Красноярск Krasnoyarsk	0.017	0.005	3.4	Органы дыхания Respiratory system
1	Фенол Phenol	Красноярск Krasnoyarsk	0.004	0.0005	8.0	Глаза, органы дыхания Eyes, Respiratory system
2	Фенол Phenol	Чита Chita	0.017	$1.5 \cdot 10^{-6}$	11 333	Глаза, органы дыхания Eyes, Respiratory system
<i>Среднегодовые концентрации, мг/м³</i> <i>Average annual concentrations, mg/m³</i>						
3	Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene	Норильск Norilsk	$4 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-6}$	5.0	Онкология, иммунная система, развитие Cancer, immune system, development
4	Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene	Норильск Norilsk	$4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-6}$	10.0	Онкология, иммунная система, развитие Cancer, immune system, development
11	Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene	Норильск Norilsk	$4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-6}$	10.0	Онкология, иммунная система, развитие Cancer, immune system, development
1	Формальдегид Formaldehyde	Красноярск Krasnoyarsk	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-6}$	1000	Органы дыхания, иммун. система, онкология Respiratory system, immune system, cancer
3	Формальдегид Formaldehyde	Красноярск Krasnoyarsk	0.022	$9.9 \cdot 10^{-5}$	220	Органы дыхания, иммун. система, онкология Respiratory system, immune system, cancer
2	Формальдегид Formaldehyde	Чита Chita	0.0089	0.00072	12.4	Органы дыхания, иммун. система, онкология Respiratory system, immune system, cancer
1	Свинец Lead	Красноярск Krasnoyarsk	0.03	$9 \cdot 10^{-5}$	1000	Центральная нервная система (ЦНС), кровь, развитие, репродуктивная система, онкология Central nervous system (CNS), blood, development, reprod. system, cancer
4	Свинец Lead	Чита Chita	$3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-8}$	1500	ЦНС, кровь, развитие, репродуктивная система, онкология CNS, blood, development, reprod. system, cancer
3	Фенол Phenol	Чита Chita	0.005	$1 \cdot 10^{-6}$	5000	Сердечно-сосудистая система, почки, ЦНС, органы дыхания Cardiovascular system, kidneys, central nervous system, respiratory organs

Таблица 4 / Table 4

Вклад основных факторов в острый риск болезней органов дыхания в зонах неприемлемого аэрогенного риска здоровью жителей г. Красноярск**Contribution of the priority factors to the acute risk of respiratory diseases in areas of unacceptable aerogenic risk to the health of Krasnoyarsk residents**

Загрязняющее вещество Pollutant	Общее количество взвешенных частиц Total number of suspended particles	Зоны с уровнем риска «настораживающий» Areas with a risk level "alarming"					Зоны с уровнем риска «высокий» Areas with a risk level "high"	
		Индекс опасности / Hazard Index						
		3.24	3.56	3.85	3.90	4.14	6.26	7.56
Вклад отдельных факторов в суммарный острый риск, % Contribution of individual factors to the total acute risk, %								
Пыли в сумме, в том числе: Dust in total (TSP), including:		22.98	58.14	67.32	38.99	49.53	77.60	71.27
Пыль неорганическая SiO ₂ 70–20% Inorganic dust	(2908)	10.42	47.58	32.05	22.77	12.75	47.22	25.65
Взвешенные вещества Suspended substances	(2902)	3.41	3.11	13.66	2.84	31.19	27.18	35.66
Пыль неорганическая < 20% SiO ₂ Inorganic dust	(2909)	4.34	6.78	20.45	8.09	4.61	1.66	8.94
Пыль древесная Wood dust	(2936)	2.74	0.52	0.44	2.30	0.64	1.50	0.50
Пыль неорганическая > 70% SiO ₂ Inorganic dust	(2907)	1.66	0.03	0.61	0.05	0.19	0.03	0.13
Пыль абразивная Abrasive dust	(2930)	0.42	0.11	0.12	2.94	0.15	0.02	0.39
Азота диоксид Nitrogen dioxide	(301)	54.72	14.31	17.42	21.44	31.69	11.94	12.19
Сера диоксид Sulfur dioxide	(330)	5.24	11.97	7.43	4.71	7.33	7.70	3.55
Азот (II) оксид Nitrogen (II) oxide	(304)	5.81	1.54	3.14	2.34	3.54	1.33	1.42
Натрий гидроксид Sodium Hydroxide	(150)	6.32	1.88	1.16	9.89	1.51	0.37	3.88
Проп-2-ен-1-аль Prop-2-en-1-al	(1301)	1.04	2.93	0.98	15.85	1.30	0.20	5.41
Фтористые газообразные соединения Gaseous fluoride compounds	(342)	0.56	2.96	0.47	1.15	1.31	0.17	0.37
Всего... Total		96.68	93.72	97.93	95.0	96.21	99.32	98.09

смагиваться как фактор сохранения неприемлемых рисков для населения. В исследованных городах, где основным энергоносителем в системах тепло- и энергоснабжения является уголь, проблема сокращения выбросов сажи является актуальной. Кроме того, следует отметить, что именно пыли и сажи в особых климатических условиях Сибири (частые инверсии в зимний период, высокий потенциал загрязнения атмосферы и пр.) создают эффект «чёрного неба» и являются причиной негативных эмоциональных реакций со стороны жителей. Соответственно включение сажи в перечень веществ, подлежащих государственному регулированию, для городов, использующих в энергетике в основном твёрдое топливо, является значимой и актуальной процедурой.

Результаты оценки риска на текущий момент не напрямую увязаны с процедурой квотирования выбросов. Последняя предполагает, что «...допустимые вклады в концентрацию устанавливаются в точках, в которых значения долгопериодных (среднегодовых или среднесезонных) и/или максимальных разовых расчётных концентраций приоритетных загрязняющих веществ... превышают установленные нормативы качества атмосферного воздуха (ПДК)». Безусловно, крайне важным шагом в сопряжении результатов оценки риска и системы квотирования выбросов явля-

ется утверждение СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»⁵. В документе впервые в России утверждены среднегодовые предельно допустимые концентрации ряда химических веществ, уровни которых установлены в том числе с учётом результатов оценки рисков здоровью [20]. С 1 марта 2021 г. этот документ вступил в силу. Приоритетные химические примеси, определённые по критериям риска для здоровья согласно «Правил квотирования...», должны нормироваться уже с учётом новых гигиенических нормативов. Так, допустимая среднегодовая концентрация по диоксиду азота должна составлять 0,04 мг/м³ (при ПДКс.с. = 0,1 мг/м³); по фтористому водороду – 0,005 мг/м³ (при ПДКс.с. = 0,014 мг/м³); хром (IV) – 8 · 10⁻⁶ (при ПДКс.с. = 0,014 мг/м³) и т. п. Подход в ряде случаев потребует от хозяйствующих субъектов и органов местного самоуправления разработки дополнительных

⁵ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"; <https://www.garant.ru/hotlaw/federal/1444090/>

воздухоохранных мероприятий, однако с позиций защиты здоровья населения установление новых гигиенических нормативов своевременно и адекватно ситуации.

Не теряет актуальности определение остаточного риска как критерия оценки эффективности и результативности воздухоохранных мероприятий с позиций обеспечения безопасности населения. Такая оценка является задачей последующих этапов научных исследований в рамках федерального проекта «Чистый воздух».

Вместе с тем нельзя не принимать во внимание, что оценка риска осуществляется в условиях многих неопределённости: неточности и изменчивости параметров источников выбросов; сложности учёта одновременности работы и мощности источников выбросов, отсутствия критериев для оценки риска воздействия целого ряда химических веществ и т. п. Во избежание аггравации или, напротив, недооценки рисков здоровью и соответственно устранения опасности неадресных и/или неэффективных вложений в природоохранные мероприятия представляется целесообразным дополнять оценку рисков здоровью данными о фактической заболеваемости населения, складывающейся на территории города, и (при наличии) результатами специальных медико-биологических исследований по тем видам нарушений здоровья, которые идентифицированы как зависимые от уровня загрязнения атмосферы. Эпидемиологические данные с высокой степенью надёжности верифицируют рассчитанные уровни риска — это показано в исследованиях ряда авторов [21–23]. Сочетание расчётных методов оценки риска, эпидемиологических и медико-демографических исследований представляется оптимальным комплексом, который надёжно обеспечивает принятие максимально целесообразных и экономически эффективных решений на локальном и объектовом уровнях.

Заключение

Оценка риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, показала наличие неприемлемых, в том числе высоких рисков для здоровья в городах — участниках федерального проекта «Чистый воздух» — Братск, Норильск, Красноярск, Чита. Кратность превышения допустимых уровней риска

(по показателю индекса опасности) достигала 15–20 раз. В зонах неприемлемого риска проживает порядка 630 тыс. человек, в том числе более 200 тыс. человек — в зонах высокого риска заболеваний. Критически поражаемыми органами и системами являются органы дыхания, иммунная система, кровь, развитие потомства и пр.

Определённые для каждой территории химические смеси и их источники, вносящие в сумме до 90% вклада в неприемлемые риски, рассматриваются как приоритеты для ведения мониторинга и квотирования.

Результаты оценки риска здоровью, перечни приоритетных веществ и объектов — источников загрязнения предназначены для широкого совместного обсуждения органами власти, научным сообществом, представителями общественности и хозяйствующих субъектов.

В связи с довольно значимыми расхождениями между уровнями приземных концентраций, полученными расчётным путем и в ходе инструментального мониторинга, представляется целесообразной и актуальной дополнительной верификация и, возможно, корректировка исходных сводных баз данных об источниках, структуре и массе выбросов веществ в атмосферу в каждом из изученных городов. При этом отдельная нормативная и методическая поддержка требуется в отношении учёта совокупной выбрасываемой массы пыли и учёта мелкодисперсных фракций твёрдых выбросов (PM10, PM2.5).

С целью корректного учёта вкладов конкретных хозяйствующих субъектов в формирование рисков для здоровья населения представляется целесообразным включение в программы мониторинга и производственного контроля маркерных веществ, динамика концентраций которых в воздухе позволила бы идентифицировать источники рисков.

Принимая во внимание техническую сложность, высокую стоимость и длительные периоды реализации масштабных воздухоохранных мероприятий, полученные результаты оценки риска позволяют сделать вывод об актуальности разработки и включению мер медико-профилактического характера в планы компенсационных мероприятий, предусмотренных Федеральным законом от 26.07.2019 г. № 195-ФЗ «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ...» на период до достижения приемлемых рисков здоровью жителей.

Литература

(п. п. 3, 7, 9, 11, 15–17, 21, 23 см. References)

1. Попова А.Ю. Стратегические приоритеты Российской Федерации в области экологии с позиции сохранения здоровья нации. *Здоровье населения и среда обитания*. 2014; (2): 4–7.
2. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В. Здоровье населения как целевая функция и критерий эффективности мероприятий федерального проекта «Чистый воздух». *Анализ риска здоровью*. 2019; (4): 4–13. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.01>
4. Ревич Б.А. Национальный проект «Чистый воздух» в контексте охраны здоровья населения. *Экологический вестник России*. Available at: <https://ecovestnik.ru/index.php/2013-07-07-02-13-50/nashi-publikacii/3132-natsionalnyj-proekt-chistyj-vozdukh-v-kontekste-okhrany-zdorovya-naseleniya>
5. Захаров В.М., Бобылев С.Н., ред. *Экономические последствия воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье населения: пособие по региональной экологической политике*. М.: Акрополь; 2007.
6. Рыжаков С.А., Зайцева Н.В., Май И.В., Алексеев В.Б., Подлужная М.Я., Кирьянов Д.А. Макроэкономический анализ потерь здоровья, вероятностно обусловленных эмиссиями загрязняющих веществ в атмосферный воздух. *Пермский медицинский журнал*. 2009; 26(3): 139–43.
8. Малонг К.П. К вопросу об экономических критериях оценки риска для здоровья населения от загрязнения атмосферного воздуха. *Актуальные проблемы транспортной медицины*. 2006; (3): 122–6.
10. Бобылев С.Н. Устойчивое развитие в интересах будущих поколений: экономические приоритеты. *Мир новой экономики*. 2017; (3): 90–6.
12. Ракитский В.Н., Авалиани С.Л., Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А. Анализ риска здоровью при воздействии атмосферных загрязнений как составная часть стратегии уменьшения глобальной эпидемии неинфекционных заболеваний. *Анализ риска здоровью*. 2019; (4): 30–4. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.03>
13. Тимофеева С.С., Тимофеев С.С. Экологические проблемы г. Иркутска с точки зрения студентов Иркутского Национального технического университета. В кн.: Звягинцев В.В., ред. *Сборник статей Международной научно-практической конференции «Техносферная безопасность Байкальского региона»*. Чита; 2017: 108–15.
14. Лебедева-Несевря Н.А., Леушина А.В. Удовлетворенность населения состоянием окружающей среды как ключевой показатель нацпроекта «Экология». В кн.: Попова А.Ю., Зайцева Н.В., ред. *Анализ риска здоровью — 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью Rise-2020 и круглым столом по безопасности питания: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Пермь; 2020: 296–300.
18. Соломин В.А., Шабанов А.В., Шабанов А.А., Килушник В.М., Младенский А.В. Анализ методов и средств экологического контроля выбросов вредных веществ отработавших газов автомобилей. *Известия МГТУ МАМИ*. 2016; (4): 82–9.
19. Пичугин Ю.А. Экологический мониторинг и методы многомерной математической статистики. *Астраханский вестник экологического образования*. 2012; (2): 101–5.
20. Зайцева Н.В., Шур П.З., Четверкина К.В., Хасанова А.А. Совершенствование методических подходов к обоснованию средних предельно допустимых концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест по критериям допустимого риска здоровью человека. *Анализ риска здоровью*. 2020; (3): 39–48. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.05>
22. Землянова М.А., Зайцева Н.В., Тихонова И.В. Оценка информативности показателей потенциального риска и фактически причиненного вреда здоровью в условиях негативных воздействий химического фактора. В кн.: Попова А.Ю., Зайцева Н.В., ред. *Анализ риска здоровью — 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью Rise-2020 и круглым столом по безопасности питания: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Пермь; 2020: 123–9.

References

1. Popova A.Yu. Strategic priorities of the Russian Federation in the field of ecology from the position of preservation of health of the nation. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2014; (2): 4–7. (in Russian)
2. Popova A.Yu., Zaytseva N.V., May I.V. Population health as a target function and criterion for assessing efficiency of activities performed within "Pure air" federal project. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (4): 4–13. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.01.eng>
3. WHO. Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks; 2016. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565196>
4. Revich B.A. National project «Clean Air» in the context of public health protection. *Ekologicheskij vestnik Rossii*. Available at: <http://ecovestnik.ru/index.php/2013-07-07-02-13-50/nashi-publikacii/3132-natsionalnyj-proekt-chistyy-vozdukh-v-kontekste-okhrany-zdorovya-naseleniya> (in Russian)
5. Zakharov V.M., Bobylev S.N., eds. *Economic Consequences of the Impact of a Polluted Environment on Public Health: a Guide to Regional Environmental Policy [Ekonomicheskie posledstviya vozdeystviya zagryaznennoy okruzhayushchey sredy na zdorov'e naseleniya: posobie po regional'noy ekologicheskoy politike]*. Moscow: Akropol'; 2007. (in Russian)
6. Ryzhakov S.A., Zaytseva N.V., May I.V., Alekseev V.B., Podluzhnaya M.Ya., Kir'yanov D.A. Macroeconomic analysis of health loss probably caused by emission of pollutants into atmospheric air. *Permskiy meditsinskiy zhurnal*. 2009; 26(3): 139–43. (in Russian)
7. Wolf J., Corvalan C., Neville T., Bos R., Neira M. Diseases due to unhealthy environmental: as updated estimate of the global burden of diseases attributable to environmental determinants of health. *J. Public Health (Oxf.)* 2017; 39(3): 464–75. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdw085>
8. Malonog K.P. To the question on economic criteria of the evaluation of risk for health of the population from contamination of atmospheric air. *Aktual'nye problemy transportnoy meditsiny*. 2006; (3): 122–6. (in Russian)
9. Kukkonen J., Savolahti M., Palamarchuk Y., Tiittanen P., Karvosenoja N. Modelling of the public health costs of fine particulate matter and results for Finland in 2015. *Atmos. Chem. Phys.* 2020; 20(15): 9371–91.
10. Bobylev S.N. Sustainable development for future generations: economic priorities. *Mir novoy ekonomiki*. 2017; (3): 90–6. (in Russian)
11. Vakula M.A. Legal protection of atmospheric air in the context of sustainable development and public health: Russia and the world experience. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 467(1): 0121264.
12. Rakitskiy V.N., Avaliani S.L., Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislitsin V.A. Health risk analysis related to exposure to ambient air contamination as a component in the strategy aimed at reducing global non-infectious epidemics. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (4): 30–4. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.03.eng>
13. Timofeeva S.S., Timofeev S.S. Ecological problems of Irkutsk from the point of view of students of the Irkutsk National Technical University. In: Zvyagintsev V.V., eds. *Technosphere Safety of the Baikal Region. Collection of Articles of the International Scientific and Practical Conference [Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Tekhnosfernaya bezopasnost' baykal'skogo regiona»]*. Chita; 2017: 108–15. (in Russian).
14. Lebedeva-Nesevrya N.A., Leukhina A.V. Satisfaction of the population with the state of the environment as a key indicator of the national project «Ecology». In: Popova A.Yu., Zaytseva N.V., ed. *Health Risk Analysis-2020 together with the International meeting on Environment and Health Rise-2020 and the Round Table on Food Safety: Proceedings of the X All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation [Analiz riska zdorov'yu – 2020 sovместno s mezhdunarodnoy vstrechey po okruzhayushchey srede i zdorov'yu Rise-2020 i kruglym stolom po bezopasnosti pitaniya: materialy X Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Perm'; 2020: 296–300. (in Russian)
15. Polichetti G., Cocco S., Spinali A., Trimarco V., Nunziata A. Effects of particulate matter (PM 10, PM 2.5 and PM 1) on the cardiovascular system. *Toxicology*. 2009; 261(1–2): 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.04.035>
16. Putaud J.P. A European aerosol phenomenology – 3: Physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and roadside sites across Europe. *Atmos. Environ.* 2010; 44(10): 1308–20.
17. Sarovar V., Malig B.J., Basu R. A case-crossover study of short-term air pollution exposure and the risk of stillbirth in California, 1999–2009. *Environ. Res.* 2020; 191: 110103. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110103>
18. Solomin V.A., Shabanov A.V., Shabanov A.A., Kilyushnik V.M., Mladenskiy A.V. Analysis of methods and means of ecological control of harmful emissions of exhaust gases of automobiles. *Izvestiya MGTU MAMI*. 2016; (4): 82–9. (in Russian)
19. Pichugin Yu.A. Environmental quality monitoring and multidimensional statistical analysis. *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2012; (2): 101–5. (in Russian)
20. Zaytseva N.V., Shur P.Z., Chetverkina K.V., Khasanova A.A. Developing methodical approaches to substantiating average annual maximum permissible concentrations of hazardous substances in ambient air in settlements as per acceptable health risk. *Analiz riska zdorov'yu*. 2020; (3): 39–48. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.05.eng>
21. Brunekreef B. Environmental epidemiology and risk assessment. *Toxicol. Lett.* 2008; 180(2): 118–22. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2008.05.012>
22. Zemlyanova M.A., Zaytseva N.V., Tikhonova I.V. Assessment of the informativeness of indicators of potential risk and actually caused harm to health in conditions of negative effects of a chemical factor. In: Popova A.Yu., Zaytseva N.V., ed. *Health Risk Analysis-2020 together with the International meeting on Environment and Health Rise-2020 and the Round Table on Food Safety: Proceedings of the X All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation [Analiz riska zdorov'yu – 2020 sovместno s mezhdunarodnoy vstrechey po okruzhayushchey srede i zdorov'yu Rise-2020 i kruglym stolom po bezopasnosti pitaniya: materialy X Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Perm'; 2020: 123–129 (in Russian).
23. Identifying the environmental cause of disease: how should we decide what to believe and when to take action? London: Academy of Medical Sciences; 2007. Available at: <https://acmedsci.ac.uk/file-download/34586-A5WebRea.pdf>