



Кузьмин С.В., **Авалиани С.Л.**, Додина Н.С., Шашина Т.А., Кислицин В.А.,
Синицына О.О.

Практика применения оценки риска здоровью в федеральном проекте «Чистый воздух» в городах-участниках (Череповец, Липецк, Омск, Новокузнецк): проблемы и перспективы

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, Мытищи, Россия

Введение. Объектом исследования являются результаты, полученные в ходе выполнения в 2020 г. в курируемых ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) городах – участниках федерального проекта (ФП) «Чистый воздух» и оценка возможности реализации поставленных перед Роспотребнадзором задач по эффективному управлению рисками здоровью, снижению заболеваемости и смертности населения.

Цель исследования – оценка риска здоровью населения по данным сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха в городах Череповец, Липецк, Омск, Новокузнецк при реализации ФП «Чистый воздух» (базовый уровень, 2017 г.).

Материалы и методы. Основной подход при реализации ФП «Чистый воздух» в 2020 г. состоял в использовании исходных данных (сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха) и получении на их основе уровней экспозиции и рисков здоровью населения. Для расчётов разовых и среднегодовых концентраций применён программный продукт серии «Эколог-Город». Процедура оценки риска здоровью проведена в соответствии с требованиями Руководства Р 2.1.10.1920-04.

Результаты. Проведены исследования по оценке риска здоровью населения на основе данных сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха в городах – участниках ФП «Чистый воздух» (Череповец, Липецк, Омск, Новокузнецк) в 2017 г. до начала проведения мероприятий, предусмотренных Комплексными планами по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Оценка риска здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха позволила установить: приоритетные соединения, содержащиеся в промышленных выбросах, основные промышленные источники и их долевой вклад, а также вклад выбросов автотранспорта и автономных источников теплоснабжения (АИТ) в формирование уровней загрязнения атмосферного воздуха на территории городов; определено население, подверженное воздействию неприемлемых уровней риска; выделены вещества, которые следует учесть при квотировании выбросов.

Заключение. Рекомендованы варианты повышения качества подготовки исходных данных сводных расчётов для оценки риска здоровью.

Ключевые слова: оценка риска; здоровье населения; инвентаризация выбросов; сводные расчёты; квотирование

Для цитирования: Кузьмин С.В., Авалиани С.Л., Додина Н.С., Шашина Т.А., Кислицин В.А., Синицына О.О. Практика применения оценки риска здоровью в федеральном проекте «Чистый воздух» в городах-участниках (Череповец, Липецк, Омск, Новокузнецк): проблемы и перспективы. *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (9): 890–896. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896>

Для корреспонденции: Додина Наталья Сергеевна, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. отд. анализа риска здоровью населения ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи. E-mail: dodinans@fferisman.ru

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов: Кузьмин С.В. – концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Авалиани С.Л. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста; Додина Н.С. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Шашина Т.А. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Кислицин В.А. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста; Синицына О.О. – концепция и дизайн исследования, написание текста.

Поступила 15.06.2021 / Принята к печати 17.08.2021 / Опубликована 20.09.2021

Sergej V. Kuzmin, **Simon L. Avaliani**, Natal`ya S. Dodina, Tatyana A. Shashina,
Viktor A. Kislitsin, Oksana O. Sinitsyna

The practice of applying health risk assessment in the Federal Project “Clean Air” in the participating cities (Cherepovets, Lipetsk, Omsk, Novokuznetsk): problems and prospects

F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Mytishchi, 141014, Russian Federation

Introduction. The object of the study is the results obtained during the implementation of the Federal Project (FP) “Clean Air” in 2020 in the supervised participating cities and the assessment of the possibility of implementing the tasks set for Rosпотребнадзор for effective health risk management, reducing morbidity and mortality of the population. The purpose of the study is to assess the risk to public health according to the summary calculations of atmospheric air pollution in the cities of Cherepovets, Lipetsk, Omsk, Novokuznetsk during the implementation of the FP “Clean Air” (baseline, 2017).

Materials and methods. The primary approach to implementing the FP “Clean Air” in 2020 is to use the initial data (summary calculations of atmospheric air pollution) and obtain on their basis the levels of exposure and risks to public health. A software product of the “Ecolog-Gorod” series was used to calculate single and average annual concentrations. The health risk assessment procedure was carried out under the requirements of the manual R 2.1.10.1920-04.

Results. Studies were conducted to assess the risk to public health based on the data of summary calculations of atmospheric air pollution in the cities participating in the FP “Clean Air” (Cherepovets, Lipetsk, Omsk, Novokuznetsk) in 2017 before the start of the measures provided for by the Comprehensive Plans to reduce emissions of pollutants into the atmospheric air. The assessment of the public health risk from atmospheric air pollution made it possible to establish: priority com-

pounds contained in industrial emissions, the primary industrial sources and their share contribution, as well as the contribution of motor transport and independent heat supply sources emissions to the formation of pollution levels in cities; the population exposed to unacceptable risk levels were determined; substances that should be taken into account when quoting emissions were identified. The variants of improving the quality of preparation of the initial data of summary calculations for health risk assessment are recommended.

Conclusion. There are suggested approaches to improving the quality of preparation of initial data of consolidated calculations for health risk assessment.

Keywords: risk assessment; public health; inventory of emissions; summary calculations; quotas

For citation: Kuzmin S.V., Avaliani S.L., Dodina N.S., Shashina T.A., Kislitsin V.A., Sinitsyna O.O. The practice of applying health risk assessment in the Federal Project "Clean Air" in the participating Cities (Cherepovets, Lipetsk, Omsk, Novokuznetsk): problems and prospects. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100 (9): 890-896. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896> (In Russ.)

For correspondence: Natalia S. Dodina, MD, PhD, leading researcher of the Department of Risk Analysis for Public Health of F.F. Erisman of the Federal Scientific Center of Hygiene of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, PhD of Medical Sciences, Mytishchi, 141014, Russian Federation. E-mail: dodinans@fferisman.ru

Information about authors:

Kuzmin S.V., <https://orcid.org/0000-0002-9119-7974> Avaliani S.L., <https://orcid.org/0000-0002-3113-7101> Dodina N.S., <https://orcid.org/0000-0001-6693-922X>
Shashina T.A., <https://orcid.org/0000-0002-4190-0326> Kislitsin V.A., <https://orcid.org/0000-0002-6575-2882> Sinitsyna O.O., <https://orcid.org/0000-0002-0241-0690>

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Contribution: Kuzmin S.V. – concept and design of the study, writing the text, editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; Avaliani S.L. – concept and design of study, collection and processing of the material, writing the text; Dodina N.S. – concept and design of study, collection and processing of the material, writing the text; statistical processing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; Shashina T.A. – concept and design of study, collection and processing of the material, writing the text; statistical processing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; Kislitsin V.A. – concept and design of study, collection and processing of the material, writing the text; statistical processing; Sinitsyna O.O. – concept and design of study, writing the text.

Received: June 15, 2021 / Accepted: August 17, 2021 / Published: September 20, 2021

Введение

В современном мире одной из самых актуальных проблем является состояние качества атмосферного воздуха мегаполисов и крупных городов и, как следствие, связанное с ним состояние здоровья населения [1, 2].

В большинстве стран мира снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха и минимизация его негативного воздействия на здоровье населения достигается путём разработки и реализации мер экологической политики, основанных на научно обоснованных критериях. Результативность и эффективность экологической политики возможны только при тесном взаимодействии бизнеса, природоохранных органов и органов здравоохранения.

Примером такого взаимодействия в настоящее время является реализуемый с 2019 г. федеральный проект (ФП) «Чистый воздух» национального проекта «Экология» [3–5]. Поэтапное выполнение запланированных мероприятий к 2024 г. должно привести к снижению совокупного объёма вредных выбросов в атмосферный воздух в 12 городах-участниках более чем на 20% по сравнению с 2017 г.

В число 12 городов – участников реализации ФП «Чистый воздух» в том числе входят города Череповец, Липецк, Омск и Новокузнецк, научно-методическое кураторство исследований в которых осуществляет ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора».

Достижение глобальной цели ФП «Чистый воздух» по уменьшению совокупного объёма загрязняющих атмосферный воздух химических веществ (ХВ) разбито на несколько этапов. Основная цель этапа 2020 г. – оценить риск здоровью населения по данным сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха по сравнению с 2017 г., то есть до начала проведения мероприятий по снижению выбросов, предусмотренных комплексными планами ФП «Чистый воздух»¹.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

1. Выполнить идентификацию опасности – определение приоритетных ХВ, загрязняющих атмосферный воздух, и источники их поступления в атмосферный воздух.
2. Оценить экспозицию населения ХВ по результатам моделирования рассеивания выбросов, получить средние и максимальные концентрации.

3. Рассчитать канцерогенные и неканцерогенные риски здоровью населения на уровне 2017 г.

4. Определить население, подверженное воздействию приоритетных ХВ, загрязняющих атмосферный воздух, в зависимости от уровней риска здоровью.

5. Выделить вещества, которые следует учесть при квотировании выбросов, учитывая их потенциальное канцерогенное и неканцерогенное острое и хроническое воздействие на здоровье человека в четырёх городах – участниках ФП «Чистый воздух».

Материалы и методы

Используемые в работе материалы и методы соответствовали поставленным задачам исследования.

Для идентификации опасности, оценки экспозиции и рисков здоровью использовали базы данных о стационарных и передвижных источниках выбросов загрязняющих веществ по четырём городам – участникам ФП «Чистый воздух» на базовом уровне (2017 г.). Базы данных содержали сведения по количеству промышленных объектов, числу источников выбросов (организованных и неорганизованных), параметры источников стационарных выбросов с учётом объёмов поступающих в атмосферный воздух ХВ, а также параметры выбросов автотранспорта и АИТ. В табл. 1 представлен свод исходных данных по источникам поступления ХВ в атмосферный воздух городов – участников ФП «Чистый воздух», которые использовались для расчётов риска здоровью населения. Максимальные объёмы выбросов от стационарных источников характерны для г. Череповца (387 626,89 т/год), а минимальные – для г. Омска (217 641,14 т/год).

В соответствии с методиками расчётов выбросов от автотранспорта и АИТ учтены число участков автодорог и количество домов частного сектора с характерным видом используемого топлива (дровяное, газ, уголь). Наибольшие объёмы выбросов от автотранспорта (1638,70 т/год) и АИТ (18 775,88 т/год от 338 источников) поступали в атмосферный воздух г. Новокузнецка.

Для проведения процедуры ранжирования ХВ использовали: сведения об объёмах выбросов в атмосферный воздух данные мониторинга содержания ХВ в окружающей среде; сведения о вредных эффектах; значения референтных уровней воздействия; ранжирование веществ по вкладу в суммарный объём выбросов по городу² [6, 7].

¹ Паспорт национального проекта «Экология». Утв. президентом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол № 16 от 24.12.2018 г. [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_316096/

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

Таблица 1 / Table 1

Исходные данные по источникам поступления химических веществ в атмосферный воздух четырёх городов ФП «Чистый воздух» для оценки риска здоровью населения**Basic data on the chemical substances sources entering the atmospheric air of 4 cities of the Federal Project (FP) "Clean Air" for assessing the risk to public health**

Показатель Parameter		Город City			
		Липецк Lipetsk	Омск Omsk	Новокузнецк Novokuznetsk	Череповец Cherepovets
Количество загрязняющих веществ (все источники)	Amount of pollutants (all sources)	291	334	127	171
Количество промышленных объектов	Amount of industrial facilities	721	245	137	206
Стационарные источники выбросов:	Stationary sources of emissions:				
количество всего	total amount	7465	6748	2768	3797
организованных	organized	3914	5193	1662	2334
неорганизованных	unorganized	3551	1555	1106	1463
объёмы выбросов, т/г	emissions volumes, t/g	371 371.49	217 641.14	337 778.56	387 626.89
Автотранспорт:	Automobile transport:				
объёмы выбросов, т/г	emissions volumes, t/g	722.36	1113.30	1638.70	754.17
кол-во участков автодорог	amount of road sections	103	298	74	91
Автономные источники теплоснабжения (АИТ):	Autonomous heat supply sources (AHSS):				
объёмы выбросов, т/г	emissions volumes, t/g	916.82	5390.12	18 775.88	85.63
количество АИТ	amount of AHSSs	246	471	338	237

Расчёт приземных концентраций вредных загрязняющих веществ в атмосфере, содержащихся во всех видах выбросов гг. Череповца, Липецка, Омска, Новокузнецка, методом моделирования рассеивания проводили с применением УПРЗА «Эколог-город» 4.6, разработанного фирмой «Интеграл» (г. Санкт-Петербург).

При моделировании рассеивания выбросов для оценки экспозиций и рисков здоровью населения использовали следующие расчётные сетки, равномерно покрывающие территории четырёх городов:

- г. Череповец – всего 7881 точка, из них 1044 точки воздействия приходится на 10 жилых зон города;
- г. Липецк – всего 18 081 точка, из них 2020 точек воздействия приходится на 57 жилых зон;
- г. Омск – всего 7921 точка, из них 834 точки воздействия приходится на 5 жилых зон;
- г. Новокузнецк – всего 21 195 точек, из них 2029 точек воздействия приходится на 6 жилых зон.

Проведены расчёты приземных среднегодовых концентраций, значений канцерогенных и неканцерогенных рисков приоритетных химических веществ во всех точках воздействия как суммарно от всех трёх типов источников, так и от каждого типа (промышленные предприятия, автотранспорт, АИТ) по отдельности для каждого из четырёх оцениваемых в ФП «Чистый воздух» городов.

Все этапы исследования проведены в соответствии с требованиями утверждённых методических документов руководства Р 2.1.10.1920-04 и МР 2.1.10.0156-19³.

Результаты

Определены приоритетные соединения, оказывающие наибольшее неблагоприятное воздействие на здоровье и содержащиеся в выбросах промышленных предприятий, автотранспорта и АИТ гг. Череповца, Липецка, Омска, Ново-

кузнецка. Установлены основные стационарные источники выбросов приоритетных ХВ.

Базовым являлся уровень загрязнения атмосферного воздуха и количества выбросов на 2017 г.

Для большинства изученных территорий основная канцерогенная опасность (более 70%) формировалась за счёт небольшого количества веществ: в гг. Череповце и Липецке – 6 ХВ определяют более 95% канцерогенной опасности; в г. Омске – 3 ХВ формируют 97% относительной канцерогенной опасности; в г. Новокузнецке – 3 ХВ отвечают за 94% относительной канцерогенной опасности.

Основными источниками наиболее опасных выбросов для здоровья населения г. Череповца являются ПАО «Северсталь», ВРД Череповецк – ОСП Ниж. филиала ОАО «Вагонная ремонтная компания-2», АО «Череповецкий фанерно-мебельный комбинат» (АО «ЧФМК»), ООО «РУТГЕРС СЕВЕРТАР», ОАО «Череповецкая спичечная фабрика «ФЭСКО», АО «Апатит». Фосфорный комплекс. Серноокислотное производство.

Приоритетными стационарными источниками выбросов г. Липецка являлись Промплощадка предприятия № 1 – основная площадка НЛМК, АО «Липецкцемент», ПАО «КВАДРА» – ПП «Липецкая ТЭЦ-2», ПАО «КВАДРА» – ПП «Липецкие тепловые сети», АО «ИНДЕЗИТ ИНТЕРНЭШНЛ».

Основным источником наиболее опасных канцерогенных выбросов в г. Омске являлся ПАО «Омский каучук», определяющий 90,8% вклада в канцерогенную опасность от выбросов всех источников по г. Омску. Потенциальная неканцерогенная опасность определялась выбросами АО «ТГК-11» – СП «ТЭЦ-5», АО «ТГК-11» – СП «ТЭЦ-4», АО «Газпромнефть» – Омский НПЗ «Основная площадка».

В г. Новокузнецке основным источником выбросов являлся АО «ЕВРАЗ ЗСМК» (площадки строительного и рельсового проката), АО «Кузнецкие ферросплавы», АО «Завод Универсал», ООО «Западно-Сибирский электрометаллургический завод». Также значимый вклад в формирование суммарной канцерогенной нагрузки вносили пять котельных ООО «СибЭнерго».

³ 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».

Таблица 2 / Table 2

Количество населения городов – участников ФП «Чистый воздух», подверженное неприемлемому уровню канцерогенного и неканцерогенного риска**The number of the population of the cities participating in the FP "Clean Air" exposed to an unacceptable level of cancer and non-cancer risk**

Город City	Общая численность населения жилой зоны, человек The total population of the residential area, people	Количество населения, подверженное неприемлемому уровню риска, человек (%) The number of the population exposed to an unacceptable level of risk, people (%)
Канцерогенный риск ($CR > 1,0 \cdot E^{-4}$)		
Хром (VI) оксид		
<i>Carcinogenic risk ($CR > 1.0 \cdot E^{-4}$)</i>		
<i>Chromium (VI) oxide</i>		
Омск	Omsk	1 160 800
Череповец	Cherepovets	98 226
Формальдегид / Formaldehyde		
Череповец	Cherepovets	28 102
Суммарный канцерогенный риск / Total cancer risk		
Череповец	Cherepovets	126 328
Липецк	Lipetsk	32 645
Омск	Omsk	1 160 800
Новокузнецк	Novokuznetsk	91 794
Неканцерогенный риск (Всего $HQ > 1,0$ / Из них $HQ \geq 3,0$)		
Бенз(а)пирен		
<i>Non-cancer risk (Total $HQ > 1.0$ / Of which $HQ \geq 3.0$)</i>		
<i>Benz(a)pyrene</i>		
Новокузнецк	Novokuznetsk	549 404
Омск	Omsk	1 160 800
Гидроцианид / Hydrocyanide		
Новокузнецк	Novokuznetsk	176 864
Азот диоксид / Nitrogen dioxide		
Новокузнецк	Novokuznetsk	339 626
Омск	Omsk	275 900
Череповец	Cherepovets	196 610
Керосин / Kerosene		
Новокузнецк	Novokuznetsk	91 794
Липецк	Lipetsk	165 825
Череповец	Cherepovets	98 150
Сера диоксид / Sulfur dioxide		
Новокузнецк	Novokuznetsk	91 794
Омск	Omsk	1 160 800
Липецк	Lipetsk	32 645
Дигидросульфид / Dihydrosulfide		
Омск	Omsk	251 000
Бензол / Benzene		
Омск	Omsk	263 600
Марганец / Manganese		
Липецк	Lipetsk	113 676
Череповец	Cherepovets	316 621
Циклогексанол / Cyclohexanol		
Липецк	Lipetsk	45 455
Медь оксид / Copper oxide		
Липецк	Lipetsk	14 917
Никель оксид / Nickel oxide		
Липецк	Lipetsk	39 221

Для большинства канцерогенноопасных соединений (базовый уровень, 2017 г.) установлено отсутствие превышения приемлемого уровня канцерогенного риска (CR).

Однако для территории двух городов (Череповец и Омск) выявлены вещества, воздействие которых может прогнозироваться на неприемлемом для населения уровне (более $1,0 \cdot E^{-4}$):

- в г. Череповце: превышения приемлемого уровня CR прогнозируются только для максимальных значений в точках воздействия жилых районов №№ 1, 3, 5 (хром VI – Индустриальный район и Шубацкое, формальдегид – Северный район); максимальный уровень CR характерен для формальдегида ($2,8 \cdot E^{-4}$) в точке воздействия, расположенной в жилой зоне № 5 МР Северный район;
- в г. Омске превышения приемлемого уровня CR прогнозируются от воздействия хрома (VI) оксида в рецепторных точках пяти жилых районов (Ленинский, Кировский, Центральный, Октябрьский, Советский).

Анализ распределения величин индивидуального CR здоровью населения от воздействия атмосферных загрязнений, содержащихся в выбросах всех источников (промпредприятия, автотранспорт, АИТ), показал, что на территориях гг. Липецка и Новокузнецка превышение приемлемого уровня характерно исключительно для суммарного CR. Так, в г. Липецке превышения суммарного CR отмечены на территории только одной жилой зоны № 46 (микрорайон Новолипецк. $CR = 3,0 \cdot E^{-4}$), а в г. Новокузнецке превышения суммарного CR характерны для жилой зоны № 5 (район Заводской $CR = 1,4 \cdot E^{-4}$).

Оценка неканцерогенных рисков от воздействия выбросов промышленных предприятий, автотранспорта и АИТ показала, что значения коэффициентов опасности (НҚ) индивидуальных веществ в большинстве случаев на территориях четырёх городов – участников ФП «Чистый воздух» не превышают приемлемый уровень риска для населения ($HQ = 1$) на базовый уровень 2017 г.

Для каждого города характерны отдельные ХВ, воздействие которых отмечалось на максимальном неприемлемом уровне: в г. Череповце максимальные значения НҚ (HQ_{max}) марганца доходили до $HQ_{max} = 5$; в г. Липецке HQ_{max} керосина = 13,6; в г. Омске HQ_{max} бенз(а)пирена = 4,2; в г. Новокузнецке HQ_{max} керосина = 6,2.

Анализ значений неканцерогенного риска с учётом влияния на критические органы и системы (НІ) показал, что в г. Череповце превышения приемлемого уровня риска достигали до 5,3 для нервной системы и до 4,8 для органов дыхания; в г. Липецке максимальные значения НІ по влиянию на критические органы и системы составляли: печень (НІ до 13,6), органы дыхания (НІ до 8,4), кровь (НІ до 8,2), нервная система (НІ до 5,4); превышение суммарного неканцерогенного риска наблюдалось в г. Омске по влиянию на развитие (НІ до 4,7), иммунную систему (НІ до 4,7), органы дыхания (НІ до 4,2); а в г. Новокузнецке на органы дыхания (НІ до 10), сердечно-сосудистую систему (НІ до 4,6), кровь (НІ до 4,8), иммунную систему (НІ до 3,9), печень (НІ до 6,4), развитие (НІ до 4), эндокринную систему (НІ до 3,7), нервную систему (НІ до 3,7).

Анализ распределения по территориям городов значений канцерогенного и канцерогенного рисков с использованием геоинформационных систем позволил выделить конкретные улицы, попадающие в зоны неприемлемого риска здоровью, и рассчитать количество населения, подверженное неприемлемым уровням риска. Полученные результаты в перспективе позволят осуществлять более «адресные» мероприятия, направленные на минимизацию риска здоровью (табл. 2).

Установлены вещества, которые по результатам оценки риска здоровью следует учесть при квотировании выбросов, принимая во внимание их потенциальное канцерогенное и неканцерогенное острое и хроническое воздействие на здоровье в четырёх городах – участниках ФП «Чистый воздух»:

- в г. Череповце: марганец, железо оксид, бензол, диоксиды азота и серы, бенз(а)пирен, хром (VI), нафталин, никель

оксид, дигидросульфид, формальдегид, азот оксид, аммиак, керосин, серная кислота, пыли неорганические 20% SiO_2 и 70–20% SiO_2 ;

- в г. Липецке: диалюминий триоксид, марганец, оксиды меди и никеля, оксиды азота, сажа, сера диоксид, дигидросульфид, бензол, скил, дижелезо триоксид, циклогексанол, проп-2-ен-1-аль, керосин, пыли неорганические > 70% SiO_2 и до 20% SiO_2 ;
- в г. Омске: хром (VI) оксид, сажа, керосин, пыли неорганические > 70% SiO_2 и 70–20% SiO_2 , бенз(а)пирен, дигидросульфид, диоксиды азота и серы, бензол, угольная зола ($20 < SiO_2 < 70$), мазутная зола теплоэлектростанций (в пересчёте на ванадий), фенол, серная кислота, бута-1,3-диен, марганец, оксиды меди и никеля, проп-2-еннитрил;
- в г. Новокузнецке: сажа, диоксиды азота и серы, аммиак, керосин, пыли неорганические > 70% SiO_2 и до 20% SiO_2 , марганец, бенз(а)пирен, дигидросульфид, бензол, формальдегид, угольная пыль ($20 < SiO_2 < 70$), марганец, смолистые вещества.

При установлении долевого вклада источников в формирование экспозиции и значений рисков проведены расчёты, позволяющие определить вклады отдельных предприятий, автотранспорта и АИТ. С этой целью выбраны точки в жилых районах четырёх городов-участников, в которых получены наибольшие концентрации приоритетных ХВ, предложенных для учёта при квотировании выбросов. Полученные результаты позволили установить долевого вклад для каждого приоритетного ХВ на жилых территориях города (точках с максимальными уровнями воздействия), ведущий тип источника загрязнения (конкретный стационарный источник, автотранспорт, АИТ).

Для ряда веществ приоритетными источниками поступления в атмосферный воздух могут являться не только стационарные объекты, но и автотранспорт и АИТ. Например, для г. Новокузнецка такой источник загрязнения атмосферного воздуха, как АИТ, в разных частях города формирует вклады в уровни загрязнения и риска здоровью от бенз(а)пирена от 40,9 до 99,2%. Вклад выбросов формальдегида, поступающего в атмосферный воздух от автотранспорта, находился в диапазоне от 11,5 до 87,5%.

Использование данного подхода предоставляет репрезентативную информацию об источниках загрязнения атмосферного воздуха, дающих наибольшие вклады в суммарную концентрацию в наиболее критичных точках жилых территорий городов – участников ФП «Чистый воздух».

Обсуждение

Оценка риска здоровью населения по данным сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха в рамках реалитации ФП «Чистый воздух» (базовый уровень, 2017 г.) позволила сделать выводы о количестве населения, подверженного воздействию приоритетных ХВ, загрязняющих атмосферный воздух, в том числе на неприемлемых уровнях риска здоровью, однако полученные значения риска с большой долей вероятности недооценены вследствие заниженных значений экспозиции ХВ, загрязняющих атмосферный воздух городов – участников ФП «Чистый воздух».

Заниженные значения экспозиции приоритетных ХВ могут быть связаны с проблемами следующего характера: представление в исходных данных для сводных расчётов неполного перечня предприятий, необходимых для включения в комплексные планы мероприятий по снижению выбросов в городах – участниках ФП «Чистый воздух», а также непроработанная для целей оценки риска здоровью методическая основа проведения сводных расчётов атмосферных загрязнений.

Сопоставление результатов отечественных и международных исследований, посвящённых вопросам оценки влияния выбросов передвижных и стационарных источников, с результатами оценки риска по данным сводных рас-

чѐтов загрязнения атмосферного воздуха при реализации ФП «Чистый воздух» (базовый уровень, 2017 г.), показало, что применяемые методики расчѐтов выбросов промышленных предприятий не позволяют характеризовать потенциальные уровни загрязнения атмосферного воздуха такими широко распространѐнными соединениями, как мелкодисперсные фракции взвешенных веществ PM10 и PM2,5, и в дальнейшем проводить оценку риска здоровью от их воздействия. По данным ВОЗ, PM10 и PM2,5 считаются наиболее опасными компонентами атмосферных загрязнений, что может приводить к росту смертности, увеличению обращаемости и госпитализации по причине обострения респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний как при остром (24 ч), так и при хроническом (год) воздействии на население [8–11].

Мероприятия, включѐнные в комплексные планы по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов – участников ФП «Чистый воздух», в основном ориентированы на снижение валовых объемов выбросов промышленных предприятий и практически не затрагивают варианты регулирования выбросов от передвижных источников. Однако многочисленными исследованиями установлено, что вклад выбросов автотранспорта в формирование неприемлемого уровня риска здоровью, в том числе канцерогенного, не менее важен, а для крупных городов более значим, чем выбросы стационарных источников загрязняющих веществ [12–15].

Результаты оценки риска здоровью, по данным сводных расчѐтов, также подтверждают подобные исследования и на отдельных территориях городов – участников ФП «Чистый воздух»: доля вклада ХВ, содержащихся в выбросах автотранспорта, в суммарную экспозицию от всех анализируемых источников превышала 50%.

К методическим недостаткам формирования исходных данных для сводных расчѐтов следует отнести практическое отсутствие мероприятий по снижению выбросов автотранспорта в комплексных планах городов – участников ФП «Чистый воздух», а также недоучѐт приоритетных ХВ, характерных для выбросов автотранспорта. Так, в соответствии с утверждѐнной Методикой определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчѐтов загрязнения атмосферного воздуха применяются десять соединений (оксиды азота, взвешенные частицы PM2,5, углерод оксид, керосин, серы диоксид, формальдегид, бенз(а)пирен, бензин, метан) [16, 17]. Тогда как многочисленными отечественными и международными исследованиями установлена приоритетная роль прежде всего 1,3-бутадиена, бензола, акролеина, PM 10, PM2,5 и прочих выбросов автотранспорта, что должно быть учтено при подготовке исходных данных для сводных расчѐтов загрязнения атмосферного воздуха [18, 19].

Проведѐнные расчѐты по установлению долевого вклада в формирование экспозиций и рисков здоровью населения

от конкретных источников (отдельных предприятий, автотранспорта и АИТ) позволили подтвердить важность учѐта мероприятий по увеличению газификации частного сектора. Так, Кемеровская область и входящий в её состав г. Новокузнецк относятся к территориям с самым низким уровнем газификации в Сибири (8,3%) [20]. Целесообразно рассмотреть возможность расширения перечня мероприятий комплексного плана по снижению выбросов г. Новокузнецка, направленных на увеличение газификации частного сектора, учитывая значимость долевого вклада АИТ в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха города. Например, доля бенз(а)пирена, поступающего в атмосферный воздух от источников АИТ, на разных территориях г. Новокузнецка составила от 40,9 до 99,2%. Полученные результаты подтверждаются и зарубежными исследованиями, в которых отмечается, что применение для отопления жилых помещений дров или угля может быть связано с краткосрочными эпизодами относительно высоких концентраций в атмосферном воздухе диоксидов азота и серы, мелкодисперсных взвешенных частиц и бенз(а)пирена [21].

Заключение

На основе опыта решения возложенных на Роспотребнадзор задач по реализации ФП «Чистый воздух» сформированы предложения, внедрение которых позволит проводить дальнейшие исследования с более высокой степенью достоверности и достигнуть поставленных задач⁴ по минимизации риска здоровью населения в городах-участниках с более точным учѐтом вклада стационарных и передвижных источников загрязнения атмосферного воздуха:

1. Совершенствование методических подходов к учѐту выбросов автотранспорта (с учѐтом его типа и вида используемого топлива), с обязательным учѐтом приоритетных выбросов (1,3-бутадиен, бензол, акролеин, PM10, PM2,5 и пр.).
2. Разработка методических документов по учѐту мелкодисперсных фракций взвешенных веществ (порядок отнесения тех или иных твѐрдых аэрозолей к определённым фракциям взвешенных веществ; порядок учѐта и контроля твѐрдых аэрозолей, обладающих более токсичными свойствами, чем взвешенные вещества и их мелкодисперсные фракции, и пр.).
3. Разработка методики получения долгопериодных (среднегодовых) концентраций с учѐтом неблагоприятных метеоусловий.
4. Совершенствование выбора перечней котируемых веществ и объектов (полноценный учѐт всех промышленных объектов (действующих/недействующих), учѐт расположения на территориях городов промышленных объектов, учѐт данных мониторинга всех ведомств, ведущих контроль качества атмосферного воздуха, и пр.).

⁴ МР 5.1.0158-19. Оценка экономической эффективности реализации мероприятий по снижению уровней загрязнения атмосферного воздуха на основе оценки риска здоровью населения.

Литература

1. ВОЗ. Неинфекционные заболевания и загрязнение атмосферного воздуха; 2019. Доступно по: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/397788/Air-Pollution-and-NCDs_RUS.pdf
2. WHO. Ambient (outdoor) air quality and health. Fact sheet. Geneva; 2018
3. Ревич Б.А. Национальный проект «Чистый воздух» в контексте охраны здоровья населения. *Экологический вестник России*. Доступно по: <https://ecovestnik.ru/index.php/2013-07-07-02-13-50/nashi-publikacii/3132-natsionalnyj-proekt-chistij-vozdukh-v-kontekste-okhrany-zdorovya-naseleniya>
4. 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>
5. Ракитский В.Н., Авалиани С.Л., Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А. Анализ риска здоровью при воздействии атмосферных загрязнений как составная часть стратегии уменьшения глобальной эпидемии неинфекционных заболеваний. *Анализ риска здоровью*. 2019; (4): 30–6. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.03>
6. Рахманин Ю.А., Онищенко Г.Г., ред. *Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду*. М.; 2002.
7. ВОЗ. Оценка риска для здоровья от загрязнения воздуха – общие принципы. Копенгаген; 2016.
8. Чичерин С. *Рамочный план организации мониторинга взвешенных веществ в атмосфере в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии*. Бонн: ВОЗ; 2006: 8–10.
9. Обзор данных о воздействии загрязнения воздуха на здоровье – проект REVIHAP. Краткое изложение научного отчета. ВОЗ; 2013.
10. Air quality in Europe – 2019 report. EEA Report № 9/2019. Доступно по: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>

11. Air quality in Europe – 2020 report. EEA Report № 9/2020. Доступно по: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>
12. Азаров В.К., Васильев А.В., Кутенев В.Ф. О причинах увеличивающегося загрязнения воздушной среды больших городов взвешенными частицами от эксплуатации автотранспортного комплекса. *Экология и промышленность России*. 2017; 21(8): 44–8. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-8-44-48>
13. Донченко В., Кунин Ю., Рузский А., Виженский В. Методы расчёта выбросов от автотранспорта и результаты их применения. *Журнал автомобильных инженеров*. 2014; (3): 44–51.
14. 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. *Thermal Sci*. 2018; 22(3): 1351–61.
15. Волкодаева М.В., Полуэктова М.М. К вопросу о расчетах загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта. *Экология урбанизированных территорий*. 2008; (3): 103–9.
16. Приказ Минприроды России № 804 «Об утверждении Методики определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха». М.; 2019.
17. Расчётная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух. Доступно по: <https://docplan.ru/Data2/1/4293832/4293832725.htm>
18. Шелмаков С.В., Трофименко Ю.В., Лобиков А.В. *Борьба с загрязнением атмосферы дисперсными частицами на автомобильном транспорте*. М.; 2018.
19. Трофименко Ю.В., Комков В.И., Кутырин Б.А., Деянов Д.А. Оценка выбросов загрязняющих веществ транспортными потоками на отдельных территориях Москвы. *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2020; (2): 84–91.
20. Земнухова Е.А. Направления газификации регионов Сибири как ключевое направление улучшения экологической обстановки в регионе. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2018; 2: 216–21. <https://doi.org/10.18303/2618-981X-2018-2-216-221>
21. ООН. ЕЭК. Отопление жилья древесиной и углем: воздействие на здоровье человека и варианты политики в Европе и Северной Америке. ECE/EB.AIR/2014/6; 2014.

References

1. WHO. Noncommunicable diseases and air pollution; 2019. Available at: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/397787/Air-Pollution-and-NCDS.pdf
2. WHO. Ambient (outdoor) air quality and health. Fact sheet. Geneva; 2018.
3. Revich B.A. National project “Clean Air” in the context of public health protection. *Ecological Bulletin of Russia*. Available at: <https://ecovestnik.ru/index.php/2013-07-07-02-13-50/nashi-publikacii/3132-natsionalnyj-proekt-chistyy-vozdukh-v-kontekste-okhrany-zdorovya-naseleniya> (in Russian)
4. 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)
5. 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)
6. Rakhmanin Yu.A., Onishchenko G.G., eds. *Fundamentals of Risk Assessment for Public Health when Exposed to Chemicals that Pollute the Environment [Osnovy otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu]*. Moscow; 2002. (in Russian)
7. WHO. Assessment of the health risk from air pollution-general principles. Copenhagen; 2016.
8. Chicherin S. *Framework Plan for the Organization of Monitoring of Suspended Substances in the Atmosphere in the Countries of Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia [Ramochnyy plan organizatsii monitoringa vzveshennykh veshchestv v atmosfere v stranakh Vostochnoy Evropy, Kavkaza i Tsentral'noy Azii]*. Bonn: WHO; 2006: 8–10. (in Russian)
9. Review of data on the health effects of air pollution-the REVIHAP project. Summary of the scientific report. WHO; 2013.
10. Air quality in Europe – 2019 report. EEA Report № 9/2019. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>
11. Air quality in Europe – 2020 report. EEA Report № 9/2020. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>
12. Azarov V.K., Vasil'ev A.V., Kutenev V.F. On the causes of the increasing air pollution in big cities suspended particles emitted by motor vehicles. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2017; 21(8): 44–8. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-8-44-48> (in Russian)
13. Donchenko V., Kunin Yu., Ruzskiy A., Vizhenskiy V. Methods for estimating emissions from vehicles and their application. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov*. 2014; (3): 44–51. (in Russian)
14. 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. *Thermal Sci*. 2018; 22(3): 1351–61.
15. Volkodaeva M.V., Poluektova M.M. To the question of calculation of the atmospheric air pollution caused by the motor transport emissions. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*. 2008; (3): 103–9. (in Russian)
16. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 804 «On approval of the Methodology for determining emissions of pollutants into the atmospheric air from mobile sources for conducting summary calculations of atmospheric air pollution». Moscow; 2019.
17. Calculation instructions (methodology) for the inventory of emissions of pollutants by motor vehicles into the atmospheric air. Available at: <https://docplan.ru/Data2/1/4293832/4293832725.htm>
18. Shelmakov S.V., Trofimenko Yu.V., Lobikov A.V. *Combating Atmospheric Pollution by Dispersed Particles in Road Transport [Bor'ba s zagryazneniem atmosfery dispersnymi chastitsami na avtomobil'nom transporte]*. Moscow; 2018. (in Russian)
19. Trofimenko Yu.V., Komkov V.I., Kutyryn B.A., Deyanov D.A. Assessment of pollutant emissions traffic flows on individual territories of Moscow. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. 2020; (2): 84–91. (in Russian)
20. Zemnukhova E.A. Directions of gasification of the Siberian regions as a key direction for improving the environmental situation in the region. *Interekspos Geo-Sibir'*. 2018; 2: 216–21. <https://doi.org/10.18303/2618-981X-2018-2-216-221> (in Russian)
21. UN. ECE. Heating homes with wood and coal: human health impacts and policy options in Europe and North America. ECE/EB.AIR/2014/6; 2014.