

Май И.В., Вековшина С.А., Клейн С.В., Балашов С.Ю., Андришунас А.М., Горяев Д.В.

Федеральный проект «Чистый воздух»: практический опыт выбора химических веществ для информационной системы анализа качества атмосферного воздуха Норильска

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

Введение. Город Норильск ежегодно входит в Приоритетный список городов РФ с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы и включён в список 12 крупных промышленных центров, на территории которых реализуется федеральный проект «Чистый воздух» национального проекта «Экология». Оценка достижения целевых показателей федерального проекта возможна только при адекватной системе оценки изменения параметров качества атмосферного воздуха. Для этой цели разработана информационная система анализа качества атмосферного воздуха, использующая в том числе данные социально-гигиенического мониторинга. Определение перечня химических веществ – приоритетных факторов ингаляционного риска – является неотъемлемой частью решения данной задачи.

Материал и методы. Для решения поставленных в исследовании задач рассчитывали индексы сравнительной опасности загрязняющих веществ, выбрасываемых предприятиями Норильска; оценивали достаточность программ наблюдений за качеством атмосферного воздуха с учётом результатов расчётов рассеивания, результатов натурных исследований Росгидромета и Роспотребнадзора и оценки параметров риска здоровью населения.

Результаты. По результатам оценки индекса сравнительной опасности сформирован предварительный перечень приоритетных химических веществ – 18 соединений. Этот перечень был уточнён и дополнен по результатам анализа данных сводных расчётов рассеивания. Гигиенический анализ результатов натурных исследований выявил вещества, приоритетные по показателям превышения ПДК и приемлемых уровней риска для здоровья населения. В окончательный перечень были включены 19 химических соединений, рекомендованных для мониторинга качества атмосферного воздуха на территории г. Норильск, в том числе взвешенные частицы PM_{10} и $PM_{2,5}$.

Заключение. Одним из важнейших мероприятий, направленных на решение задач федерального проекта «Чистый воздух» и оценку достижения целевых показателей, является совершенствование программ мониторинга качества атмосферного воздуха. Использование методологии оценки риска позволило выделить приоритетные, наиболее опасные для здоровья жителей Норильска вещества, подлежащие обязательному контролю: азота оксид, азота диоксид, бензол, взвешенные вещества, взвешенные частицы PM_{10} , взвешенные частицы $PM_{2,5}$, гидроксibenзол (фенол), дигидросульфид (сероводород), кобальт оксид, медь (II) оксид (в пересчёте на медь), никель оксид (в пересчёте на никель), серы диоксид, формальдегид.

К л ю ч е в ы е с л о в а : федеральный проект «Чистый воздух»; мониторинг качества атмосферного воздуха; программа мониторинга; загрязнение атмосферного воздуха; риск здоровью населения; коэффициент опасности.

Для цитирования: Май И.В., Вековшина С.А., Клейн С.В., Балашов С.Ю., Андришунас А.М., Горяев Д.В. Федеральный проект «Чистый воздух»: практический опыт выбора химических веществ для информационной системы анализа качества атмосферного воздуха Норильска. *Гигиена и санитария*. 2020; 99 (8): 766-772. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-8-766-772>

Для корреспонденции: Вековшина Светлана Анатольевна, зав. лаб. методов оценки соответствия и потребительских экспертиз, 614045, Пермь. E-mail: veksa@fcrisk.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Май И.В., Клейн С.В.; сбор и обработка материала – Вековшина С.А., Клейн С.В., Балашов С.Ю., Андришунас А.М., Горяев Д.В.; написание текста – Вековшина С.А., Клейн С.В.; редактирование – Май И.В.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – Май И.В., Вековшина С.А., Клейн С.В., Балашов С.Ю., Андришунас А.М., Горяев Д.В.

Поступила 30.04.2020

Принята к печати 29.07.2020

Опубликована 11.09.2020

Irina V. May, Svetlana A. Vekovshinina, Svetlana V. Kleyn, Stanislav Yu. Balashov, Alena M. Andrishunas, Dmitry V. Goryaev

“Pure air” federal project: practical experience in selecting chemicals for an information system for the analysis of ambient air quality

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

Introduction. Norilsk is annually both included into the Priority list of RF cities with the highest ambient air contamination and considered also among 12 large industrial centers where “Pure air” Federal project, an integral part of “Ecology” National project, is implemented. It is possible to assess whether targets fixed in a Federal project have been achieved only provided that there is a relevant system for assessing changes in ambient air quality parameters. To achieve that, experts created an information system for analyzing ambient air quality; among other data, the system used those obtained via social hygienic monitoring activities. Determining a list of chemicals that are priority factors causing inhalation risks is an integral part in finding solutions to this task.

Material and methods. To solve tasks formulated in the research, we calculated comparative hazard indices for contaminants emitted by industrial enterprises in Norilsk; we also assessed sufficiency of programs for monitoring over ambient air quality taking into account results of dispersion calculations, results obtained via field observations performed by Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Rosgidromet) and Federal Service for Oversight of Consumer Protection and Welfare (Rosпотребнадзор), and health risk assessments.

Results. The assessment comparative hazard indices allowed creating a preliminary list of priority contaminants that included 18 substances. The list was specified and there were supplemented results obtained by analyzing data on aggregated dispersion calculations. Hygienic analysis of results obtained by field observations revealed substances that were priority ones as per their concentrations exceeding MPC and acceptable health risk levels. The final list included 19 chemicals that were recommended for monitoring over ambient air quality in Norilsk, including particulate matter PM_{10} and $PM_{2.5}$.

Conclusion. Further development of programs for monitoring the ambient air quality is among the most significant activities aimed at solving project tasks within "Pure air" Federal project and assessing achievements of project targets. Application of the methodology of health risk assessment allowed spotting out priority chemicals that were the most hazardous for people living in Norilsk; those chemicals were subject to obligatory control. The list included nitrogen oxide, nitrogen dioxide, benzene, particulate matter, PM_{10} , $PM_{2.5}$, phenol, hydrogen sulfide, cobalt oxide, copper (II) oxide (recalculated as per copper), nickel oxide (recalculated as per nickel), sulfur dioxide, and formaldehyde.

Key words: "Pure air" Federal project; monitoring over ambient air quality; monitoring program; ambient air contamination; population health risk; hazard quotient.

For citation: May I.V., Vekovshinina S.A., Kleyn S.V., Balashov S. Yu., Andrishunas A.M., Goryaev D.V. "Pure air" Federal project: practical experience in selecting chemicals for an information system for the analysis of ambient air quality. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99 (8): 766-772. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-8-766-772> (In Russ.)

For correspondence: Svetlana A. Vekovshinina, MD, senior researcher, Head of the Laboratory for Assessment Techniques and Consumer Examinations at the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation. E-mail: veksa@fcrisk.ru

Information about the authors:

May I.V., <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>; Vekovshinina S.A., <https://orcid.org/0000-0002-4833-0792>
Kleyn S.V., <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>; Balashov S. Yu., <https://orcid.org/0000-0002-6923-0539>
Andrishunas A.M., <https://orcid.org/0000-0002-0072-5787>; Goryaev D.V., <https://orcid.org/0000-0001-6450-4599>

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

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution: May I.V. – research concept and design, editing; Vekovshinina S.A. – data collection and processing, writing the text; Kleyn S.V. – research concept and design, data collection and processing, writing the text; Balashov S.Yu. – data collection and processing; Andrishunas A.M. – data collection and processing; Goryaev D.V. – data collection and processing. All co-authors – full responsibility for approval on the ultimate variant of the work and the work integrity including all its parts.

Received: April 30, 2020

Accepted: July 29, 2020

Published: September 11, 2020

Введение

Министерство природных ресурсов ежегодно включает город Норильск в Приоритетный список городов Российской Федерации с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы^{1,2}. По данным ведомства, веществами, определяющими уровень загрязнения атмосферы Норильска, являются диоксид азота, диоксид серы, оксид азота, взвешенные вещества и оксид углерода. Город Норильск относят к городам с «очень высоким» уровнем загрязнения атмосферы из-за значительных выбросов диоксида серы, составляющих около 1,7 млн тонн в год³.

В 2018 г. город Норильск был включён в список 12 крупных промышленных центров, на территории которых реализуется федеральный проект «Чистый воздух» национального проекта «Экология»⁴. Одной из задач федерального проекта «Чистый воздух» является внедрение информационной системы анализа качества атмосферного воздуха, использующей данные автоматизированного онлайн-контроля выбросов, национальной системы

мониторинга и социально-гигиенического мониторинга, а также данных системы расчётного мониторинга состояния атмосферного воздуха (сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха). Для решения этой задачи необходимо определение перечня химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух Норильска, для задач мониторинга – с применением лабораторно-инструментальных методов.

Цель исследования – обоснование перечня приоритетных химических веществ для задач мониторинга качества атмосферного воздуха на территории Норильска в рамках федерального проекта «Чистый воздух» с учётом критериев риска для здоровья населения.

Материал и методы

На первом этапе исследования обрабатывали информацию о валовых выбросах загрязняющих веществ от предприятий, осуществляющих хозяйственную деятельность на территории города Норильска.

Валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу города Норильска принимали в соответствии с данными форм государственной статистической отчётности 2-ТП (воздух). В исследовании были учтены 79 веществ общей массой более 2385,5 тыс. тонн, которые выбрасывают 64 предприятия города Норильска.

Перечень химических веществ, подлежащих включению в программы натуральных наблюдений за качеством атмосферного воздуха, формировали на основании результатов расчётов индексов сравнительной канцерогенной/неканцерогенной опасности загрязняющих веществ, выбрасываемых предприятиями Норильска.

¹ Проект Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПЦ «Кадастр», 2019: 844.

² Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2017 год. Москва, 2018: 206.

³ Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2017 г.: Ежегодник. Санкт-Петербург, 2018: 234.

⁴ Паспорт национального проекта «Экология», утв. 24 декабря 2018 г. по итогам заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам. Available at: <http://government.ru/info/35569/>.

Таблица 1

Суммарный индекс сравнительной опасности приоритетных химических веществ, выбрасываемых стационарными источниками г. Норильска

Вещество	Индекс сравнительной опасности (HRI)
Серная кислота (по молекуле H ₂ SO ₄)	293 276 341,5
Сера диоксид (ангидрид сернистый)	229 608 397,9
Медь оксид (меди оксид) (в пересчёте на медь)	94 950 734,2
Никель оксид (в пересчёте на никель)	47 605 145,7
Пыль неорганическая: до 20% SiO ₂	1 171 762,4
Азота диоксид (азот (IV) оксид)	915 692,4
Азот (II) оксид (азота оксид)	425 025,0
Пыль неорганическая: 20–70% SiO ₂	319 117,4
Свинец и его неорганические соединения	247 674,7
Дигидросульфид (сероводород)	234 991,0
Никель сульфат (в пересчёте на никель)	225 625,9
Кобальт оксид	200 094,2
Марганец и его соединения	51 442,1
Взвешенные вещества	48 409,6
Углерод оксид	25 483,8
Хром (хром шестивалентный)	21 924,6
Диметилбензол (ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	18 088,0
Формальдегид	11 706,8
Метилбензол (толуол)	2016,5
Гидроксibenзол (фенол)	1707,4

Индексы сравнительной опасности химических веществ рассчитывали в соответствии с формулами 4.1 и 4.2 Руководства по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду⁵.

С учётом полученных данных формировали предложения по включению в программу мониторинга качества атмосферного воздуха Норильска загрязняющих веществ с высокими индексами сравнительной канцерогенной/неканцерогенной опасности.

На *втором этапе* исследования выполняли гигиеническую оценку уровня загрязнения атмосферного воздуха города Норильска (на соответствие ПДК) по данным результатов сводных расчётов рассеивания загрязняющих веществ от промышленных предприятий и автотранспорта с использованием программного продукта «Эколог-город» (версия 4.50).

При проведении расчётов рассеивания учтено 91 загрязняющее вещество, поступающее от 1698 источников выбросов, в том числе от 1526 источников выбросов промышленных предприятий и 172 участков улично-дорожной сети Норильска. Расчёты рассеивания проводили в точках постов мониторинга, в 963 точках проживания населения города Норильска, а также по регулярной сетке на общей площади 23,193 км² с шагом по оси X = 50 м, по оси Y = 50 м. Банк данных стационарных источников Норильска был предоставлен Краевым государственным бюджетным учреждением «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края» (КГБУ «ЦРМПиООС»).

В результате проведённых сводных расчётов рассеивания получены максимальные и среднегодовые концентрации

каждого загрязняющего вещества (в мг/м³, а также в долях ПДК_{мр} и ПДК_{сс}). На основании данных гигиенической оценки результатов расчётов рассеивания сформированы предложения по включению в программу наблюдений загрязняющих веществ с превышениями ПДК.

На *третьем этапе* исследования выполнена гигиеническая оценка результатов лабораторно-инструментальных исследований качества атмосферного воздуха Норильска на соответствие гигиеническим нормативам и критериям риска для здоровья населения.

Гигиеническую оценку результатов лабораторно-инструментальных исследований качества атмосферного воздуха Норильска выполняли по данным Таймырского ЦГМС и Филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» в городе Норильске.

Таймырский ЦГМС с помощью мобильной экологической лаборатории (МЭЛ) ведёт наблюдения на трёх маршрутных постах по неполной программе 6 дней в неделю в сроки 07; 13; 19 ч (по местному времени) за содержанием в атмосферном воздухе 7 загрязняющих веществ: бенз(а)пирен, взвешенные вещества, диоксид азота, диоксид серы, оксид азота, оксид углерода и сероводород. Всего за период 2016–2018 гг. было отобрано и проанализировано более 27,758 тыс. проб атмосферного воздуха.

Специалисты Филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» в городе Норильске выполняют отбор и анализ проб атмосферного воздуха в трёх точках наблюдений по полной программе. Определяют содержание 13 загрязняющих веществ: азота диоксид, бензол, гидроксibenзол (фенол), дигидросульфид (сероводород), сера диоксид, углерод оксид, формальдегид, взвешенные вещества, кадмий оксид (в пересчёте на кадмий), кобальт оксид (в пересчёте на кобальт), медь (II) оксид (в пересчёте на медь), никель оксид (в пересчёте на никель), свинец и его неорганические соединения. Всего за период 2014–2019 гг. было отобрано и проанализировано 27,232 тыс. проб, в том числе 13,455 тыс. разовых и 13,777 тыс. суточных проб атмосферного воздуха.

Полученные в результате лабораторно-инструментальных исследований качества атмосферного воздуха Норильска концентрации оценивали на соответствие требованиям СанПиН 2.1.6.1032-01, ГН 2.1.6.3492-17, ГН 2.1.6.2309-07 и критериям допустимого риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, согласно Р 2.1.10.1920-04. Предложения по исключению или добавлению отдельных химических веществ в программу мониторинга качества атмосферного воздуха Норильска формировали с учётом результатов гигиенической оценки и оценки риска.

Результаты

В результате реализации *первого этапа* исследования получены суммарные сравнительные индексы опасности для 79 веществ, выбрасываемых стационарными источниками промышленных предприятий Норильска. В табл. 1 представлены приоритетные вещества, для которых индекс сравнительной опасности (HRI) превышает 1000.

По результатам оценки индекса сравнительной опасности в программу мониторинга качества атмосферного воздуха Норильска включили 18 приоритетных веществ: серная кислота (по молекуле H₂SO₄), сера диоксид (ангидрид сернистый), меди оксид (в пересчёте на медь), никеля оксид (в пересчёте на никель), взвешенные вещества (включая пыль неорганическую: до 20% SiO₂ и пыль неорганическую: 20–70% SiO₂), азота диоксид (азот (IV) оксид), азот (II) оксид (азота оксид), свинец и его неорганические соединения, дигидросульфид (сероводород), никеля сульфат (в пересчёте на никель), кобальта оксид, марганец и его соединения, углерода оксид, хром (хром

⁵ Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: 143.

шестивалентный), диметилбензол (ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-), формальдегид, метилбензол (толуол), гидроксibenзол (фенол).

По данным сводных расчётов рассеивания на *втором этапе* исследования были выявлены превышения гигиенических нормативов в отношении азота диоксида (до 1,41 ПДК_{мр}), пыли неорганической: 20–70% SiO₂ (до 1,06 ПДК_{мр}), свинца и его соединений (до 1,75 ПДК_{мр}), серы диоксида (до 14,5 ПДК_{мр}, до 5,47 ПДК_{сс}) (табл. 2).

Таким образом, гигиеническая оценка результатов сводных расчётов рассеивания, выполненная на *втором этапе* исследования, подтвердила необходимость включения в программу мониторинга 4 приоритетных веществ: азота диоксида, взвешенные вещества, свинец и его соединения, серы диоксид.

Оценка результатов лабораторно-инструментальных исследований качества атмосферного воздуха Норильска на соответствие гигиеническим нормативам, выполненная на *третьем этапе* исследования, показала, что, по данным Таймырского ЦГМС и Филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае», в городе Норильске веществами, определяющими высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха Норильска, являются: азота оксид (до 2,91 ПДК_{мр}, до 1,44 ПДК_{сс}), азота диоксид (до 8,7 ПДК_{мр}, до 3,12 ПДК_{сс}), бензол (до 4,4 ПДК_{мр}), взвешенные вещества (до 5 ПДК_{мр}), гидроксibenзол (до 2,1 ПДК_{мр}), дигидросульфид (до 9,75 ПДК_{мр}), меди оксид (до 1,53 ПДК_{сс}), никеля оксид (до 1,31 ПДК_{сс}), серы диоксид (до 9,76 ПДК_{мр}, до 2,46 ПДК_{сс}), углерода оксид (до 3,4 ПДК_{мр}) и формальдегид (до 1,8 ПДК_{мр}) (табл. 3). В этот перечень также был включён бенз(а)пирен, в отношении которого Росгидрометом были выявлены превышения среднемесячной концентрации до 4,2 ПДК_{сс}.

Таблица 2

Результаты расчётов рассеивания приоритетных загрязняющих веществ на территории Норильска, доли ПДК_{мр} и ПДК_{сс}

Вещество	Доли ПДК _{мр}	Доли ПДК _{сс}
Азот (II) оксид (азота оксид)	0,35	0,04
Азота диоксид (азот (IV) оксид)	1,41	0,38
Взвешенные вещества	0,36	0,01
Гидроксibenзол (фенол)	0,03	0,0003
Дигидросульфид (сероводород)	0,14	–
Диметилбензол (ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	0,32	–
Кобальт оксид	–	0,04
Марганец и его соединения	0,02	0,003
Медь оксид (меди оксид) (в пересчёте на медь)	–	0,32
Метилбензол (толуол)	0,23	–
Никель оксид (в пересчёте на никель)	–	0,47
Никель сульфат (в пересчёте на никель)	0,27	0,02
Пыль неорганическая: 20–70% SiO ₂	1,06	0,06
Пыль неорганическая: до 20% SiO ₂	0,78	0,07
Свинец и его неорганические соединения	1,75	0,11
Сера диоксид (ангидрид сернистый)	14,5	5,47
Серная кислота (по молекуле H ₂ SO ₄)	0,09	0,01
Углерода оксид	0,11	0,01
Формальдегид	0,17	0,01
Хром (хром шестивалентный)	–	0,001

Таблица 3

Результаты гигиенической оценки качества атмосферного воздуха и оценки ингаляционного риска здоровью населения Норильска по данным лабораторно-инструментальных исследований Таймырского ЦГМС и Филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» в городе Норильске (2014–2019 гг.), максимальные значения показателей

Вещество	Организация, ведущая наблюдения	Концентрация		Уровень канцерогенного риска		Кoeffициент опасности (HQ)	
		разовая, доли ПДК _{мр}	средняя за год, доли ПДК _{сс}	детское население	взрослое население	острое воздействие	хроническое воздействие
Азот (II) оксид (азота оксид)	Росгидромет	2,91	1,44	–	–	1,57	1,65
Азота диоксид (азот (IV) оксид)	Росгидромет, Роспотребнадзор	8,70	3,12	–	–	3,50	4,55
Бенз(а)пирен	Росгидромет	–	0,60	$4,18 \cdot 10^{-7}$	$4,47 \cdot 10^{-7}$	–	0,92
Бензол	Роспотребнадзор	4,40	0,88	$4,58 \cdot 10^{-4}$	$4,91 \cdot 10^{-4}$	2,82	4,85
Взвешенные вещества	Росгидромет, Роспотребнадзор	5,00	0,98	–	–	8,27	2,68
Гидроксibenзол (фенол)	Роспотребнадзор	2,10	0,24	–	–	0,003	2,64
Дигидросульфид (сероводород)	Росгидромет, Роспотребнадзор	9,75	–	–	–	0,78	12,8
Кадмий оксид (в пересчёте на кадмий)	Роспотребнадзор	–	0,02	–	–	–	0,12
Кобальт оксид (в пересчёте на кобальт)	Роспотребнадзор	–	0,16	–	–	–	3,20
Медь (II) оксид (в пересчёте на медь)	Роспотребнадзор	–	1,53	–	–	–	145,0
Никель оксид (в пересчёте на никель)	Роспотребнадзор	–	1,31	–	–	–	41,5
Свинец и его неорганические соединения (в пересчёте на свинец)	Роспотребнадзор	–	0,50	$1,17 \cdot 10^{-6}$	$1,26 \cdot 10^{-6}$	–	0,48
Сера диоксид (ангидрид сернистый)	Росгидромет, Роспотребнадзор	9,76	2,46	–	–	14,2	21,8
Углерод оксид	Росгидромет, Роспотребнадзор	3,40	0,22	–	–	0,70	0,31
Формальдегид	Роспотребнадзор	1,80	0,22	$1,99 \cdot 10^{-4}$	$2,13 \cdot 10^{-4}$	0,78	12,4

Сводная таблица результатов исследования для определения перечня приоритетных веществ для задач мониторинга на территории Норильска

Вещество	Большое значение HRI	Наличие превышений		
		ПДК		приемлемых уровней риска
		сводные расчёты рассеивания	натурные измерения	
Азот (II) оксид (азота оксид)	+	—	+	+
Азота диоксид (азот (IV) оксид)	+	+	+	+
Бенз(а)пирен	—	—	—	—
Бензол	—	—	+	+
Взвешенные вещества	+	+	+	+
Гидроксibenзол (фенол)	+	—	+	+
Дигидросульфид (сероводород)	+	—	+	+
Диметилбензол (ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-)	+	—	—	—
Кадмий оксид (в пересчёте на кадмий)	—	—	—	—
Кобальт оксид	+	—	—	+
Марганец и его соединения	+	—	—	—
Медь оксид (меди оксид) (в пересчёте на медь)	+	—	+	+
Метилбензол (толуол)	+	—	—	—
Никель оксид (в пересчёте на никель)	+	—	+	+
Никель сульфат (в пересчёте на никель)	+	—	—	—
Пыль неорганическая: 20–70% SiO ₂	+	—	—	—
Пыль неорганическая: до 20% SiO ₂	+	—	—	—
Свинец и его неорганические соединения	+	+	—	—
Сера диоксид (ангидрид сернистый)	+	+	+	+
Серная кислота (по молекуле H ₂ SO ₄)	+	—	—	—
Углерод оксид	+	—	+	—
Формальдегид	+	—	+	+
Хром (хром шестивалентный)	+	—	—	—

Оценка канцерогенного риска здоровью населения Норильска показала (см. табл. 4), что в условиях ингаляционного воздействия исследуемых веществ канцерогенный риск превышает верхнюю границу приемлемого уровня риска для населения ($CR \leq 10^{-4}$) и составляет в отношении бензола (до $4,58 \cdot 10^{-4}$ для детского населения, до $4,91 \cdot 10^{-4}$ для взрослого населения) и формальдегида (до $1,99 \cdot 10^{-4}$ для детского населения, до $2,13 \cdot 10^{-4}$ для взрослого населения).

Оценка острого и хронического неканцерогенного ингаляционного воздействия исследуемых веществ на здоровье населения Норильска выявила превышения допустимого значения коэффициента опасности ($HQ = 1$) в отношении азота оксида (до 1,65 HQcr), азота диоксида (до 4,55 HQcr), бензола (до 4,85 HQcr), взвешенных веществ (до 8,27 HQac), гидроксibenзола (до 2,64 HQcr), дигидросульфида (до 12,8 HQcr), кобальта оксида (до 3,2 HQcr), меди оксида (до 145 HQcr), никеля оксида (до 41,5 HQcr), серы диоксида (до 21,8 HQcr), формальдегида (до 12,4 HQcr) (см. табл. 3).

Таким образом, по результатам *третьего этапа* работ было предложено включить в перечень 12 химических веществ: азота оксид, азота диоксид, бензол, взвешенные вещества, гидроксibenзол (фенол), дигидросульфид (сероводород), кобальт оксид (в пересчёте на кобальт), медь (II) оксид (в пересчёте на медь), никель оксид (в пересчёте на никель), сера диоксид (ангидрид сернистый), углерод оксид, формальдегид.

Для обоснования окончательного варианта перечня химических веществ для задач мониторинга на территории Норильска с применением лабораторно-инструментальных методов в рамках федерального проекта «Чистый воздух» была сформирована табл. 4, в которой знаком «+» отмечено наличие показателя, а знаком «—» — его отсутствие.

В связи с отсутствием методик определения в атмосферном воздухе пыли неорганической (до 20% SiO₂) и пыли неорганической (20–70% SiO₂) эти вещества предложено определять в составе взвешенных веществ (сумма пылей).

В окончательный перечень загрязняющих веществ, рекомендованных Росгидромету и Роспотребнадзору для мониторинга на территории Норильска с применением лабораторно-инструментальных методов, вошли 19 веществ: азота (II) оксид, азота диоксид, бенз(а)пирен, бензол, взвешенные вещества, взвешенные частицы PM₁₀, взвешенные частицы PM_{2,5}, гидроксibenзол (фенол), дигидросульфид (сероводород), кобальт оксид, марганец и его соединения, медь (II) оксид (в пересчёте на медь), никель оксид (в пересчёте на никель), серная кислота, свинец и его неорганические соединения (в пересчёте на свинец), серы диоксид, углерода оксид, формальдегид, хром.

К числу приоритетных были отнесены 13 химических веществ, формирующих риски для здоровья населения, значительно превышающие приемлемый уровень: азота оксид, азота диоксид, бензол, взвешенные вещества, взвешенные

частицы PM_{10} , взвешенные частицы $PM_{2.5}$, гидроксibenзол (фенол), дигидросульфид (сероводород), кобальт оксид, медь (II) оксид (в пересчёте на медь), никель оксид (в пересчёте на никель), серы диоксид, формальдегид.

Взвешенные частицы PM_{10} и взвешенные частицы $PM_{2.5}$ были включены экспертно, в соответствии с рекомендациями ВОЗ по качеству атмосферного воздуха и здоровья [1–4].

Обсуждение

Полученные результаты исследования хорошо коррелируют как с международными, так и с отечественными подходами к мониторингу качества воздуха [5–8].

Эксперты ВОЗ обращают внимание, что эффективные действия по снижению уровней загрязнения воздуха требуют глубокого понимания того, каким образом загрязнение воздуха воздействует на людей [9–11]. Необходимы количественные оценки воздействия загрязнения воздуха на здоровье людей, позволяющие лицам, определяющим политику, и другим заинтересованным сторонам разрабатывать и осуществлять более эффективные стратегии по его снижению [12, 13]. Оценка рисков для здоровья, связанных с загрязнением воздуха, может способствовать этому процессу, позволяя ответить на конкретные вопросы в области политики [14].

Отечественные исследователи также считают, что создание в рамках федерального проекта «Чистый воздух» достоверной системы мониторинга качества атмосферного воздуха, ориентированной на наблюдение за веществами, оказывающими существенное влияние на здоровье населения, является важной научно-практической задачей [15].

Заключение

Для решения задач, поставленных федеральным проектом «Чистый воздух», в том числе по внедрению информационной системы анализа качества атмосферного воздуха, необходимо определение перечня химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух Норильска, для наблюдения за его качеством с применением лабораторно-инструментальных методов исследования.

Обоснование перечня приоритетных химических веществ необходимо выполнять не только с учётом гигиенических критериев, но и с использованием критериев риска для здоровья населения [16–20].

Использование методологии оценки риска позволило выделить наиболее опасные для здоровья жителей Норильска вещества, подлежащие контролю: азота оксид, азота диоксид, бензол, взвешенные вещества, взвешенные частицы PM_{10} , взвешенные частицы $PM_{2.5}$, гидроксibenзол (фенол), дигидросульфид (сероводород), кобальт оксид, медь (II) оксид (в пересчёте на медь), никель оксид (в пересчёте на никель), серы диоксид, формальдегид.

Реализация действий по расширению программ натуральных исследований, совершенствованию существующей наблюдательной сети за состоянием атмосферного воздуха Росгидромета и социально-гигиенического мониторинга Роспотребнадзора на территории города Норильска позволит в дальнейшем обоснованно оценить наличие/отсутствие улучшения качества атмосферного воздуха города по возможно широкому перечню показателей, а также результативность и эффективность воздухоохраняющих мероприятий, предусмотренных федеральным проектом «Чистый воздух».

Литература

(п.п. 1, 2, 4–10, 12, 13, 20 см. References)

- ВОЗ. Оценка рисков для здоровья, связанных с загрязнением воздуха. Общие принципы. Копенгаген; 2016. Available at: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/300876/Health-risk-assessment-air-pollution-General-principles-ru.pdf (Дата обращения: 28.02.2020)
- ВОЗ. Обзор данных о воздействии загрязнения воздуха на здоровье – проект REVIHAAP. Копенгаген; 2013. Available at: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/218574/REVIHAAP-Final-technical-report-Rus.pdf (Дата обращения: 23.03.2020)
- Информационный бюллетень о ЦУР – Качество воздуха и здоровье (задачи ЦУР 3.9, 7.1 и 11.6); 2018. Available at: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/385960/fs-sdg-3-9-air-rus.pdf (Дата обращения 23.03.2020)
- Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Горяев Д.В. Методические подходы к выбору точек и программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха в рамках социально-гигиенического мониторинга для задач федерального проекта «Чистый воздух». *Анализ риска здоровью*. 2019; (3): 4–17. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.01>
- 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>
- Ракицкий В.Н., Авалиани С.Л., Новиков С.М., Шашина Т.А., Долина 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): 30–6. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.03>
- Май И.В., Кокоулина А.А., Балашов С.Ю. К вопросу оптимизации мониторинга качества атмосферного воздуха для реализации федерального проекта «Чистый воздух». *Медицина труда и промышленная экология*. 2019; 59(11): 931–6. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-11-931-936>
- Окс Е.И., Парамонова Е.С., Бачина А.В., Брагина О.Н., Глебова Л.А., Стребкова Е.Д. и соавт. Выбор приоритетных загрязняющих веществ атмосферного воздуха г. Новокузнецка для контроля в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух». В кн.: Попова А.Ю., Зайцева Н.В., ред. *Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: Материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых учёных и специалистов Роспотребнадзора с международным участием*. Пермь; 2019: 24–9.

References

- WHO. Air Quality Guidelines. Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen; 2006. Available at: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1 (Accessed 28.02.2020)
- WHO. Burden of disease from the joint effects of household and ambient air pollution for 2016. Geneva; 2018. Available at: https://www.who.int/airpollution/data/AP_joint_effect_BoD_results_May2018.pdf?ua=1 (Accessed 28.02.2020)
- WHO. Health risk assessment of air pollution. General principles. Copenhagen; 2016. Available at: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/298482/Health-risk-assessment-air-pollution-General-principles-en.pdf (Accessed 28.02.2020)
- WHO. Exposure to ambient air pollution from particulate matter for 2016. Summary of results. Geneva; 2018. Available at: https://www.who.int/airpollution/data/AAP_exposure_Apr2018_final.pdf?ua=1 (Accessed 23.03.2020)
- Air quality in Europe: 2016 report. Luxembourg: European Environment Agency; 2016. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016> (Accessed 23.03.2020)
- Air quality in Europe: 2017 report. Luxembourg: European Environment Agency; 2017. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017> (Accessed 23.03.2020)
- Air quality in Europe – 2018 report. Luxembourg: European Environment Agency; 2018. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018> (Accessed 23.03.2020)
- Air quality in Europe – 2019 report. Luxembourg: European Environment Agency; 2019. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019> (Accessed 23.03.2020)

9. WHO. Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: clean air, health and wealth. Copenhagen; 2015. Available at: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf (Accessed 23.03.2020)
10. WHO. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. Geneva; 2016. Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/10665/250141/1/9789241511353-eng.pdf?ua=1> (Accessed 23.03.2020)
11. WHO. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project. Copenhagen; 2013. Available at: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1 (Accessed 23.03.2020)
12. WHO. WHO outdoor air quality guidelines. Copenhagen; 2018. Available at: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/policy/who-outdoor-air-quality-guidelines> (Accessed 23.03.2020)
13. WHO. WHO Expert Consultation: Available evidence for the future update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs). Bonn; 2016. Available at: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2016/who-expert-consultation-available-evidence-for-the-future-update-of-the-who-global-air-quality-guidelines-aqgs-2016> (Accessed 23.03.2020)
14. Fact sheet on the SDGs: Air quality and health; 2018. Available at: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0012/385959/fs-sdg-3-9-air-eng.pdf (Accessed 23.03.2020)
15. Zaytseva N.V., May I.V., Kleyn S.V., Goryaev D.V. Methodical approaches to selecting observation points and programs for observation over ambient air quality within social and hygienic monitoring and “pure air” federal project. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (3): 4-17. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.01> (in Russian)
16. 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> (in Russian)
17. 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): 30-6. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.03> (in Russian)
18. May I.V., Kokoulina A.A., Balashov S.Yu. On the issue of optimization of atmospheric air quality monitoring for the implementation of the Federal project «Clean Air». *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2019; 59(11): 931-6. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-11-931-936> (in Russian)
19. Oks E.I., Paramonova E.S., Bachina A.V., Bragina O.N., Glebova L.A., Strebkova E.D. et al. The selection of priority air pollutants in Novokuznetsk for monitoring as part of the federal project «Clean Air». In: Popova A.Yu., Zaytseva N.V., eds. *Fundamental and Applied Aspects of Public Health Risk Analysis: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Internet Conference of Young Scientists and Specialists of Rosпотребнадзор with International Participation [Fundamental'nye i prikladnye aspekty analiza riska zdorov'yu naseleniya: Materialy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov Rosпотребнадзора s mezhdunarodnym uchastiem]*. Perm'; 2019: 24-9. (in Russian)
20. WHO. Risk of bias assessment instrument for systematic reviews informing WHO global air quality guidelines; 2020. Available at: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2020/risk-of-bias-assessment-instrument-for-systematic-reviews-informing-who-global-air-quality-guidelines-2020> (Accessed 23.03.2020)