



Показатели риска и вреда здоровью населения в системе новых механизмов мониторинга и управления качеством воздуха

И.В. Май, Н.В. Зайцева

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», ул. Монастырская, д. 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация

Резюме

Введение. Рассмотрены основные законодательные и методические аспекты модернизации системы управления качеством атмосферного воздуха в стране.

Цель: обобщение опыта применения процедуры оценки риска и вреда здоровью в системе новых механизмов мониторинга и управления качеством воздуха.

Материалы и методы. Использованы результаты сводных расчетов рассеивания выбросов по 12 городам – участникам проекта «Чистый воздух» (от 1,5 до 6,5 тыс. источников по городу) и результаты оценки риска здоровью при воздействии загрязнений воздуха. Выполнен анализ результатов углубленных медико-биологических исследований (порядка 2 тыс. химических, иммунологических, клинических анализов, проведенных в период 2020–2022 гг.) в зонах влияния объектов горнодобывающей и химической промышленности и на территориях вне зон влияния.

Основные результаты. Показано, что в городах, включенных в эксперимент по внедрению новых методов управления выбросами, риски оцениваются как неприемлемые, достигая в ряде случаев уровня «очень высокий» в отношении органов дыхания, систем крови и кроветворных органов, костно-мышечной системы и пр. Обоснованы перечни приоритетных веществ для мониторинга и квотирования и перечни приоритетных объектов, формирующих неприемлемые риски. Показано, что оценка вреда здоровью как показателя реализации рисков в конкретных условиях может являться дополнительным доказательством опасного воздействия загрязнения внешней среды на здоровье населения. Для развития действующей нормативно-методической базы системы мониторинга и нормирования предложена принципиальная схема включения оценки риска и вреда здоровью в систему управления качеством атмосферного воздуха.

Выводы. Процедуры оценки риска и вреда здоровью представляются важной составной частью управления качеством воздуха. Результаты таких оценок обеспечивают адекватность программ мониторинга реальной ситуации, повышают адресность и корректность принимаемых управляющих действий и гарантируют оптимальное достижение основной цели управления – сохранения здоровья населения, безопасности и комфортности среды обитания.

Ключевые слова: источники выбросов, атмосферный воздух, риск, вред для здоровья, квотирование, управление.

Для цитирования: Май И.В., Зайцева Н.В. Показатели риска и вреда здоровью населения в системе новых механизмов мониторинга и управления качеством воздуха // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 10. С. 7–15. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-10-7-15>

Сведения об авторах:

✉ **Май Ирина Владиславовна** – д.б.н., профессор, заместитель директора по научной работе; e-mail: may@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>.

Зайцева Нина Владимировна – акад. РАН, д.м.н., профессор, научный руководитель; e-mail: znv@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Зайцева Н.В., Май И.В.*; сбор и обработка материала: *Май И.В.* анализ и интерпретация результатов: *Май И.В.*; обзор литературы: *Май И.В.*; подготовка проекта рукописи: *Зайцева Н.В., Май И.В.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Финансирование: исследование выполнено при финансировании научных работ в рамках федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология».

Конфликт интересов: соавтор статьи Зайцева Н.В. является членом редакционной коллегии научно-практического журнала «Здоровье населения и среда обитания», остальные авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья получена: 26.08.22 / Принята к публикации: 03.10.22 / Опубликовано: 14.10.22

Population Health Risk and Harm Indicators in the System of New Mechanisms for Air Quality Monitoring and Management

Irina V. May, Nina V. Zaitseva

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

Summary

Introduction: The article dwells on major legislative and methodical aspects related to the latest update of the system for air quality management in the country.

Objective: To summarize the experience in applying the health risk assessment procedure to the system of new mechanisms for ambient air quality monitoring and management.

Materials and methods: The study relied on the results obtained by summary estimates of dispersion of emissions from 1.5 to 6.5 thousand sources per city and health risk assessment in twelve cities included in the Federal Clean Air Project. We also analyzed the results of biomedical studies (about two thousand chemical, immunological, and clinical tests done in 2020–2022) in and outside the zones of influence of mining and chemical industries.

Results: Health risks were estimated as unacceptable in the cities included in the experiment on introducing new emission control technologies. In some cases, risks were rated as “very high” for diseases of the respiratory system, blood and blood-forming organs, musculoskeletal system, etc. We substantiated the lists of priority pollutants for emission monitoring and quoting and the lists of priority objects generating unacceptable risks. We demonstrate that the evaluation of health damage as an indicator of realized risks under certain circumstances can serve as yet another evidence of adverse health effects of environmental pollution. We suggest a fundamental algorithm for including the assessment of human health risks and damages into the system of air quality management for elaboration of the existing regulatory and methodological framework of monitoring and standardization.

Conclusions: The procedures of assessing health risks and damages are a significant component of air quality management. Their results ensure adequacy of the monitoring programs to the current situation, make managerial actions more targeted and precise, and guarantee optimal achievement of the major goal to preserve public health through safe and comfortable environment.

Keywords: emission sources, ambient air, risk, harm to health, quoting, management.

For citation: May IV, Zaitseva NV. Population health risk and harm indicators in the system of new mechanisms for air quality monitoring and management. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(10):7–15 (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-10-7-15>

Author information:

✉ Irina V. May, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Deputy Director for Research; e-mail: may@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>.

Nina V. Zaitseva, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Med.), Professor, Scientific Director; e-mail: znv@fcrisk.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>.

Author contributions: study conception and design: Zaitseva N.V., May I.V.; data collection and processing: May I.V.; analysis and interpretation of results: May I.V.; literature review: May I.V.; draft manuscript preparation: Zaitseva N.V., May I.V. Both authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Ethics approval was not required for this study.

Funding: The study was conducted as part of the research work within the framework of the Federal Clean Air Project of the National Ecology Project.

Conflict of interest: The coauthor of the article Nina V. Zaitseva is the Member of the Editorial Board of the journal *Public Health and Life Environment*; the first author declares that there is no conflict of interest

Received: August 26, 2022 / Accepted: October 3, 2022 / Published: October 14, 2022

Введение. Загрязненный атмосферный воздух крупных городов страны был и остается важным фактором риска для здоровья населения. Данное положение доказано многочисленными отечественными и зарубежными исследованиями [1–7]. Растет понимание того, что загрязнение атмосферы влияет на медико-демографические показатели — смертность, заболеваемость и продолжительность жизни населения [5, 6], а в ряде случаев является причиной повышенной социальной напряженности и снижения привлекательности города как места постоянного жительства [7].

Улучшение качества воздуха на селитебных территориях достигается комплексом регулирующих действий: модернизацией промышленных предприятий с переходом на наилучшие достижимые технологии; совершенствованием автотранспортных средств и моторного топлива; оптимизацией транспортных схем городов; применением новых архитектурно-планировочных решений и т. п. Однако на текущий момент установление допустимых выбросов для хозяйствующих субъектов с императивным требованием достижения установленных уровней воздействия остается в России одним из наиболее применяемых инструментов.

Вступление 01.11.2019 в силу Федерального закона Российской Федерации № 195-ФЗ «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ...»¹ и реализация федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология» сделало возможным научное обоснование и одновременно апробацию на практике новых инструментов управления качеством атмосферного воздуха.

Задача квотирования как механизма регулирования выбросов — получить значимое сокращение выбросов приоритетных опасных веществ в атмосферу городов с высокими и очень высокими уровнями загрязнения воздуха. Впервые в практике определения допустимых выбросов на законодательном уровне определено, что регулированию подлежат примеси, выбросы которых не только влияют на превышение гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха, но и «создают риски для здоровья человека» (статья 3 Федерального закона № 195-ФЗ).

Включение процедуры оценки риска для здоровья в задачу управления качеством воздуха в полной мере соответствует лучшей мировой

практике, которая на сегодня закреплена в документе Всемирной организации здравоохранения «Оценка риска для здоровья от загрязнения воздуха. Общие принципы»² и применяется в ряде стран [8, 9]. Инструмент, несомненно, обеспечивает большую адресность управляющих действий и оптимизацию финансовых затрат на достижение основных целей управления.

В течение 2019–2021 гг. оценка аэрогенного риска для здоровья была выполнена рядом научных организаций Роспотребнадзора в городах, вошедших в федеральный проект (Братск, Красноярск Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец, Чита) [10–12]. Накоплен определенный опыт в оценке риска для задач квотирования, выявлен ряд проблем в его использовании и одновременно определены перспективы совершенствования.

Параллельно с интеграцией методологии оценки риска в задачи управления качеством воздуха развивается и научное направление, связанное с оценкой и доказательством вреда здоровью при воздействии внешнесредовых факторов [13, 14]. Вред рассматривается как реализованный риск, как событие совершившееся (в отличие от риска, который являет собой вероятностную величину). Сопряжение исследований риска и вреда здоровью формирует новое знание о зависимостях в системе «среда — здоровье», позволяет корректировать управляющие действия по обеспечению безопасности и санитарно-эпидемиологического благополучия населения. При этом создается система аргументов и требований к определенным хозяйствующим субъектам по разработке и проведению мероприятий по защите среды обитания и здоровья населения. Такими аргументами являются: идентификация и количественное определение в биологических средах и тканях человека маркеров экспозиции и маркеров ответов на определенные виды воздействия; достоверно повышенная частота заболеваний, патогенетически связанных с фактором риска, неспецифичность течения этого заболевания у группы лиц из зон воздействия и т. п. [15, 16].

В целом представляется, что современный этап трансформации правил и порядка управления качеством воздуха, в том числе через реализацию федерального проекта «Чистый воздух», крайне

¹ Федеральный закон Российской Федерации № 195-ФЗ «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха». [Электронный ресурс.] // КонсультантПлюс. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_329955/ (дата обращения: 10.08.2022).

² Оценка риска для здоровья от загрязнения воздуха — общие принципы. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ; 2016 год. [Электронный ресурс.] Режим доступа: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/300876/Health-risk-assessment-air-pollution-General-principles-ru.pdf (дата обращения: 08.07.2022).

удачен для построения системы сопряжения расчетов рассеивания, инструментальных измерений, оценки риска и вреда здоровью. Такая система могла бы рассматриваться как надежная информационная основа для выработки оптимальных решений по кардинальному улучшению качества воздуха и здоровья населения на проблемных территориях.

Цель настоящего исследования состояла в обобщении опыта применения процедуры оценки риска и вреда здоровью в системе новых механизмов мониторинга и управления качеством воздуха.

Материалы и методы. В качестве исходной информации об источниках рисков во всех городах проекта использовали сводные базы данных параметров стационарных и передвижных источников выбросов, переданные Министерством природных ресурсов и экологии в адрес Роспотребнадзора. Базы данных по каждому городу были максимально полными. Так, базы данных содержали параметры 1627 источников в г. Братске (суммарный выброс порядка 127,2 тыс. тонн/год), 6,4 тыс. источников в г. Красноярске (190,0 тыс. тонн/год); 2145 источников в г. Норильске (1900 тыс. тонн/год) и т. д.³ Расчеты приземных концентраций, формируемые выбросами предприятий, автотранспорта, автономных источников теплоснабжения, выполняли с помощью унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы «Эколог-Город» 4.60.1 с блоком расчета «Средние». Программы реализуют методы атмосферной диффузии, утвержденные к применению в Российской Федерации⁴. Метеофайлы для определения среднегодовых концентраций примесей поступали по запросу из Главной геофизической обсерватории им. Воейкова.

По каждому городу был проведен сбор исходной картографической информации в векторном формате. На цифровых картах были атрибутированы жилые здания, улично-дорожная сеть, промышленные площадки, водные объекты.

В ряде городов расчеты риска выполняли в реперных точках и/или по регулярной сетке (Липецк, Омск, Медногорск, Челябинск, Нижний Тагил). В Братске, Красноярске, Чите, Норильске расчет приземных концентраций загрязняющих веществ проводили в точках, соответствующих геометрическим центрам жилых строений. Выбранный подход несколько осложнял стадию ввода данных для расчета, однако давал целый ряд преимуществ: обеспечивал максимально полный учет воздействия на население, позволял устранить попадание точек на промышленные площадки, дороги, водные объекты и повысить корректность оценок воздействия; допускал возможность оценивать риск даже в зонах с минимальной плотностью застройки.

В каждой расчетной точке во всех городах были определены максимальные разовые и среднегодовые концентрации загрязняющих веществ и не менее 20 наибольших вкладов отдельных источников в каждую из концентраций.

Расчет показателей риска проводили в соответствии с Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду»⁵ с учетом актуальных данных о референтных уровнях воздействия и критических органах и системах. Оценку риска выполняли путем последовательной реализации всех необходимых этапов: идентификация опасности, оценка экспозиции, выбор зависимостей «экспозиция – ответ», характеристика риска.

Канцерогенный риск для здоровья выражали через величины риска при условии пожизненной экспозиции. Неприемлемым считали риск выше 1×10^{-4} . Канцерогенный риск выше 1×10^{-3} характеризовали как неприемлемый, высокий.

Неканцерогенный риск для здоровья выражали через коэффициенты и индексы опасности при остром и хроническом воздействии. Индекс опасности (hazard index, HI) в отношении отдельных поражаемых органов и систем при $HI > 3,0$ рассматривали как неприемлемый. При уровне HI от 3,0 до 6,0 риск определяли каксторажающий; при уровне $HI > 6,0$ – как высокий⁶. По результатам оценки риска формировали перечень приоритетных примесей, оказывающих наибольшее негативное влияние на здоровье населения. Приоритетные примеси рекомендовали для задач квотирования, экологического и социально-гигиенического мониторинга.

К приоритетным относили примеси, которые: а) по данным расчетов рассеивания формировали приземные концентрации выше ПДКм.р. (при расчете кратковременного воздействия экспозиции на неблагоприятные метеорологические условия) и/или выше ПДКс.г.; б) характеризовались индивидуальными коэффициентами опасности (HQ) $> 1,0$; в) входили в список примесей, формирующих в сумме более 95 % неприемлемого риска для здоровья в отношении критических органов или систем.

Вклад отдельного объекта (предприятия, автотранспорта, автономного источника теплоснабжения) в показатели риска определяли как взвешенное среднее вкладов предприятия во всех расчетных точках на территории.

Интегральную оценку вкладов отдельных объектов в показатели риска здоровью населения для города в целом проводили через взвешенное осреднение по всем точкам. Расчет интегрального вклада объектов в индекс опасности проводили только для зон неприемлемого риска отдельно для

³ По данным отчета о выполнении работ «Формирование сводных расчетов 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». – СПб.: АО «НИИ Атмосфера», 2020.

⁴ Приказ Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» (зарегистрировано в Минюсте России 10.08.2017 № 47734).

⁵ Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска при воздействии веществ, загрязняющих окружающую среду». М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с. [Электронный ресурс.] Режим доступа: https://lawrussia.ru/bigtexts/law_553/index.htm (дата обращения: 08.07.2022).

⁶ 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 от 02.12.2019. [Электронный ресурс.] Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_415503/ (дата обращения: 08.07.2022).

каждого критического органа или системы. По результатам оценки вкладов определяли приоритетные объекты, формирующие неприемлемые риски для здоровья населения как в целом по городу, так и в локальных зонах неприемлемого риска.

Расчет риска верифицировали данными углубленных медико-биологических исследований (порядка 2 тыс. химических, иммунологических, клинических анализов), выполненных в период 2020–2022 гг. в городах — участниках проекта. Исследовали состояние здоровья более 1,2 тыс. человек, постоянно проживающих в зонах влияния объектов горнодобывающей и химической промышленности и на территориях сравнения (вне зон влияния промышленных источников выбросов).

Основные результаты. Во всех исследованных городах были выявлены уровни аэрогенного риска того или иного вида, которые характеризовались как неприемлемые. В качестве примера в табл. 1 приведены результаты оценки канцерогенного и неканцерогенного риска нарушения функций ряда критических органов и систем в 6 из 12 городов федерального проекта.

Из приведенных данных видно, что специфика загрязнения города определяет и спектр нарушений здоровья, и уровни риска. При этом в Челябинске и Нижнем Тагиле пожизненный канцерогенный риск достигал в отдельных микрорайонах города уровня, превышающего $1,0 \times 10^{-3}$ (риск высокий), что по международной классификации неприемлемо не только для населения, но даже для работающих лиц.

Кроме приведенных в таблице поражаемых органов и систем в отдельных городах зафиксирован неприемлемый хронический риск в отношении болезней костно-мышечной системы (Братск, Красноярск — риск в отдельных зонах до 8,2 НІ); системных нарушений (Братск, НІ_{max} = 5,8) и т. п. Установлены неприемлемые уровни риска и при кратковременном (остром) воздействии. Так, в Череповце отмечены острые риски на уровне выше НІ = 3,0 в отношении иммунной системы, развития потомства, крови. В Братске острый риск системных нарушений достигал величины 27,4 НІ. В Красноярске острые риски фиксировали в отношении болезней органов дыхания (до 9,3 НІ), системных нарушений (до 7,8 НІ); болезней крови (до 23,3 НІ); иммунной системы (до 24,2 НІ) и т. п.

Определено, что в зонах неприемлемого риска проживает от 6,0 % (г. Череповец) до 100 % населения (г. Норильск). В целом в 12 городах,

включенных в федеральный проект, в зонах того или иного риска для здоровья проживает почти 2 млн человек.

Полученные данные являются неоспоримым свидетельством необходимости совершенствования системы управления качеством воздуха на территории и активизации действий по минимизации негативного воздействия на население.

На всех территориях были определены опасные химические компоненты выбросов, которые вносили наибольшие вклады в неприемлемый риск и рассматривались как приоритеты для первоочередного квотирования. Примеры перечня опасных (приоритетных) примесей приведены в табл. 2.

В целом по городам прослеживается общая тенденция — диоксид азота и сумма пылей вошли в список приоритетов на всех территориях. Выражена также значимость сокращения выбросов металлов (соединений никеля, меди, хрома). Кроме указанных в таблице веществ на каждой территории выделено от 5 до 20 «индивидуальных» приоритетов — примесей, характерных для данной территории и отражающих специфику городских промышленных или иных объектов.

В исследованиях были определены приоритетные хозяйствующими объектами и/или объектами инфраструктуры, которые вносили основные вклады в неприемлемые уровни воздействия на население. Среди таких объектов: ПАО «Северсталь», «Вагоноремонтная компания» (г. Череповец); АО «РУСАЛ Красноярский алюминиевый завод», ТЭЦ-3 и ТЭЦ-2 (г. Красноярск); ПАО «РУСАЛ-Братск», Филиал АО «Группа «Илим», ТЭЦ-6 и ТЭЦ-7 (г. Братск); ООО «Челябинский завод по производству коксохимической продукции», ПАО «Челябинский металлургический комбинат», ПАО «Фортум», ТЭЦ-1, ПАО «Челябинский трубопрокатный завод», (г. Челябинск); ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»» (г. Норильск); АО «ЕВРАЗ НТМК», АО «НПК «Уралвагонзавод», ОАО «Высокогорский ГОК», ПАО «Уралхимпласт» (г. Нижний Тагил) и другие.

Во всех городах транспорт определен как существенный источник рисков для здоровья населения. В городах восточной части страны, где энергетика ориентирована на твердое топливо и в жилой застройке высокая доля частного сектора (Красноярск, Братск, Чита), автомобильные источники теплоснабжения также рассматриваются как локальные приоритеты.

Обсуждение. На основании результатов оценки риска даны рекомендации по совершенствованию

Таблица 1. Диапазон уровней аэрогенного риска для здоровья в условиях длительного хронического загрязнения атмосферы (по расчетным данным на 2017 г.)

Город / City	Диапазон параметров аэрогенного для здоровья / Ranges of health risks from air pollutants				
	Пожизненный канцерогенный риск / Lifetime carcinogenic risk	Риск болезней органов дыхания, НІ / Risk of respiratory diseases, HI	Риск болезней нервной системы, НІ / Risk of diseases of the nervous system, HI	Риск болезней крови, НІ / Risk of diseases of the blood, HI	Риск нарушения развития потомства, НІ / Developmental disorders in the offspring, HI
Череповец / Cherepovets	$6,7 \times 10^{-6} \dots 3,4 \times 10^{-4}$	0,27–4,83	0,22–5,33	0,06–5,4	< 1,0
Липецк / Lipetsk	$1,0 \times 10^{-6} \dots 3,0 \times 10^{-4}$	< 1,0–8,4	< 1,0–5,4	< 1,0–8,2	< 1,0
Братск / Bratsk	$1,1 \times 10^{-6} \dots 2,0 \times 10^{-5}$	0,66–6,03	< 1,0	1,02–5,82	1,12–5,39
Норильск / Norilsk	$2,1 \times 10^{-7} \dots 1,9 \times 10^{-5}$	3,35–42,2	< 1,0	1,0–5,42	< 1,0
Красноярск / Krasnoyarsk	$1,9 \times 10^{-5} \dots 3,8 \times 10^{-4}$	< 1,0–58,7	< 1,0–6,15	< 1,0–58,4	< 1,0
Чита / Chita	$2,2 \times 10^{-6} \dots 5,7 \times 10^{-5}$	< 1–3,74	< 1,0	< 1,0	< 1,0–23,9

Таблица 2. Фрагмент перечней приоритетных химических веществ, вносящих до 95 % вклада в неприемлемые риски на территориях

Table 2. A fragment of the lists of priority airborne chemicals accounting for almost 95 % of unacceptable health risks in the study areas

Опасное вещество / Hazardous chemical	Братск / Bratsk	Норильск / Norilsk	Красноярск / Krasnoyarsk	Магнитогорск / Magnitogorsk	Медногорск / Mednogorsk	Новокузнецк / Novokuznetsk	Н. Тарул / Nizhny Tagil	Омск / Omsk	Челябинск / Chelyabinsk	Череповец / Cherepovets	Чита / Chita
Азота диоксид / Nitrogen dioxide	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Сумма пылей / Total suspended particles	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Никеля оксид / Nickel oxide		+					+		+	+	
Марганец и его соед. / Manganese and its compounds		+	+	+		+			+	+	
Хром (6+) / Chromium (6+)	+		+	+	+	+		+	+	+	+
Углерод (сажа) / Carbon (soot)	+	+	+	+		+		+		+	+
Сера диоксид / Sulfur dioxide	+		+			+	+	+	+		+
Бензол / Benzene	+		+	+		+	+			+	+
Бенз(а)пирен / Benzo(a)pyrene	+	+	+	+		+		+		+	+
Азота оксид / Nitrogen oxide	+		+	+						+	+
Фториды газообр. / Gaseous fluorides	+	+								+	
Углерода оксид / Carbon oxide			+	+			+			+	+
Керосин / Kerosene			+						+	+	
Акролеин / Acrolein		+	+								
Формальдегид / Formaldehyde			+	+						+	+
Меди оксид / Copper oxide			+	+	+				+		
Сероводород / Hydrogen sulfide			+			+		+		+	+

программ социально-гигиенического мониторинга и определены векторы нормирования (квотирования) выбросов. Рекомендации заключались в корректировке программ наблюдений за качеством воздуха с обязательным включением в них примесей, которые были определены как приоритеты. Кроме этого, указывалось на целесообразность проведения натурных исследований в полном объеме: не менее 75 суточных или 300 разовых измерений в течение года для корректных оценок риска, в том числе при анализе эффективности и результативности воздухоохраных мероприятий.

В ходе исследований были выявлены проблемы, которые предполагают дальнейшее развитие и совершенствование всей системы оценки риска для задач управления в форматах новых механизмов.

Так, было сделано предположение о существенной недооценке рисков для здоровья на ряде территорий. Предположение было вызвано значительными расхождениями между результатами расчетов рассеивания и данными инструментальных измерений на постах Росгидромета и постах социально-гигиенического мониторинга Роспотребнадзора. По таким веществам, как бенз(а)пирен, бензол, формальдегид, тяжелые металлы

(медь, хром, никель), расчетные величины нередко были существенно ниже фактически измеряемых. В целом ситуация подчеркивает важность повышения качества инвентаризации источников выбросов на территории, а также пересмотра и/или разработок методик определения состава и масс выбросов с учетом современных технологий и применяемых материалов.

Недооценка риска связана и с отсутствием полной и корректной информации о компонентном и дисперсном составе пылевой фракции выбросов. Результаты измерения мелкодисперсных пылей (PM₁₀, PM_{2,5}) свидетельствовали о значимом вкладе этих веществ в риск для здоровья населения (табл. 3).

Вместе с тем отсутствие данных о частицах размером менее 10 мкм в выбросах предприятий делает информацию о загрязнении не востребуемой в задачах управления. Последнее свидетельствует о необходимости принципиального изменения подходов к контролю и нормированию пылевых выбросов в целом и мелкодисперсных фракций в частности.

В ходе исследования была актуализирована проблема сопряженного анализа качества воздуха

Таблица 3. Результаты инструментальных измерений мелкодисперсных частиц PM_{2,5} в воздухе городов проекта «Чистый воздух» в 2021 г

Table 3. Results of instrumental measurements of ambient PM_{2.5} concentrations in some cities included in the Federal Clean Air Project in 2021

Город / City	Номер поста наблюдения / Monitoring site No.	Концентрация / Concentration		Доли RfC / % of RfC
		мг/м ³ / mg/m ³	Доли ПДКс.г. / % of average annual MPC	
Красноярск / Krasnoyarsk	210	0,100 ± 0,072	4,00 ± 2,88	6,67 ± 4,80
	209	0,100 ± 0,073	4,00 ± 3,00	6,67 ± 4,86
	140	0,096 ± 0,068	3,84 ± 2,72	6,40 ± 4,53
Норильск / Norilsk	203	0,010 ± 0,009	0,40 ± 0,36	0,67 ± 0,60
	156	0,034 ± 0,008	1,36 ± 0,32	2,07 ± 0,53

и величин установленного риска для здоровья с фактическими показателями заболеваемости населения и/или результатами специальных углубленных медико-биологических исследований. Данное положение объясняется несколькими причинами. Во-первых, на текущий момент оценка неканцерогенного риска по показателям индекса опасности не дает возможности получить количественные параметры популяционного риска, т. е. определить долю заболеваний, ассоциированных с факторами аэрогенного риска, в общей заболеваемости населения. Во-вторых, крайне востребованной является задача доказательного выделения зон и уровней ответственности конкретных хозяйствующих субъектов в риски для здоровья.

Инструменты и способы формирования доказательной базы ассоциированности заболеваний с качеством воздуха отрабатываются. Накапливаются данные о маркерах экспозиции и маркерах ответа, которые позволяют убедительно демонстрировать негативное воздействие конкретных загрязнителей и выполнять количественные оценки реального вреда здоровью [17–21]. В качестве примера в табл. 4 приведены результаты количественного определения ряда химических примесей в крови детей, постоянно проживающих в зоне влияния крупного промышленного узла с предприятиями горно-перерабатывающего и химического профилей.

В качестве энергетического сырья предприятия используют твердое топливо. Характерными, маркерными для промзла являются выбросы бен(а)пирена, марганца, алюминия. Именно данные примеси были зарегистрированы в биосредах экспонированных детей на уровнях, достоверно более высоких, чем в группе сравнения. Дети из группы сравнения постоянно проживали на территории вне зон влияния промышленных объектов. Прочие показатели (половозрастные, социально-экономические, климатические и др.) были сопоставимы в обеих группах.

Приведенные данные — только одно из звеньев системы установления вреда. Цепочка доказа-

тельств предполагает направленные исследования, включающие функциональные тесты, общие клинические, биохимические, иммунологические исследования, а также глубокую математическую обработку данных с выявлением достоверных связей уровней экспозиции с различными показателями состояния здоровья и/или их комплексом.

Анализ комплекса нарушений выполняется в сопряжении с результатами врачебных осмотров и историей заболеваний ребенка. Таким образом выстраивается вся система элементов доказательной базы, которая позволяет оценить вклад заболеваний, ассоциированных с загрязнением воздуха, в общую заболеваемость населения.

В ряде случаев использование эпидемиологических методов и углубленных медико-биологических исследований позволяет выявить факторы аэрогенного риска, которые не определяются как приоритеты на стадии расчетной оценки [21, 22].

Накопленный опыт и выявленные проблемы позволили предложить принципиальную схему (алгоритм) включения оценки риска и показателей вреда здоровью в систему управления качеством воздуха, которая приведена на рисунке.

Отдельными элементами алгоритма являются: сопряженный анализ расчетных и натуральных данных для повышения корректности и надежности оценки риска; верификация и уточнение результатов оценки риска, перечней приоритетных веществ и приоритетных объектов по итогам данных эпидемиологических и/или углубленных специальных медико-биологических исследований. Важной составляющей алгоритма является оценка остаточного риска после проведения природоохранных мероприятий, а также верификация результативности предпринятых мер данными о динамике изменения показателей состоянии здоровья населения, особенно в импактных зонах — зонах влияния объектов, на которых выполнялись мероприятия.

Несомненно, результаты, получаемые при сопряженном анализе риска и вреда здоровью,

Таблица 4. Содержание химических соединений в крови и моче детей из зоны экспозиции и вне зон влияния выбросов промпредприятий

Table 4. Chemicals in blood and urine of children exposed and unexposed to industrial emissions

Опасное вещество / Hazardous chemical	Группа наблюдения (n = 302) / Exposed cohort (n = 302)	Группа сравнения (n = 136) / Unexposed cohort (n = 136)	Частота регистрации отклонений от среднего уровня группы сравнения / Frequency of deviations from the average in the unexposed cohort			Межгрупповое различие по средним / Intergroup differences, p
	M ± m, мкг/см³ / M ± m, µg/cm³	M ± m, мкг/см³ / M ± m, µg/cm³	n (%) выше группы сравнения / above the average	n (%) на уровне группы сравнения / equal to the average	n (%) ниже группы сравнения / below the average	
Кровь / Blood						
Бенз(а)пирен / Benzo(a)pyrene	0,0081 ± 0,0014	0,0050 ± 0,0013	134 (48)	0	143 (52)	0,00
Марганец / Manganese	0,015 ± 0,001	0,013 ± 0,001	128 (42)	53 (18)	121 (40)	0,04
Никель / Nickel	0,0115 ± 0,0010	0,0092 ± 0,0011	133 (44)	33 (11)	136 (45)	0,00
Свинец / Lead	0,0127 ± 0,0007	0,0132 ± 0,0010	86 (29)	43 (14)	173 (57)	0,40
Фенол / Phenol	0,0146 ± 0,0038	0,0124 ± 0,0055	55 (38)	0	90 (62)	0,52
Этилбензол / Ethylbenzene	0,0006 ± 0,0004	0,0002 ± 0,0002	19 (7)	248 (93)	0	0,09
Ванадий / Vanadium	0,0006 ± 0,00004	0,0006 ± 0,00005	95 (32)	67 (22)	140 (46)	0,56
Хром / Chromium	0,0076 ± 0,0006	0,0062 ± 0,0004	134 (44)	27 (9)	141 (47)	0,00
Моча / Urine						
Алюминий / Aluminum	0,007 ± 0,0007	0,005 ± 0,0005	166 (56)	46 (15)	87 (29)	0,00

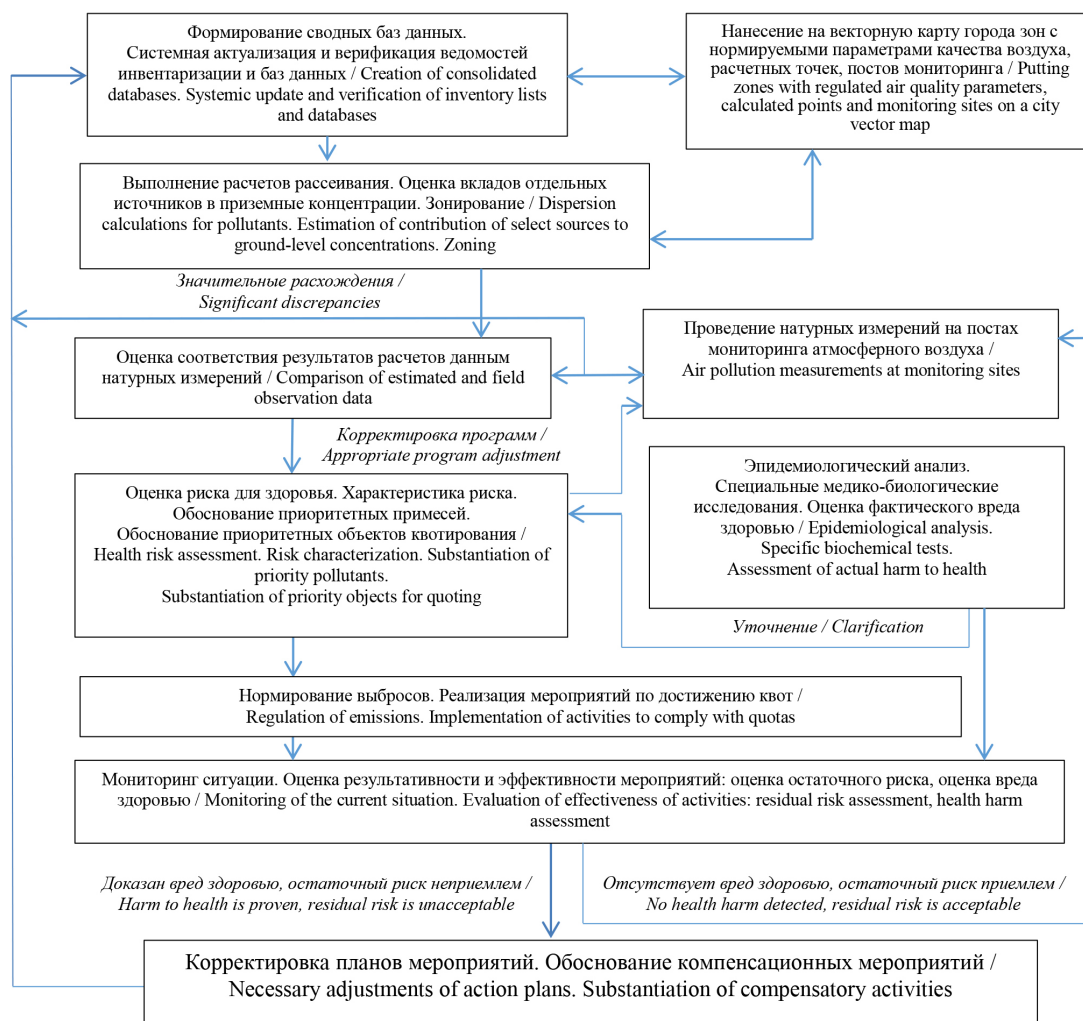


Рисунок. Принципиальная схема включения оценки риска и вреда здоровью в систему управления качеством воздуха
Figure. The fundamental algorithm for including the assessment of health risks and damages in the air quality management system

могут существенно повысить адекватность принимаемых решений на всех уровнях (объектовом, муниципальном, региональном). Такой анализ позволяет избежать ситуаций, когда завышение, переоценка рисков ведет к необоснованным затратам на воздухоохраные мероприятия, а недооценка риска — к отсутствию ожидаемых позитивных эффектов со стороны здоровья населения при реализации проекта.

Представляется важным и этап, который по итогам анализа результативности и эффективности мероприятий предполагает выводы и о целесообразности и обоснованности компенсационных мероприятий, в том числе медико-профилактического характера, которые могли бы обеспечивать защиту населения до момента достижения уровней приемлемого риска или отсутствия регистрации случаев причинения вреда здоровью.

Выводы

1. Новые подходы к нормированию выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух являются собой важный шаг в сторону учета показателей здоровья человека при ограничении негативного воздействия источников выбросов в воздух. Основная позитивная инновация — применение методологии оценки риска при выборе приоритетных веществ и обосновании priori-

тетных объектов для последующего квотирования выбросов.

2. Накопленный опыт свидетельствует о необходимости повышения требований к качеству инвентаризации источников выбросов. Представляется целесообразным совершенствование учета твердых компонент выбросов с выделением мелкодисперсных фракций PM₁₀, PM_{2,5} как наиболее опасной части пыли. Все это позволит сделать оценку риска более надежной и адекватной реальной ситуации.

3. Крайне существенным элементом системы управления качеством воздуха является сопряженный анализ результатов расчетов рассеивания и данных инструментальных измерений на территории с ориентацией программ мониторинга на приоритетные факторы и одновременно учет данных измерений при оценке корректности ведомостей инвентаризаций предприятий.

4. Обязательным элементом системы управления качеством воздуха представляется оценка остаточного риска после выполнения как отдельных природоохранных мероприятий, так и комплексных планов в целом.

5. Оценка исходного уровня риска и достижение приемлемого риска должны подкрепляться эпидемиологическими данными на территории и

результатами углубленных медико-биологических исследований, цель которых — формирование надежной доказательной базы отсутствия или сохранения вреда здоровью населения в условиях сокращения выбросов до целевого уровня, установленного экологическими нормами.

6. В целом применение в задачах управления качеством воздуха комплекса процедур оценки риска и вреда здоровью обеспечивает адекватность программ мониторинга реальной ситуации, повышает адресность и корректность принимаемых управляющих действий и гарантирует оптимальное достижение основной цели управления — сохранения здоровья населения, безопасности и комфортности среды обитания.

Список литературы

1. Brunekreef B. Environmental epidemiology and risk assessment. *Toxicol Lett.* 2008;180(2):118–122. doi: 10.1016/j.toxlet.2008.05.012
2. Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Авалиани С.Л., Синицына О.О., Шашина Т.А. Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения и пути ее совершенствования // Анализ риска здоровью. 2015. № 2. С. 4–11.
3. Мамырбаев А.А., Сакебаева Л.Д., Сабырахметова В.М., Карашова Г.И., Шаяхметова К.Н., Умарова Г.А. Оценка риска неканцерогенных эффектов загрязнения атмосферного воздуха на селитебных территориях города Уральска // Медицинский журнал Западного Казахстана. 2016. № 1 (49). С. 82–88.
4. Кокоулина А.А., Балашов С.Ю., Загороднов С.Ю., Кожурников Д.Н. Гигиеническая оценка объектов добычи, подготовки и первичной переработки нефти с учетом показателей риска для здоровья // Медицина труда и промышленная экология. 2016. № 12. С. 34–38.
5. Kliucininkas L, Velykienė D. Environmental health damage factors assessment in brownfield redevelopment. *WIT Transactions on Biomedicine and Health.* 2009;14:179–186. doi: 10.2495/EHR090181
6. Бадмаева С.Э., Циммерман В.И. Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха городов Красноярского края // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 2 (101). С. 27–32.
7. Азаров В.Н., Сидякин П.А., Лопатина Т.Н., Николенько Д.А. Техногенное загрязнение атмосферного воздуха и его влияние на социально-экологическое благополучие городов-курортов Кавказских Минеральных Вод // Социология города. 2014. № 1. С. 28–37.
8. Oganyan NG. Measurement uncertainty and corresponding risk of false decisions. *J Phys: Conf Ser.* 2019;1420:012003. doi: 10.1088/1742-6596/1420/1/012003
9. 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. С. 30–36. doi: 10.21668/health.risk/2019.4.03
10. Крига А.С., Никитин С.В., Овчинникова Е.Л. и др. О ходе реализации федерального проекта «Чистый воздух» на территории города Омска // Анализ риска здоровью. 2020. № 4. С. 31–45. doi: 10.21668/health.risk/2020.4.04
11. Клейн С.В., Попова Е.В. Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха г. Читы — приоритетной территории федерального проекта «Чистый воздух» // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 12 (333). С. 16–22. doi: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-16-22
12. Ярушин С.В., Кузьмин Д.В., Шевчик А.А. 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. 2020. № 9 (330). С. 48–60. doi: 10.35627/22195238/202033094860
13. Май И.В., Зайцева Н.В., Клейн С.В., Седусова Э.В. Установление и доказательство вреда здоровью гражданина, наносимого негативным воздействием факторов среды обитания // Здоровье населения и среда обитания. 2013. № 11 (248). С. 4–6.
14. Зайцева Н.В., Жданова-Заплесвичко И.Г., Землянова М.А., Пережогин А.Н., Савиных Д.Ф. Опыт организации и проведения санитарно-эпидемиологических исследований по выявлению и доказательству связи нарушений здоровья населения с качеством атмосферного воздуха в зонах влияния хозяйствующих субъектов // Здоровье населения и среда обитания. 2021. № 1 (334). С. 4–15. doi: 10.35627/2219-5238/2021-334-1-4-15
15. Valina SL, Shtina IE, Maklakova OA, Ustinova OYu, Einfeld DA. Regularities in diseases of the musculoskeletal system developing in schoolchildren under complex exposure to environmental factors and factors related to lifestyle. *Health Risk Analysis.* 2021;(3):54–66. doi: 10.21668/health.risk/2021.3.05.eng
16. Штина И.Е., Валина С.Л., Луещкий К.П., Зенина М.Т., Устинова О.Ю. Внешнесредовая контаминация металлами как фактор риска развития аутоиммунного тиреоидита у детей в зонах влияния выбросов металлургических предприятий // Анализ риска здоровью. 2021. № 4. С. 58–64. doi: 10.21668/health.risk/2021.4.06
17. Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Ханхарева С.С., Болошинова 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. Т. 96. № 11. С. 1038–1044. doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-11-1038-1044
18. Chetverkina KV. On determination of reference chloroform content in children's blood. *Health Risk Analysis.* 2018;(3):85–93. doi: 10.21668/health.risk/2018.3.09
19. Forbes LJL, Patel MD, Rudnicka AR, et al. Chronic exposure to outdoor air pollution and markers of systemic inflammation. *Epidemiology.* 2009;20(2):245–253. doi: 10.1097/EDE.0b013e318190ea3f
20. Rajagopalan S, Al-Kindi SG, Brook RD. Air pollution and cardiovascular disease: JACC state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol.* 2018;72(17):2054–2070. doi: 10.1016/j.jacc.2018.07.099
21. Долгих О.В., Отавина Е.А., Кривцов А.В. и др. Иммунологические маркеры нарушения здоровья детей, проживающих в условиях загрязнения атмосферного воздуха алюминием // Здоровье населения и среда обитания. 2019. № 2 (311). С. 15–18. doi: 10.35627/2219-5238/2019-311-2-15-18
22. Землянова М.А., Зайцева Н.В., Кольдибекова Ю.В., Булатова Н.И. Выявление омик-маркеров негативных эффектов со стороны нервной системы у детей в условиях сочетанного воздействия аэрогенного химического фактора и условий образовательной среды // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 5 (326). С. 12–17. doi: 10.35627/2219-5238/2020-326-5-12-17

References

1. Brunekreef B. Environmental epidemiology and risk assessment. *Toxicol Lett.* 2008;180(2):118–122. doi: 10.1016/j.toxlet.2008.05.012
2. Rakhmanin YA, Novikov SM, Avaliani SL, Sinitsyna OO, Shashina TA. Actual problems of environmental factors risk assessment on human health and ways to improve it. *Health Risk Analysis.* 2015;(2):4–9. (In Russ.)
3. Mamyrbayev AA, Sakebaeva LD, Sabyrakhmetova VM, Karashova GI, Shayakhmetova KN, Umarova GA. Assessment of risk of non-carcinogenic effects due to the pollution of atmospheric air in residential areas of Uralsk city. *Meditsinskiy Zhurnal Zapadnogo Kazakhstana.* 2016;(1(49)):82–88. (In Russ.)
4. Kokoulina AA, Balashov SYu, Zagorodnov SYu, Koshurnikov DN. Hygienic evaluation of objects

- concerning extraction, preparation and primary processing of oil, considering health risk parameters. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2016;(12):34–38. (In Russ.)
5. Kliucininkas L, Velykienė D. Environmental health damage factors assessment in brownfield redevelopment. *WIT Transactions on Biomedicine and Health*. 2009;14:179–186. doi: 10.2495/EHR090181
 6. Badmaeva SE, Tsimmerman VI. Anthropogenic pollution of the atmospheric air in the Krasnoyarsk territory cities. *Vestnik Krasnoyarskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*. 2015;(2(101)):27–32 (In Russ.)
 7. Azarov VN, Sidyakin PA, Lopatina TN, Nikolenko DA. Technogenic pollution of the atmosphere air and its influence on social and ecological wellbeing of the resort towns of the Caucasian Spas. *Sotsiologiya Goroda*. 2014;(1):28–37. (In Russ.)
 8. Oganyan NG. Measurement uncertainty and corresponding risk of false decisions. *J Phys: Conf Ser*. 2019;1420:012003. doi: 10.1088/1742-6596/1420/1/012003
 9. Rakitskii VN, Avaliani SL, Novikov SM, Shashina TA, Dodina NS, Kislitsin VA. Health risk analysis related to exposure to ambient air contamination as a component in the strategy aimed at reducing global non-infectious epidemics. *Health Risk Analysis*. 2019;(4):30–35. (In Russ.) doi: 10.21668/health.risk/2019.4.03
 10. Kriga AS, Nikitin SV, Ovchinnikova EL, et al. On implementation of "Clean Air" federal project in Omsk. *Health Risk Analysis*. 2020;(4):32–46. (In Russ.) doi: 10.21668/health.risk/2020.4.04
 11. Kleyn SV, Popova EV. Hygienic assessment of ambient air quality in Chita, a priority area of the Federal Clean Air Project. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020;(12(333)):16–22. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-16-22
 12. Yarushin SV, Kuzmin DV, Shevchik AA, 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*. 2020;(9(330)):48–60. (In Russ.) doi: 10.35627/22195238/202033094860
 13. May IV, Zaitseva NV, Klein SV, Sedusova EV. Establishment and proof of health damage due to the negative impact of environmental factors. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2013;(11(248)):4–6. (In Russ.)
 14. Zaitseva NV, Zhdanova-Zaplesvichko IG, Zemlyanova MA, Perezhogin AN, Savinykh DF. Experience in organizing and conducting epidemiological studies to detect and prove the causal relationship between ambient air quality and health disorders in the population of industrially contaminated sites. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2021;(1(334)):4–15. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2021-334-1-4-15
 15. Valina SL, Shtina IE, Maklakova OA, Ustinova OYu, Einfeld DA. Regularities in diseases of the musculoskeletal system developing in schoolchildren under complex exposure to environmental factors and factors related to lifestyle. *Health Risk Analysis*. 2021;(3):54–66. doi: 10.21668/health.risk/2021.3.05.eng
 16. Shtina IE, Valina SL, Luzhetskiy KP, Zenina MT, Ustinova OYu. Environmental contamination with metals as a risk factor causing developing autoimmune thyroiditis in children in zones influenced by emissions from metallurgic enterprises. *Health Risk Analysis*. 2021;(4):58–64. (In Russ.) doi: 10.21668/health.risk/2021.4.06
 17. Zaitseva NV, May IV, Klein SV, Khankharev SS, Boloshinova AA. 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*. 2017;96(11):1038–1044. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-11-1038-1044
 18. Chetverkina KV. On determination of reference chloroform content in children's blood. *Health Risk Analysis*. 2018;(3):85–93. doi: 10.21668/health.risk/2018.3.09
 19. Forbes LJL, Patel MD, Rudnicka AR, et al. Chronic exposure to outdoor air pollution and markers of systemic inflammation. *Epidemiology*. 2009;20(2):245–253. doi: 10.1097/EDE.0b013e318190ea3f
 20. Rajagopalan S, Al-Kindi SG, Brook RD. Air pollution and cardiovascular disease: JACC state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol*. 2018;72(17):2054–2070. doi: 10.1016/j.jacc.2018.07.099
 21. Dolgikh OV, Otavina EA, Krivtsov AV, et al. Immunological markers of children health problems living in the conditions of atmospheric air pollution by aluminum. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2019;(2(311)):15–18. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2019-311-2-15-18
 22. Zemlianova MA, Zaitseva NV, Koldibekova YuV, Bulatova NI. Detection of Omic markers of the nervous system adverse effects in children with a combined exposure to airborne chemicals and conditions of educational environment. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020;(5(326)):12–17. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2020-326-5-12-17

