

Опыт обоснования и результаты мониторинга приоритетных веществ, загрязняющих атмосферный воздух г. Норильска (в рамках федерального проекта «Чистый воздух»)

И.В. Май, С.В. Клейн, С.Ю. Балашов, С.А. Вековшинина, Н.И. Маркович

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

Резюме

Введение. Длительное многокомпонентное загрязнение атмосферного воздуха селитебных территорий является одной из серьезных угроз для здоровья человека. Федеральный проект «Чистый воздух» национального проекта «Экология» имеет целью кардинальное улучшение качества жизни населения через снижение объема выбросов приоритетных (опасных) загрязняющих веществ, оказывающих наибольшее влияние на здоровье граждан.

Целью исследования являлось обоснование выбора и анализ результатов мониторинга приоритетных веществ, загрязняющих атмосферный воздух г. Норильска как города, включенного в проект.

Материалы и методы. Приоритетные (опасные) химические вещества определяли по результатам оценки рисков здоровью. Экспозицию определяли на основе расчетов рассеивания с применением сводной базы данных стационарных и передвижных источников выбросов (1970 источников 110 предприятий и 175 участков дорожной сети города) и программы «Эколог-Город» 4.60.1 с блоком расчета «Средние», реализующих утвержденные в Российской Федерации методы моделирования диффузии выбросов в атмосфере. К приоритетным относили вещества, которые в сумме формировали не менее 95 % неприемлемого канцерогенного и/или неканцерогенного риска. Для верификации расчетных данных использовали результаты социально-гигиенического мониторинга в части инструментальных наблюдений за уровнем загрязнения атмосферного воздуха г. Норильска за 2020–2021 гг. по 20 веществам.

Результаты. Установлено, что недопустимые риски для здоровья формируются как при кратковременном, так и при длительном воздействии загрязнений. Под негативным воздействием проживает более 180 тыс. человек. Перечень приоритетных примесей, подлежащих мониторингу и первоочередному регулированию, включал 10 веществ: оксид и диоксид азота; серы диоксид; сумму пыли; серную кислоту; углерода оксид; меди оксид; соединения никеля; свинец и его соединения; бензол. Выбор 7 примесей как опасных, приоритетных подтверждался данными мониторинга. Фактически измеренные концентрации диоксида серы, пыли, соединений меди и никеля в ряде точек регистрировались в концентрациях, существенно более высоких, чем это было установлено при расчетах рассеивания. Пары серной кислоты, оксида углерода и оксид азота не идентифицировали на уровнях выше порога определения метода.

Заключение. Методология оценки риска здоровью при выборе приоритетных (опасных) химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, является адекватным и эффективным инструментом управления качеством среды обитания. Верификация перечней приоритетных веществ, полученных на основе расчетов рассеивания с использованием сводных баз данных об источниках города, целесообразна и свидетельствует о необходимости совершенствования методов и механизмов инвентаризации источников выбросов. Существенное расхождение между расчетными и инструментальными данными об уровнях загрязнения должно являться объектом обсуждения всеми заинтересованными сторонами и иметь следствием внесение изменений в сводные базы данных и повышение точности последующих гигиенических оценок, включая оценку рисков для здоровья населения.

Ключевые слова: проект «Чистый воздух», приоритетные опасные вещества, Норильск, риск для здоровья, мониторинг.

Для цитирования: Май И.В., Клейн С.В., Балашов С.Ю., Вековшинина С.А., Маркович Н.И. Опыт обоснования и результаты мониторинга приоритетных веществ, загрязняющих атмосферный воздух г. Норильска (в рамках федерального проекта «Чистый воздух») // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 12. С. 45–52. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-12-45-52>

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>.

Клейн Светлана Владиславовна – д.м.н., заведующая отделом системных методов социально-гигиенического мониторинга и экспертиз; e-mail: kleyn@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>.

Балашов Станислав Юрьевич – заведующий лабораторией методов комплексного санитарно-гигиенического анализа и экспертиз; e-mail: stas@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6923-0539>.

Вековшинина Светлана Анатольевна – заведующая лабораторией методов оценки соответствия и потребительских экспертиз; e-mail: vekso@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4833-0792>.

Маркович Нина Ивановна – д.м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории методов анализа внешнесредовых рисков; e-mail: immunoperm@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5596-4611>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Май И.В.; сбор и обработка материала: Клейн С.В., Балашов С.Ю., Вековшинина С.А.; анализ и интерпретация результатов: Май И.В., Маркович Н.И.; обзор литературы: Вековшинина С.А.; подготовка проекта рукописи: Май И.В., Клейн С.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 в рамках федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология».

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

Статья получена: 24.11.22 / Принята к публикации: 05.12.22 / Опубликована: 20.12.22

Experience of Substantiation and Results of Monitoring of Priority Air Pollutants in Norilsk within the Federal Clean Air Project

Irina V. May, Svetlana V. Kleyln, Stanislav Yu. Balashov,
Svetlana A. Vekovshinina, Nina I. Markovich

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

Summary

Introduction: Long-term multicomponent ambient air pollution in residential areas is one of the serious threats to human health. The Federal Clean Air Project implemented within the National Ecology Project aims at fundamental improvement of the quality of life of the Russian population through reduction in emissions of priority (hazardous) pollutants posing the highest health risks.

Objective: To substantiate the choice and to analyze the results of monitoring of priority air pollutants in the city of Norilsk included in the Project.

Materials and methods: Priority chemicals were determined based on the results of a health risk assessment. The exposure was assessed on the basis of dispersion calculations using a consolidated database of stationary and mobile emission sources (1,970 sources from 110 enterprises and 175 sections of the urban road network) and the "Ecologist - City" 4.60.1 software with the "Average" calculation block, realizing atmospheric dispersion modeling techniques approved in the Russian Federation. The airborne pollutant accounting for at least 95 % of the unacceptable carcinogenic and/or non-carcinogenic risk was considered a priority. The estimates were then verified by the results of measuring ambient concentrations of 20 pollutants within socio-hygienic air quality monitoring in Norilsk for 2020–2021.

Results: We established that both short- and long-term exposure to air pollutants posed unacceptable health risks to more than 180 thousand people affected. The list of priority contaminants subject to monitoring and priority regulation comprised ten chemicals, including nitrogen oxide and dioxide, sulfur dioxide, particulate matter, sulfuric acid, carbon oxide, copper oxide, nickel compounds, lead and its compounds, and benzene, of which seven were confirmed as such by the monitoring data. In fact, the measured concentrations of sulfur dioxide, particulate matter, copper and nickel compounds at a number of sites were significantly higher than those estimated by dispersion modeling. Vapors of sulfuric acid, carbon monoxide and nitrogen oxide were below the limit of detection.

Conclusions: The health risk assessment methodology used for selecting priority air pollutants is an adequate and effective tool of environmental management. Verification of the lists of priority chemicals compiled on the basis of dispersion modeling using the merged database on the urban sources of air pollution is expedient and necessitates improvement of techniques and mechanisms for stocktaking of emission sources. A significant discrepancy between the estimated and measured data on pollution levels should be discussed by all interested parties and result in changes to the consolidated databases and an increase in the accuracy of subsequent hygienic assessments, including that of public health risks.

Keywords: Clean Air Project, priority pollutants, Norilsk, health risk, monitoring.

For citation: May IV, Kleyn SV, Balashov SYu, Vekovshinina SA, Markovich NI. Experience of substantiation and results of monitoring of priority air pollutants in Norilsk within the Federal Clean Air Project. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(12):45–52. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-12-45-52>

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>.

Svetlana V. Kleyn, Dr. Sci. (Med.), Head of the Department of Systemic Methods of Social and Hygienic Monitoring and Expert Examinations; e-mail: kleyn@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>.

Stanislav Yu. Balashov, Head of the Laboratory of Methods of Complex Sanitary and Hygienic Analysis and Expert Examinations; e-mail: stas@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6923-0539>.

Svetlana A. Vekovshinina, Head of the Laboratory of Methods of Conformity Assessment and Consumer Expert Examinations; e-mail: vekasa@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4833-0792>.

Nina I. Markovich, Dr. Sci. (Med.), Leading Researcher, Laboratory of Methods of Analysis of External Environmental Risks; e-mail: immunoperm@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5596-4611>.

Author contributions: study conception and design: May I.V.; data collection and processing: Kleyn S.V., Balashov S.Yu., Vekovshinina S.A.; analysis and interpretation of results: May I.V., Markovich N.I.; literature review: Vekovshinina S.A.; draft manuscript preparation: May I.V., Kleyn S.V. All 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 research was carried out within the Federal Clean Air Project of the National Ecology Project.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: November 24, 2022 / Accepted: December 5, 2022 / Published: December 20, 2022

Введение. Одной из серьезных угроз для здоровья человека, оказывающих влияние на формирование повышенного уровня заболеваемости и смертности населения, является длительное, многокомпонентное загрязнение атмосферного воздуха селитебных территорий [1–5]. По оценкам экспертов ВОЗ, воздействие загрязненного воздуха ежегодно является причиной преждевременной смерти 7 миллионов человек, что приводит к потере миллионов лет здоровой жизни^{1,2}. Федеральный проект «Чистый воздух» национального проекта «Экология» (далее – Проект) имеет целью кардинальное улучшение качества жизни населения через сокращение объема вредных выбросов в крупных промышленных центрах, уменьшение количества городов с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха, снижение совокупного объема выбросов опасных загрязняющих веществ³. Уровни воздействия

в рамках федерального проекта и эксперимента по квотированию выбросов определяются по результатам оценки риска для здоровья, выполняемой в соответствии с методическими документами Роспотребнадзора⁴. Предполагается, что в результате реализации мероприятий Проекта в 2024 году в 12 городах-участниках выбросы опасных загрязняющих веществ, по которым регистрируются превышения гигиенических нормативов и которые оказывают наибольшее негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека, снизятся не менее чем на 20 % от уровня 2017 года.

В качестве одной из методических задач Проекта является научное обоснование перечня этих опасных веществ. Сокращение выбросов именно опасных, «приоритетных» веществ должно обеспечить наибольший социально значимый эффект – сохранение здоровья населения городов [6, 7].

¹ Качество атмосферного воздуха и здоровье. Информационный бюллетень ВОЗ. 2018. [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://www.who.int/ru/news-room/factsheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/factsheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (дата обращения: 17.10.2022).

² Health Effects Institute. 2020. State of Global Air 2020. Special Report. Boston, MA: Health Effects Institute. ISSN 2578-6873.

³ Паспорт федерального проекта «Чистый воздух». [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://rg.ru/2018/05/08/president-ukaz204-site-dok.html> (дата обращения: 02.11.2022).

⁴ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29 ноября 2019 года № 814 «Об утверждении правил квотирования выбросов загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух». [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/564067785> (дата обращения: 02.11.2022).

Предполагается, что акцент на приоритетных загрязнителях обеспечит оптимизацию финансовых и временных затрат хозяйствующих субъектов и органов власти. Задача тем более важна, что медико-демографические проблемы в городах с загрязненным воздухом стоят крайне остро [8–10].

Необходимо отметить, что в соответствии с действующими нормативными документами обоснование приоритетных веществ предусмотрено исключительно на базе сводных расчетов. Формирование максимально полных баз данных об источниках выбросов на территории и выполнение сводных расчетов рассеивания выбросов в целом по городу – важный и высокоинформативный инструмент получения данных о санитарно-гигиенической ситуации на территории. Перспективы применения такого инструментария самые широкие [11–13]. Вместе с тем представлялось важным не только обосновать приоритетные вещества, но и подтвердить правильность выбора результатами измерений этих веществ в рамках проведения социально-гигиенического мониторинга.

В качестве объекта исследования был выбран г. Норильск – один из городов, вошедших в проект, характеризующийся наибольшими массами выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и неблагоприятной санитарно-эпидемиологической ситуацией [14–18].

Целью исследования явилось обоснование выбора и анализ результатов мониторинга приоритетных веществ, загрязняющих атмосферный воздух г. Норильска (ФП «Чистый воздух»).

Материалы и методы. Исходной информацией для оценки рисков для здоровья населения г. Норильска, связанных с загрязнением атмосферного воздуха, явились сводные базы данных стационарных и передвижных источников выбросов, переданные письмом Минприроды в адрес Роспотребнадзора 5 ноября 2020 г. в виде электронного банка данных в формате унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы «Эколог». Переданные базы данных содержали записи о 1196 организованных и 774 неорганизованных источниках 110 предприятий и организаций и 175 участках улично-дорожной сети города. В атмосферу города ежегодно поступает порядка 1900 тыс. тонн загрязняющих веществ. Определение экспозиции для оценки риска выполнялось на основе результатов расчета рассеивания выбросов с применением программы УПРЗА «Эколог-Город» 4.60.1 с блоком расчета «Средние», реализующих утвержденные в Российской Федерации методы моделирования диффузии выбросов в атмосфере.

Все результаты оценки экспозиции и рисков для здоровья выполнялись в привязке к векторной карте-схеме г. Норильска с применением лицензионной геоинформационной системы ArcView 3.2 и ArcGIS 9.3.1. На векторной карте были атрибутированы жилые здания, улично-дорожная сеть, промышленные площадки, водные объекты. Расчетные точки для оценки экспозиции располагали в геометрических центрах 1105 жилых строений (в соответствии с данными векторной карты города). В оценку риска были включены 30 газообразных примесей и все виды выбрасываемых твердых компонентов (пылей).

К приоритетным относили химические вещества, которые в сумме формировали не менее 95 % неприемлемого канцерогенного и/или неканцерогенного риска (с учетом порядка убывания вклада) в отношении критических органов или систем хотя бы в одной расчетной точке города. Пожизненный индивидуальный канцерогенный риск и хронический неканцерогенный риск оценивали в соответствии с действующим методическим документом⁵. Допустимым принимали канцерогенный риск на уровне 1×10^{-4} ; неканцерогенный, выраженный через индекс опасности (hazards index, HI), – равным 3.0. Целевые уровни риска принимали соответственно на уровне 10^{-6} и HI = 1.

Параллельно учитывали результаты инструментальных наблюдений за уровнем загрязнения атмосферного воздуха г. Норильска за 2020–2021 гг. по 20 веществам, выполненных Филиалом ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» в г. Норильске по полной программе (не менее 300 разовых или 75 суточных наблюдений в течение года).

Результаты. Для оценки экспозиции были определены расчетные приземные концентрации загрязняющих веществ. В качестве примера в таблице 1 приведены данные по содержанию в воздухе канцерогенных примесей, полученные в результате сводных расчетов и соответствующие экспозиции уровни канцерогенного риска для здоровья.

По результатам расчетов неприемлемого канцерогенного риска не установлено. Пожизненный канцерогенный риск, превышающий пренебрежимо малый уровень (менее 1×10^{-6}), формировался для жителей южной части Центрального района и практически на всей территории района Талнах (население под воздействием порядка 1,8 тысячи человек). Наибольший вклад в канцерогенный риск вносили свинец и его соединения, углерод, (сажа), хром и его соединения, формальдегид, бензол, эпоксиэтан.

Вместе с тем неприемлемый неканцерогенный, в том числе высокий, уровень риска для здоровья жителей города регистрируются на всей территории города, во всех ее административных образованиях: в Центральном районе, жилком районе Оганер, районах Талнах и Кайеркан. Под негативным воздействием находится все население города – порядка 181,8 тыс. человек. Риски формируются как при кратковременном, так и при длительном воздействии атмосферных загрязнений.

По данным расчетов при кратковременном (20–30-минутном) ингаляционном воздействии химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе Норильска, на территории жилой застройки формируются неприемлемые риски в отношении: нарушений функций органов дыхания (риски характеризуются как настораживающие или высокие до HI = 13,2); нарушения функций иммунной системы (HI составляет 14,05 в среднем по городу, в Центральном районе уровни риска достигают параметров 29,6HI; в районе Кайеркан – 27.1HI; в районе Оганера – 11,5HI, в районе Кайеркана – 10,3). Настораживающие уровни риска (HI от 3,1 до 6,0) формируются в отношении системных нарушений здоровья, развития потомства, болезней крови.

⁵ 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.

Таблица 3. Вклад отдельных химических примесей в хронический неканцерогенный риск возникновения болезней крови в Норильске (среднее значение по району), %**Table 3. Average district contribution of some pollutants to the chronic non-carcinogenic risk of blood diseases in Norilsk, %**

Показатель / Indicator	Зона / District	
	Центральный район / Central District 1 < HI < 3	Район Кайеркан / Kayerkan District 3 < HI < 6
Никель оксид (в пересчете на никель) / Nickel oxide (expressed as Ni)	85,61	89,26
Азота диоксид / Nitrogen dioxide	11,73	7,21
Азот (II) оксид / Nitrogen (II) oxide	1,26	0,76
Никель сульфат (в пересчете на никель) / Nickel sulfate (expressed as Ni)	0,58	2,03
Бензол / Benzene	0,48	0,28
Углерода оксид / Carbon oxide	0,17	0,13
Свинец и его неорганические соединения / Lead and its inorganic compounds	0,13	0,31
2-Этоксэтанол (Этилцеллозольв) / 2-ethoxyethanol (ethyl cellosolve)	0,03	0,02

Примечание: жирным шрифтом выделены вещества, которые в сумме формируют 95 % и более вклада в недопустимый риск здоровью.
Notes: the pollutants contributing ≥ 95 % to the unacceptable health risk are shaded and in bold.

Таблица 4. Обобщенные результаты инструментальных измерений приоритетных веществ в атмосферном воздухе Норильска по данным социально-гигиенического мониторинга за 2020–2021 гг. (максимальные из разовых концентраций и среднесуточная за год)**Table 4. Aggregated results of measuring priority air pollutants in Norilsk: the highest single and average daily concentrations registered in the years 2020–2021**

№	Наименование вещества / Air pollutant	ПДКм.р., мг/м ³ / MPCh.s., mg/m ³	ПДКсс, мг/м ³ / MPCa.d., mg/m ³	Доли ПДКмр / Shares of MPCh.s.		Доли ПДКсс / Shares of MPCa.d.	
				2020	2021	2020	2021
1	Азота диоксид / Nitrogen dioxide	0,2	0,1	0,94	2,49	1,6	8,0
2	Азота оксид / Nitrogen oxide	0,4	–	0,04	Не изм* / NM*	Нпо / BDL**	Не изм / NM
3	Сера диоксид / Sulfur dioxide	0,5	0,05	24,1	14,56	49,4	40,74
4	Взвешенные вещества / Particulate matter	0,5	0,15	1,58	2,00	3,4	5,45
5	Серная кислота / Sulfuric acid	0,3	0,1	Нпо / BDL	Не изм / NM	Нпо / BDL	Не изм / NM
6	Углерод оксид / Carbon oxide	5	3	Нпо / BDL	Не изм / NM	Нпо / BDL	Не изм / NM
7	Медь оксид / Copper oxide	–	0,002	–	–	1,7	3,85
8	Никель оксид / Nickel oxide	–	0,001	–	–	0,52	1,22
9	Свинец и его неорг. соедин. / Lead and its inorganic compounds	0,01	0,0003	1,37	0,53	1,56	0,80
10	Бензол / Benzene	0,3	0,06	1,79	Не изм / NM	0,31	Не изм / NM
Не рассматривались при расчетах рассеивания / Pollutants not included into dispersion modeling							
11	PM10	0,3	0,06	0,65	3,32	1,65	13,58
12	PM2.5	0,16	0,035	1,17	6,19	2,63	23,11
13	Сероводород / Hydrogen sulfide	0,008	–	6,2	8,5	–	–

Примечание: * не измерялось; ** ниже порога определения.

Notes: * NM, not measured; ** BDL, below detection limit; MPCh.s., highest single maximum permissible concentration; MPCa.d., average daily maximum permissible concentration

в ряде точек регистрировались в ходе мониторинга в концентрациях, существенно более высоких, чем это было установлено при расчетах рассеивания. Примеры – на рис. 1.

Полученные результаты позволили сделать предположение, что риски для здоровья населения в целом могут формироваться на более высоком уровне, чем были получены по данным расчетов рассеивания.

Вместе с тем концентрации таких веществ, как пары серной кислоты, оксид углерода, оксид азота, были ниже расчетных. Так, серная кислота, которая рассматривалась как приоритетное опасное вещество, в течение 2020 г. в рамках программ социально-гигиенического мониторинга в 93 % проб определялась на уровне порога определения метода. В остальных пробах концентрация не превышала 0,2 ПДКмр. Концентрации оксида

углерода также были зафиксированы на уровне ниже порога чувствительности метода. Инструментальные измерения были признаны нецелесообразными, тем более что каждое из указанных химических веществ не рассматривалось как основной вкладчик в недопустимые риски для здоровья.

Прекращение измерений бензола на постах мониторинга представлялось необоснованным. В 2020 г. значимые (выше порога обнаружения метода) концентрации бензола фиксировали в 84 % наблюдений (1266 из 1505 проб). Были отмечены превышения гигиенических нормативов до 1,8 ПДКмр и 1,6 ПДКсс. Рекомендовано возобновить измерения в рамках программ социально-гигиенического мониторинга.

Следует отметить, что кроме приоритетных, опасных примесей на постах социально-гигиенического мониторинга выполнялись дополнительные

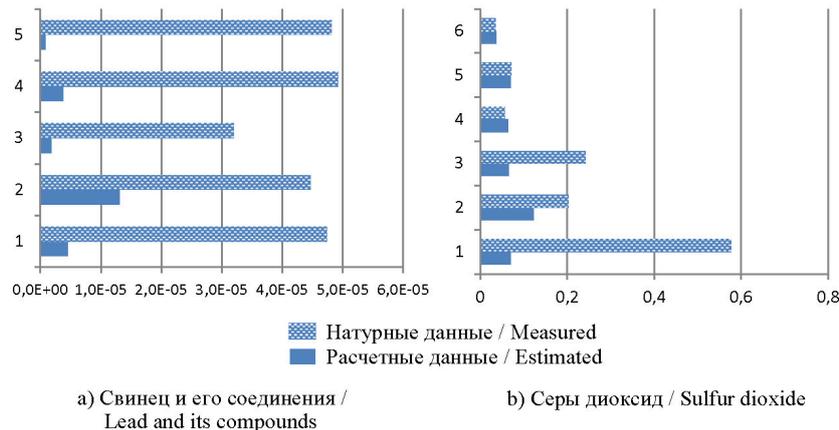


Рис. 1. Сопоставление расчетных и натуральных данных ($\text{мг}/\text{м}^3$) в точках размещения постов инструментального мониторинга на территории г. Норильска

Fig. 1. Comparison of measured and estimated concentrations (mg/m^3) of lead and its compounds and sulfur dioxide at air quality monitoring sites in Norilsk

измерения. Проводился анализ воздуха на содержание веществ, которые потенциально рассматривались как значимые для здоровья населения, но не учитываемые хозяйствующими субъектами в ходе инвентаризации выбросов. К таким веществам относили сероводород и мелкодисперсные пыли [19–22].

В 2020 г. сероводород и частицы диаметром менее 10 мкм (PM10) и менее 2,5 мкм (PM2,5) регистрировались систематически, в том числе на уровнях выше гигиенических нормативов (рис. 2).

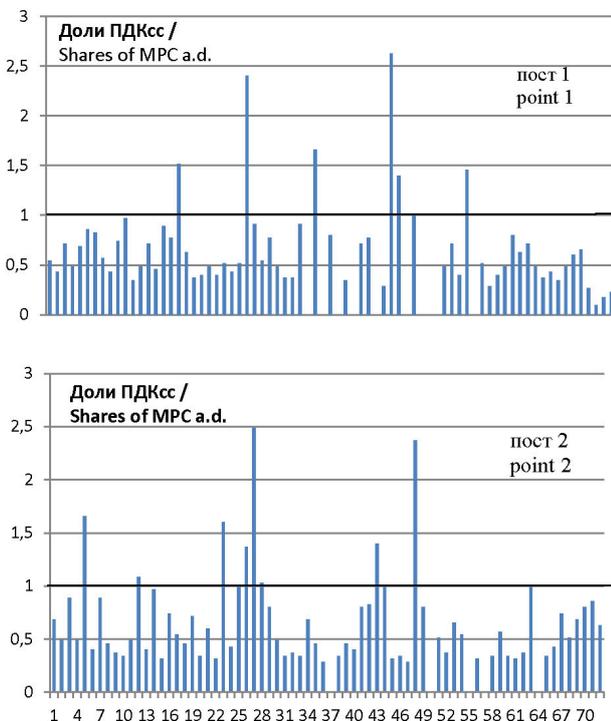


Рис. 2. Динамика суточных концентраций PM2,5 в 2020 г. на двух постах социально-гигиенического мониторинга, доли ПДКсс

Fig. 2. Daily PM2.5 concentrations measured at two socio-hygienic monitoring points 2020

Среднегодовая концентрация PM2,5 – наиболее опасной для здоровья человека фракции пыли – составила в среднем по городу 0,022 $\text{мг}/\text{м}^3$, что превышало референтный уровень (0,015 $\text{мг}/\text{м}^3$) в полтора раза. Такие уровни свидетельствовали о рисках для здоровья человека. Вместе с тем источники этого риска в городе не идентифицированы и не являются управляемыми со стороны государства.

Обсуждение. Полученные данные подтверждают корректность применения методологии оценки риска для здоровья как основы для принятия управленческих решений. Химические вещества, которые были определены как приоритетные, опасные для здоровья населения, по результатам расчетов рассеивания регистрировались на постах мониторинга инструментальными методами. Вместе с тем расхождение расчетных и натуральных данных вызывает определенную озабоченность. Особенно тревожит ситуация, при которой измеряемые величины были существенно выше расчетных. Это связано с тем, что экологическое нормирование (или квотирование – для городов, вошедших в эксперимент⁶) осуществляется на основании результатов сводных расчетов. Недооцененные, заниженные приземные концентрации могут явиться основанием для недостаточно существенного снижения масс выбросов. Как следствие, возникает опасность не достичь приемлемых уровней риска для здоровья.

Выход из ситуации видится в совершенствовании методов и инструментов проведения инвентаризации источников выбросов и контроля корректности результатов этого процесса со стороны регуляторов [23]. Существенные (10 и более раз) превышения концентраций химических веществ, измеренных на постах мониторинга, над данными сводных расчетов рассеивания должны являться основанием для межведомственного обсуждения, в том числе открытого для гражданского общества [24–26], для выявления неучтенных или некорректно учтенных источников выбросов и последующих управляющих действий в отношении хозяйствующих субъектов.

⁶ О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха: Федеральный закон № 195-ФЗ от 26 июля 2019 г. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.consul-tant.ru/law/hotdocs/58662.html> (дата обращения: 15.08.2022).

Представляется, что система выбора приоритетных, подлежащих квотированию веществ, должна являться динамичной, изменяющейся в результате появления новых или передислокации известных источников загрязнения, изменения сводной базы данных об источниках в целом по городу. Результаты инструментальных исследований в течение длительного периода (год и более) могут и должны учитываться при оптимизации программ наблюдений во избежание проведения избыточных малоинформативных исследований и измерений.

Определение мелкодисперсных пылей, как наиболее опасных фракций выбросов твердых веществ, является одним из актуальных направлений совершенствования методов и инструментов инвентаризации источников загрязнения атмосферы и оценки рисков для здоровья человека.

Выводы

1. Использование методологии оценки риска здоровью при выборе приоритетных (опасных) химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух городов, является адекватным и эффективным инструментом управления качеством среды обитания.

2. Верификация перечней приоритетных веществ, полученных на основе расчетов рассеивания с использованием сводных баз данных об источниках города, целесообразна и свидетельствует о необходимости совершенствования методов и механизмов инвентаризации источников выбросов.

3. Существенное расхождение между расчетными и инструментально полученными данными об уровнях загрязнения должно являться объектом обсуждения всеми заинтересованными сторонами (хозяйствующими субъектами, органами экологического и санитарно-эпидемиологического контроля) и иметь следствием внесение изменений в сводные базы данных и повышение точности последующих гигиенических оценок, включая оценку рисков для здоровья населения.

Список литературы

1. Писарева Л.Ф., Ананина О.А., Одинцова И.Н., Жуйкова Л.Д. Загрязнение городов и здоровье населения (обзор литературы) // Профилактическая медицина. 2016. Т. 19. № 4. С. 60–64. doi: 10.17116/profmed201619460-64
2. Prüss-Ustün A, Wolf J, Corvalán C, Neville T, Bos R, Neira M. Diseases due to unhealthy environments: an updated estimate of the global burden of disease attributable to environmental determinants of health. *J Public Health (Oxf)*. 2017;39(3):464-475. doi: 10.1093/pubmed/fdw085
3. Veremchuk LV, Tsarouhas K, Vitkina TI, et al. Impact evaluation of environmental factors on respiratory function of asthma patients living in urban territory. *Environ Pollut*. 2018;235:489-496. doi: 10.1016/j.envpol.2017.12.122
4. Колпакова А.Ф., Шарипов Р.Н., Колпаков Ф.А. Загрязнения воздуха взвешенными частицами как фактор риска сердечно-сосудистых заболеваний. Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 2. С. 133–137. doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-2-133-137
5. World Health Organization. Regional Office for Europe. Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide: Report on a WHO Working Group. Bonn, Germany 13-15 January 2003. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. Accessed October 17, 2022. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107478>
6. Ревич Б.А., Харькова Т.Л., Кваша Е.А. Некоторые показатели здоровья жителей городов федерального проекта «Чистый воздух» // Анализ риска здоровью. 2020. № 2. С. 16–27. doi: 10.21668/health.risk/2020.2.02
7. 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. С. 4–13. doi: 10.21668/health.risk/2019.4.01
8. Долгушина Н.А., Кувшинова И.А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха промышленных городов Челябинской области и неканцерогенных рисков здоровью населения // Экология человека. 2019. № 6. С. 17–22. doi: 10.33396/1728-0869-2019-6-17-22
9. Ревич Б.А., Ушакова Т.И., Сергеев О.В., Зейлерт В.Ю. Рак молочной железы в Чапаевске // Гигиена и санитария. 2005. № 1. С. 18–21. EDN: OJNPUD
10. Балаболкин И.И., Терлецкая Р.Н., Модестов А.А. Аллергическая заболеваемость детей в современных экологических условиях // Сибирское медицинское обозрение. 2015. Т. 91. № 1. С. 63–67. EDN: TWKUHJL
11. Костылева Н.В., Гилева Т.Е., Опутина И.П. Сводные расчеты загрязнения атмосферного воздуха // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. № 3. С. 106–107. EDN: XFIVRD
12. Магдеева А.Р. Сводные расчеты как инструмент управления качеством атмосферного воздуха // Экология производства. 2022. № 5 (214). С. 26–35.
13. Движанина О.В., Шемяков П.М., Луковенко А.С., Кучеренко А.В. О направлениях и возможностях применения результатов сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха в городах // Охрана окружающей среды и природопользование. 2014. № 4. С. 39–49.
14. Лобковский В.А., Лобковская Л.Г. Экологическая ситуация в районе расположения предприятий запольного филиала ПАО «ГМК "Норильский Никель"»: современное состояние и прогноз // Проблемы региональной экологии. 2015. № 5. С. 40–43.
15. Арыштаев А.А. Проблемы выбросов в атмосферу загрязняющих веществ в городе Норильске и пути их решения // Форум молодых ученых. 2017. № 6 (10). С. 79–83.
16. Кочанов Д.А., Чеботарев И.А., Нестеров В.В., Кочанов И.Д., Клименок М.П. Анализ и особенности онкоурологической заболеваемости в городе Норильске Красноярского края за 2005–2014 годы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 1–2. С. 245–249.
17. Ананина О.А., Писарева В.Ф., Одинцова И.Н., Христенко Е.Л., Попкова Г.А., Христенко И.Д. Заболеваемость злокачественными новообразованиями населения г. Норильска. Формирование групп повышенного риска // Сибирский онкологический журнал. 2013. № 4. С. 58–61.
18. Longhin E, Holme JA, Gutzkow KB, et al. Cell cycle alterations induced by urban PM2.5 in bronchial epithelial cells: characterization of the process and possible mechanisms involved. *Part Fibre Toxicol*. 2013;10:63. doi: 10.1186/1743-8977-10-63
19. Семёнова И.С. Трудная судьба норильского чуда // Россия в глобальном мире. 2017. № 10 (33). С. 27–38.
20. Künzli N, Kaiser R, Medina S, et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet*. 2000;356(9232):795-801. doi: 10.1016/S0140-6736(00)02653-2
21. Просвирякова И.А., Шевчук Л.М. Гигиеническая оценка содержания твердых частиц PM 10 и PM 2.5 в атмосферном воздухе и риска для здоровья жителей в зоне влияния выбросов стационарных источников промышленных предприятий // Анализ риска здоровью. 2018. № 2. С. 14–22. doi: 10.21668/health.risk/2018.2.02

22. Wei M, Li S, Xiao H, Guo G. A comparison study on the combustion and particulate emissions of 2,5-dimethylfuran/diesel and ethanol/diesel in a diesel engine. *Therm Sci.* 2017;22(3):1351-1361. doi: 10.2298/TSCI170704192W
23. Николенко Д.А., Соловьева Т.В. Анализ опыта мониторинга загрязнения мелкодисперсной пылью придорожных территорий в странах ЕС и России. *Инженерный вестник Дона.* 2015. Т. 37. № 3. С. 98.
24. Волкодаева М.В., Канчан Я.С., Левкин А.В., Ломтев А.Ю. О развитии методической базы по оценке выбросов // *Экология производства.* 2021. № 5 (202). С. 72–75.
25. Иванов А.В. Доверие и риск-коммуникация в публичном пространстве: нормативное измерение // *Наука и современность.* 2015. № 37-2. С. 65–70.
26. Барг А.О., Лебедева-Несевря Н.А., Корнилицына М.Д. Методические подходы к оценке субъективного восприятия риска населением при воздействии загрязнения атмосферного воздуха на здоровье // *Анализ риска здоровью.* 2022. № 2. С. 28–37. doi: 10.21668/health.risk/2022.2.03
11. Kostyleva NV, Gileva TE, Oputina IP. Summary calculations of pollution of atmospheric air. *Antropogennaya Transformatsiya Sredy.* 2017;(3):106-107. (In Russ.)
12. Magdeeva AR. [Summary calculations as a tool for managing atmospheric air quality.] *Ekologiya Proizvodstva.* 2022;(5(214)):26-35. (In Russ.)
13. Dvinyanina OV, Shemyakov PM, Lukovenko AS, Kucherenko AV. Directions and possibilities of air pollution in cities summary calculation's application. *Okhrana Okruzhayushchey Sredy i Prirodopol'zovanie.* 2014;(4):39-49. (In Russ.)
14. Lobkovsky VA, Lobkovskaya LG. [The ecological situation in the area of location enterprises of the polar branch of the MMC Norilsk Nickel: current state and forecast.] *Problemy Regional'noy Ekologii.* 2015;(5):40-43. (In Russ.)
15. Aryshtaev AA. Problems of emissions to the atmospheric of pollutants in the city of Norilsk and ways of their solutions. *Forum Molodykh Uchenykh.* 2017;(6(10)):79-83. (In Russ.)
16. Kochanov DA, Chebotarev IA, Nesterov VV, Kochanov ID, Klimenyuk MP. Analysis and characteristics of oncological urology diseases in the city of Norilsk of the Krasnoyarsk Region over a period of 2005–2014. *Mezhdunarodnyy Zhurnal Prikladnykh i Fundamental'nykh Issledovaniy.* 2017;(1-2):245-249. (In Russ.)
17. Ananina OA, Pisareva LF, Odintsova IN, Khristenko EL, Popkova GA, Khristenko ID. Cancer incidence among population of Norilsk. Formation of high risk groups for cancer. *Sibirskiy Onkologicheskii Zhurnal.* 2013;(4(58)):58–61. (In Russ.)
18. Longhin E, Holme JA, Gutzkow KB, et al. Cell cycle alterations induced by urban PM2.5 in bronchial epithelial cells: characterization of the process and possible mechanisms involved. *Part Fibre Toxicol.* 2013;10:63. doi: 10.1186/1743-8977-10-63
19. Semenova IS. Difficult fate of the Noril'sk miracle. *Russia in the Global World.* 2017;(10(33)):27-38. (In Russ.)
20. Künzli N, Kaiser R, Medina S, et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet.* 2000;356(9232):795-801. doi: 10.1016/S0140-6736(00)02653-2
21. Prosviryakova IA, Shevchuk LM. Hygienic assessment of PM10 and PM2.5 contents in the atmosphere and population health risk in zones influenced by emissions from stationary sources located at industrial enterprises. *Health Risk Analysis.* 2018;(2):14-22. doi: 10.21668/health.risk/2018.2.02.eng
22. Wei M, Li S, Xiao H, Guo G. A comparison study on the combustion and particulate emissions of 2,5-dimethylfuran/diesel and ethanol/diesel in a diesel engine. *Therm Sci.* 2017;22(3):1351-1361. doi: 10.2298/TSCI170704192W
23. Nikolenko DA, Solovyova TV. Analysis of experience of monitoring fine-particulate air pollution of roadside territories of the European Union countries and Russia. *Inzhenernyy Vestnik Dona.* 2015;(3(37)):98. (In Russ.)
24. Volkodaeva MV, Kanchan YaS, Levkin AV, Lomtev AYU. [On the development of the methodological basis for estimating emissions.] *Ekologiya Proizvodstva.* 2021;(5(202)):72-75. (In Russ.)
25. Ivanov AV. [Trust and risk communication in public space: a normative dimension.] *Nauka i Sovremennost'.* 2015;(37-2):65-70. (In Russ.)
26. Barg AO, Lebedeva-Nesevrya NA, Kornilitsyna MD. Methodical approaches to assessing subjective health risk perception by population under exposure to ambient air pollution. *Health Risk Analysis.* 2022;(2):28–37. doi: 10.21668/health.risk/2022.2.03.eng

References

1. Pisareva LF, Ananina OA, Odintsova IN, Zhujkova LD. Urban pollution and population health: a review of literature. *Profilakticheskaya Meditsina.* 2016;19(4):60-64. (In Russ.) doi: 10.17116/profmed201619460-64
2. Prüss-Ustün A, Wolf J, Corvalán C, Neville T, Bos R, Neira M. Diseases due to unhealthy environments: an updated estimate of the global burden of disease attributable to environmental determinants of health. *J Public Health (Oxf).* 2017;39(3):464-475. doi: 10.1093/pubmed/fdw085
3. Veremchuk LV, Tsarouhas K, Vitkina TI, et al. Impact evaluation of environmental factors on respiratory function of asthma patients living in urban territory. *Environ Pollut.* 2018;235:489-496. doi: 10.1016/j.envpol.2017.12.122
4. Kolpakova AF, Sharipov RN, Kolpakov FA. Air pollution by particulate matter as the risk factor for the cardiovascular diseases. *Gigiena i Sanitariya.* 2017;96(2):133-137. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-2-133-137
5. World Health Organization. Regional Office for Europe. Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide: Report on a WHO Working Group. Bonn, Germany 13-15 January 2003. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. Accessed October 17, 2022. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107478>
6. Revich BA, Khar'kova TL, Kvasha EA. Selected health parameters of people living in cities included into «Clean air» federal project. *Health Risk Analysis.* 2020;(2):16–27. doi: 10.21668/health.risk/2020.2.02.eng
7. Popova AYU, Zaitseva NV, May IV. Population health as a target function and criterion for assessing efficiency of activities performed within “pure air” federal project. *Health Risk Analysis.* 2019;(4):4–13. doi: 10.21668/health.risk/2019.4.01.eng
8. Dolgushina NA, Kuvshinova IA. Air pollution and non-cancerogenic risk assessment in industrial cities of Chelyabinsk Region. *Human Ecology.* 2019;26(6):17–22. (In Russ.) doi: 10.33396/1728-0869-2019-6-17-22
9. Revich BA, Ushakova TI, Sergeyev OV, Zeilert VYu. Breast cancer in Chapayevsk. *Gigiena i Sanitariya.* 2005;(1):18–21. (In Russ.)
10. Balabolkin II, Terletskaia RN, Modestov AA. Allergic child morbidity in actual ecological conditions. *Siberian Med Rev.* 2015;(1(91)):63–67. (In Russ.)

