

Читать
онлайн
Read
online

Зайцева Н.В., Май И.В.

К обоснованию и корректировке перечня приоритетных загрязняющих веществ и объектов квотирования в целях управления качеством воздуха и аэрогенными рисками для здоровья населения

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
Роспотребнадзора, Россия, 614045, Пермь, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Цель федерального проекта «Чистый воздух», реализуемого в России с 2019 г., — существенное улучшение качества атмосферного воздуха через директивно управляемое сокращение выбросов приоритетных загрязняющих веществ, которые превышают гигиенические нормативы и (или) вносят вклад в риски для здоровья населения.

Цель исследования — с учётом накопленного опыта реализации проекта предложить алгоритм обоснования, верификации и корректировки перечней приоритетных загрязняющих и квотируемых объектов для управления качеством атмосферного воздуха и рисками для здоровья населения.

Материалы и методы. Сводные расчёты рассеивания выбросов, оценка риска для здоровья, данные инструментальных измерений качества воздуха на постах социально-гигиенического мониторинга городов проекта.

Результаты. В предложенный алгоритм действий по выбору и уточнению квотируемых веществ и источников их выбросов на территориях федерального проекта «Чистый воздух» включены верификация перечней приоритетных веществ данными инструментального мониторинга, обязательное выявление причин и источников расхождений между расчётными и натурными данными, идентификация и параметризация неучётных источников выбросов. В квотирование предлагаем включать источники, которые вносят вклад в нарушение гигиенических нормативов и неприемлемый риск для здоровья, независимо от категории объекта, суммарной массы выбросов и иных второстепенных признаков, не имеющих прямой связи с формируемым уровнем воздействия на среду обитания и здоровье населения.

Ограничение исследования связаны с анализируемым набором данных, которые получены только в городах, вошедших в эксперимент по квотированию. **Заключение.** Алгоритм предполагает изменение директивно установленного снижения выбросов всех хозяйствующих субъектов, имеющих в составе выбросов приоритетные вещества, на адресное просчитанное снижение, адекватное уровню риска и вкладу хозяйствующего субъекта в этот риск. В качестве обязательного элемента предлагается оценка результативности мероприятий проекта по критериям остаточного риска с верификацией данными мониторинга, эпидемиологическим и (или) специальными углублёнными медико-биологическими исследованиями. Сформулированы предложения по совершенствованию нормативно-правовой базы процедуры квотирования выбросов с повышением значимости критериев здоровья населения во всей системе управления качеством воздуха.

Ключевые слова: квотирование выбросов; приоритетные вещества; объекты квотирования; риски для здоровья; мониторинг

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требовало заключения комитета по биомедицинской этике, поскольку были использованы общедоступные данные официальной статистики.

Для цитирования: Зайцева Н.В., Май И.В. К обоснованию и корректировке перечня приоритетных загрязняющих веществ и объектов квотирования в целях управления качеством воздуха и аэрогенными рисками для здоровья населения. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(8): 1065–1074. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-8-1065-1074> <https://elibrary.ru/ihfuax>

Для корреспонденции: Май Ирина Владиславовна, e-mail: may@fcrisk.ru

Участие авторов: Зайцева Н.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Май И.В. — редактирование, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи. *Все соавторы* — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 04.07.2025 / Поступила после доработки: 28.07.2026 / Принята к печати: 06.08.2025 / Опубликовано: 25.09.2025

Nina V. Zaitseva, Irina V. May

On substantiating and correcting lists of priority pollutants and objects for which emission quotas in aims of management of ambient air quality and associated health risks

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

ABSTRACT

Introduction. The Federal Project “Clean Air” has been implemented in the country since 2019. Its aim is to considerably improve ambient air quality by directive-controlled reduction of emissions of ‘priority pollutants’ — chemicals that persist in ambient air in levels higher than the valid safe standards and/or make their contribution to population health risks.

The aim of this study. To suggest an algorithm for substantiating, verifying and correcting lists of priority pollutants and objects for which emission quotas are to be set considering all accumulated experience in the Project implementation. The ultimate goal is to achieve effective management of ambient air quality and population health risks.

Materials and methods. The results of aggregated calculations per cities included in the Project, lists of priority pollutants and objects for which emission quotas are to be set, health risk assessment results, data obtained by instrumental measurements of ambient air quality at social and hygienic monitoring posts.

Results. The suggested algorithm of actions aimed at selecting and creating more precise lists of pollutants with established quotas and their emission sources in areas covered by the Federal Project includes verification of priority pollutant lists with instrumental monitoring data, mandatory establishment of causes and sources of considerable discrepancies between “Clean Air” calculated and field data, identification and parameterization of unaccounted emission sources. Our suggestion is that a list of objects for which emission quotas are to be set should include economic entities making a contribution to violation of safe standards and creating unacceptable health risks. They should be included regardless of their category, total emission mass and other secondary characteristics that do not have a direct correlation with an actual impact on the environment and human health.

Limitations. The limitations of the study are related to the analyzed data set: only cities included in the quota experiment are included.

Conclusion. The algorithm involves a shift from directive-established reduction in emissions from all economic entities with priority pollutants in their emissions to a targeted calculated reduction adequate to a risk level and a contribution made by a given economic entity to this risk. Effectiveness of the Project activities should be assessed per residual risk levels (which should be verified with monitoring data, epidemiological and/or specialized profound biomedical examinations). Such assessments should become a mandatory element in the system for setting emission quotas. We have developed recommendations to improve the regulatory base for setting emission quotas, which assign greater significance to population health indicators within the whole system for managing ambient air quality.

Keywords: setting emission quotas; priority pollutants; objects for which quotas are to be set; health risks; monitoring

Compliance with ethical standards. This study did not require a biomedical ethics committee opinion (the study was performed on publicly available official statistical data).

For citation: Zaitseva N.V., May I.V. On substantiating and correcting lists of priority pollutants and objects for which emission quotas in aims of management of ambient air quality and associated health risks. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(8): 1065–1074. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-8-1065-1074> <https://elibrary.ru/ihfuax> (In Russ.)

For correspondence: Irina V. May, e-mail: may@fcrisk.ru

Contribution: Zaitseva N.V. – concept and design of the study, editing, approval of the final version of the article; May I.V. – editing, writing the text, approval of the final version of the article. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Funding. The study had no sponsorship.

Received: July 4, 2025 / Revised: July 28, 2025 / Accepted: August 6, 2025 / Published: September 25, 2025

Введение

Цель федерального проекта «Чистый воздух»¹, реализуемого в нашей стране с 2019 г., — существенное улучшение качества атмосферного воздуха через директивно управляемое сокращение выбросов приоритетных загрязняющих веществ. К таковым отнесены химические вещества, которые формируют в атмосферном воздухе города превышение гигиенических нормативов и (или) вносят вклад в риски для здоровья населения². В результате реализации проекта должно улучшиться качество жизни более 4,5 млн человек, а предприятиям будут созданы условия для модернизации производственных мощностей на основе наилучших доступных технологий [1, 2].

Проект изначально был сопряжён с экспериментом по квотированию выбросов, все основные положения которого были закреплены федеральным законом от 26.07.2019 г. № 195-ФЗ «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ...»². Квотирование рассматривается как «...особый порядок регулирования выбросов приоритетных (опасных) загрязняющих веществ на базе сводных расчётов с учётом целевых показателей». В соответствии с п. 4 ст. 4 этого закона на Федеральную службу по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека возложено определение перечня приоритетных загрязняющих веществ и участие в формировании перечня квотируемых объектов.

В редакции 2019 г. федеральный закон 195-ФЗ предполагал выбор приоритетных загрязняющих веществ исключительно на основании результатов расчётов, выполненных с использованием сводных баз данных источников выбросов. Данное положение основывалось на уверенности в том, что сводные базы данных максимально полно и адекватно учитывают число источников выделения и выбросов на территории, параметры источников и условия расчётов заданы корректно, а расчётные точки и (или) шаг регулярной сетки дают полное представление об уровнях загрязнения атмосферы.

Федеральный закон от 04.08.2023 г. № 450-ФЗ³ уточнил, что приоритетные вещества определяются в том числе «...с использованием информации, содержащейся в федеральной государственной информационной системе состояния окружающей среды». Однако для 12 городов, включённых в федеральный проект в 2019 г., этот подход не применялся, и после принятия закона № 450-ФЗ перечни приоритетных веществ пересмотрены не были. Кроме того, принцип и порядок учёта данных мониторинга не закреплёны ни одним методическим документом системы экологического нормирования.

Несомненно, сводные расчёты рассеивания представляют собой универсальный и востребованный инструмент ситуационного моделирования, на что указывают многие исследователи [3–5]. Формирование сводных баз данных по городам позволяет упорядочить данные об источниках загрязнения атмосферы, унифицировать геопозиционирование источников и визуализацию их привязки к картам городов. Появляется возможность «проигрывания» различных вариантов решений для снижения выбросов [6, 7]. Существенная особенность сводных расчётов — оценка вклада каждого конкретного источника в формирование приземных концентраций любого вещества в любой расчётной точке территории [4, 6].

Вместе с тем данному инструментарию свойственны некоторые недостатки и неопределённости [7, 8]. Ключевой проблемой является не всегда высокое качество инвентаризации источников выбросов хозяйствующих субъектов. Ориентация большинства предприятий и организаций на расчётные методики определения состава и структуры выбросов приводит к существенным расхождениям между данными, включаемыми в ведомости инвентаризации источников, и фактическим составом выбросов [9, 10]. Особенно это характерно для промышленных источников выбросов твёрдых веществ, в составе которых практически не выделяются мелкодисперсные фракции. При этом многие исследования свидетельствуют о наличии частиц PM₁₀ и PM_{2,5} и в выбросах, и в воздухе зон влияния производственных объектов [11, 12],

¹ Паспорт федерального проекта «Чистый воздух». <https://base.garant.ru/401533498> (дата обращения: 15.05.2025 г.)

² Федеральный закон от 26.07.2019 г. № 195-ФЗ «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха». <https://base.garant.ru/72330088/> (дата обращения: 15.05.2025 г.)

³ Федеральный закон от 04.08.2023 г. № 450-ФЗ (ред. от 08.08.2024 г.) «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации». <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=453961&dst=100001#0ts0apUmlWbO0y8V>

а опасность этих примесей для здоровья населения уже не вызывает сомнений [13–16]. Сложность подготовки сводных расчётов связана и с проблемами учёта выбросов автотранспорта и автономных источников теплоснабжения, которые ранее вообще не рассматривались в рамках системы нормирования выбросов [17, 18]. Не до конца решены задачи учёта фоновой концентрации [19]. Тем не менее именно сводные расчёты рассматриваются как первый шаг в системе действий по управлению качеством воздуха в городах, включённых в федеральный проект. Формирование сводных баз данных и расчёты выполняют компетентные организации, определяемые Министерством природных ресурсов. Результаты сводных расчётов передаются Роспотребнадзору для обработки и анализа – обоснования перечней приоритетных (опасных) веществ и дальнейшего формирования перечней квотируемых объектов.

С целью методического обеспечения полномочий Роспотребнадзора в рамках эксперимента по квотированию и проекта «Чистый воздух» в 2023 г. Главным государственным санитарным врачом России был утверждён документ, определяющий порядок выбора приоритетных веществ и хозяйствующих субъектов, выбросы которых подлежат директивному снижению⁴. Инструментарий был апробирован на первом этапе проекта. В него вошли 12 городов: Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец и Чита.

Накопленный опыт, выявленные проблемы и некоторые ограничения сложившегося порядка позволили сформулировать *цель настоящего исследования*: предложить алгоритм обоснования, верификации и корректировки перечней приоритетных (опасных) загрязняющих веществ для решения задач эффективного управления качеством атмосферного воздуха и рисками для здоровья населения на территориях с высоким уровнем загрязнения атмосферы.

Материалы и методы

В статье предложенные подходы отработаны на примере ряда городов, включённых в федеральный проект в 2019 г. (Братск, Липецк, Норильск, Красноярск и др.). Сводные расчёты выполняли по базам данных, официально переданных Роспотребнадзору уполномоченными разработчиками. Сводные базы данных учитывали координаты расположения как стационарных, так и передвижных источников выбросов, их аэродинамические параметры и массы выбросов химических веществ (т/год, г/с). Например, в Братске при определении приоритетных веществ и квотируемых объектов учитывали выбросы 88 промышленных объектов, 267 участков улично-дорожной сети города, более 5,5 тыс. печей и котлов частного сектора. В целом учтён выброс в атмосферу города более 12,8 тыс. т/год 112 химических веществ.

Во всех городах, вошедших в федеральный проект «Чистый воздух» и эксперимент по квотированию, приземные концентрации рассчитывали с помощью унифицированной программы «Эколог-город». Программа реализует «Методы расчётов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе», утверждённые приказом Минприроды России от 6 июня 2017 г. № 273⁵. Расчётные точки для определения соответствия гигиеническим нормативам и оценки риска веществ располагали в жилой застройке, что обеспечивало максимально полную и корректную оценку санитарно-гигиенического состояния атмосферного воздуха и рисков для здоровья населения в границах поселения.

⁴ МР 2.1.6.0320–23. Порядок определения перечня приоритетных загрязняющих веществ и перечня квотируемых объектов с обоснованием оптимальных направлений регулирующих воздействий по минимизации аэрогенных рисков здоровью населения. <https://base.garant.ru/408056349/3e22e51c74db8e0b182fad67b502e640> (дата обращения: 15.05.2025 г.)

⁵ Приказ Минприроды России от 6 июня 2017 г. № 273 «Об утверждении методов расчётов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». <https://docs.cntd.ru/document/456074826> (дата обращения: 15.05.2025 г.)

Дополнительные расчётные точки располагали в координатах постов социально-гигиенического мониторинга с целью соотнесения расчётных данных с результатами инструментальных измерений. Последние рассматривали как средство верификации расчётных данных и основу корректирования системы определения приоритетов. В исследовании принимали во внимание результаты инструментальных измерений, выполненных центрами гигиены и эпидемиологии в регионах. Учитывали данные за 2020–2023 гг., полученные по полной программе исследований, что позволило гарантировать корректную оценку разовых и среднегодовых уровней загрязнения и получение сопоставимых данных с результатами расчётов кратковременных и долгопериодных концентраций.

Оценку канцерогенного риска, острого и хронического риска выполняли в соответствии с «Руководством по оценке риска для здоровья населения» Р 1940–04, которое на момент установления приоритетных веществ было действующим⁶.

К приоритетным относили:

- вещества, по которым фиксировали превышения гигиенических нормативов (ПДКм.р., ОБУВ и (или) ПДКс.г. (ПДКс.с.);
- вещества, которые характеризовались индивидуальными коэффициентами опасности ($\text{hazard Quaoient, HQ}$) > 1;
- вещества, которые вносили (с учётом порядка убывания вклада) в сумму не менее 95% вклада в неприемлемый риск хотя бы в одной расчётной точке.

При обосновании квотирования объектов оценивали вклад каждого из них (предприятия, участка улично-дорожной сети с выбросами автотранспорта, автономного источника теплоснабжения) в превышение ПДК и (или) неприемлемый риск для здоровья населения.

Вклад объекта в неприемлемый риск (канцерогенный риск, коэффициенты опасности и индексы опасности) в каждой точке определяли как взвешенное среднее вкладов предприятия в приземные концентрации каждого приоритетного вещества. Например, вклад предприятия в хронический риск рассчитывали по формуле (1):

$$\delta(HI_{Rfc_j})_n^k = \frac{\sum_{i \in I_j^{Rk}} HQ_{Rfc_i}^k \cdot \delta\alpha_{in}^k}{\sum_{i \in I_j^{Rk}} HQ_{Rfc_i}^k}, \quad (1)$$

где $\delta(HI_{Rfc_j})_n^k$ – вклад n -го объекта в индекс опасности для j -го органа или системы в k -й точке при хроническом воздействии; I_j^{Rk} – множество загрязняющих веществ, формирующих риск хронического действия по j -му органу или системе; $\sum_{i \in I_j^{Rk}} HQ_{Rfc_i}^k$ – коэффициент опасности для хронического действия для i -го загрязняющего вещества в k -й точке; $\delta\alpha_{in}^k$ – вклад n -го предприятия в среднегодовые концентрации в k -й точке по i -му веществу.

Аналогично рассчитывали вклады предприятий в канцерогенный, острый и хронический неканцерогенный риск, применяя соответствующие исходные данные.

Результаты

Принципиальный алгоритм, реализуемый в настоящее время в системе квотирования, включает следующие этапы:

- формирование сводной базы данных источников выбросов, в которую включаются объекты, формирующие не менее 95% массы выбросов в целом по городу⁷;
- выполнение расчётов рассеивания в контрольных точках с оценкой максимальных разовых и долгопериодных приземных концентраций;

⁶ Р 1940–2003–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

⁷ Приказ Минприроды России от 29.11.2019 г. № 813 «Об утверждении правил проведения сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию» (зарегистрирован в Минюсте России 24.12.2019 г. № 56955).

Таблица 1 / Table 1

Уровни риска для здоровья населения Братска и вещества, формирующие до 95% неприемлемого риска, в целом по городу
Levels of health risk for population in Bratsk and chemicals creating up to 95% of unacceptable health risks in the city as a whole

Вид риска Risk type	Поражаемые органы и системы Affected organs and systems	Показатели риска / Risk indicators		Факторы, формирующие до 95% неприемлемого риска для здоровья населения Factors creating up to 95% of unacceptable health risks
		уровень level	характеристика characteristics	
Канцерогенный Carcinogenic	—	2.45E–04	Настораживающий Alerting	Бенз(а)пирен, бензол, хром, формальдегид, сажа Benzo(a)pyrene, benzene, chromium, formaldehyde, soot
Острый Acute	Органы дыхания The respiratory system	HI = 3.24	Настораживающий Alerting	Формальдегид, сумма пылей (пыль неорганическая с содержанием 70–20% SiO ₂ ; пыль неорганическая, содержащая до 20% SiO ₂ ; пыль древесная, смолистые вещества (возгоны пека), азота диоксид, серы диоксид, фтористые газообразные вещества Formaldehyde, total dusts (inorganic dust with 70–20% of SiO ₂ , inorganic dusts with up to 20% SiO ₂ Wood dust, resins (pitch sublimates), nitrogen dioxide, sulfur dioxide, fluoride gaseous compounds
	Иммунная система The immune system	HQ = 2.62	Настораживающий Alerting	Бензол Benzene
Острый риск системных нарушений Acute risk for system disorders		HI = 4.39	Настораживающий Alerting	Пыль неорганическая с содержанием 70–20% SiO ₂ ; пыль полистирола, пыль полисульфонов, взвешенные вещества, пыль неорганическая с содержанием до 20% SiO ₂ , смолистые вещества Inorganic dust with 70–20% of SiO ₂ ; polystyrene dust, polysulfone dust, suspended particles, inorganic dusts with up to 20% SiO ₂ , resins
Хронический Chronic	Органы дыхания The respiratory system	HI = 3.40	Настораживающий Alerting	Азота диоксид, азота оксид, сера диоксид, фториды, хлор, хлор диоксид и сумма пылей Nitrogen dioxide, nitrogen oxide, sulfur dioxide, fluorides, chlorine, chlorine dioxide, total dusts
	Воздействие на развитие потомства Impacts on offspring development	HQ = 6.52	Высокий High	Бенз(а)пирен Benzo(a)pyrene
	Костная система Musculoskeletal system	HQ = 2.02	Настораживающий Alerting	Фтористые соединения Fluoride compounds

- обоснование приоритетных веществ по критериям соблюдения гигиенических нормативов и вкладов в неприемлемый риск для здоровья;
- выбор котируемых объектов по критериям: объект вносит вклады в превышения гигиенических нормативов по данным расчётов рассеивания; в выбросах есть хотя бы одно приоритетное вещество; объект относится к 1–3-й категориям по классификации Минприроды; выбросы составляют более 10 т/год;
- котируемые выбросы. При нарушении гигиенических нормативов квоты устанавливаются на основе определения допустимых вкладов в приземную концентрацию. В прочих случаях квоты устанавливаются с учётом целевых показателей снижения выбросов.

При установлении квот хозяйствующие субъекты разрабатывают и реализуют планы по достижению поставленных целей при контроле со стороны Минприроды и Росприроднадзора.

Реализация данного алгоритма типична для всех городов первого этапа. В соответствии с данным алгоритмом в 12 городах, вошедших в проект в 2019 г., было определено от 10 до 36 веществ, отнесённых к приоритетным или опасным, которые подлежали последующему котируванию.

Так, в Братске, по данным сводных расчётов, к категории приоритетных было отнесено 16 химических веществ. Для диоксида азота и бенз(а)пирена по данным расчётов рассеивания были зафиксированы превышения гигиенических нормативов (основные вкладчики — автотранспорт и автономные источники теплоснабжения). В формировании неприемлемых рисков для здоровья участвовали 16 веществ: бенз(а)пирен, бензол, взвешенные вещества, пыль древесная, пыль неорганическая с содержанием менее 20% SiO₂,

пыль неорганическая с содержанием от 20 до 70% SiO₂, серы диоксид, смолистые вещества (возгоны пека) в составе электролизной пыли выбросов производства алюминия, углерод (сажа), фтористые газообразные соединения, фтористые плохо растворимые вещества, хром (в пересчёте на IV оксид хрома), хлор и диоксид хрома (табл. 1).

Перечни приоритетных веществ были приведены в письмах руководителя Роспотребнадзора и рассматривались как обязательные для последующего директивного регулирования (котирувания)⁸.

Вместе с тем практика реализации федерального проекта с привлечением данных социально-гигиенического мониторинга (СГМ) показала, что на постах наблюдения фиксируются химические вещества в концентрациях, существенно отличающихся от рассчитанных (прогнозных) величин.

Например, среднегодовые измеряемые концентрации в Братске были значимо (от трёх до пятидесяти раз) выше расчётных данных по соединениям никеля и свинца — веществам с доказанными канцерогенными свойствами; по марганцу, формирующему негативные эффекты в отношении болезней нервной системы; по гидроксibenзолу (фенолу), оказывающему негативное воздействие и на сердечно-сосудистую, и на нервную систему человека.

Крайне низкие расчётные уровни перечисленных соединений не позволили отнести их к приоритетам, поэтому перед хозяйствующими субъектами не были поставлены задачи снижения выбросов этих опасных примесей.

⁸ Письмо Руководителя Роспотребнадзора. Об определении приоритетных загрязняющих веществ для территорий эксперимента (г. Братск, г. Нижний Тагил, г. Череповец» от 23.11.2020 г. (02/23971-2020-23).

Представленные результаты позволяют предположить, что оценки риска на основе только расчётных данных нередко бывают заниженными. Так, по данным СГМ в 2020 и 2021 гг. в Братске хронический неканцерогенный риск возникновения болезней органов дыхания и болезней крови при воздействии химических веществ, загрязняющих атмосферу города, характеризовался как высокий ($HI > 16$), а не настораживающий (см. табл. 1). Аналогично был оценён риск болезней крови ($HI > 8$), причина — существенно более высокие, чем по расчётным данным, приземные концентрации взвешенных веществ, формальдегида, серной кислоты.

Отсутствие управляющих действий не позволяет устранить загрязнение городского воздуха. Например, в 2021 г. определённая на посту СГМ в центральной части Братска среднегодовая концентрация фенола составила $0,0018 \text{ мг/м}^3$ ($0,6 \text{ ПДКс.г.}$). Из 300 наблюдений в течение года было зафиксировано четыре случая превышения ПДКм.р. и три случая превышения ПДКс.с. В 2024 г. на этом же посту среднегодовая концентрация примеси составила уже $0,0031 \text{ мг/м}^3$ (1 ПДКс.г.), из 300 измерений в течение года в семи случаях была превышена ПДКм.р., а в шести случаях — ПДКс.с.

Следует отметить, что существенное расхождение расчётных и натурных данных характерно для многих городов, в том числе и для городов «второй волны». Так, в 2024 г. в Минусинске измеренные на постах СГМ среднегодовые концентрации бенз(а)пирена составили 8 нг/м^3 при расчётных величинах $0,013 \text{ нг/м}^3$, фенола — $0,001 \text{ мг/м}^3$ при расчётных уровнях $8 \cdot 10^{-7}$. В обоих случаях расхождение данных составляло несколько порядков.

На постах мониторинга фиксируются и высокие уровни мелкодисперсных частиц (PM_{10} , $PM_{2,5}$): в Красноярске на постах СГМ в 2024 г. зафиксированы концентрации PM_{10} до 14 ПДКс.с. ; $PM_{2,5}$ — до 23 ПДКс.с. Превышения гигиенических нормативов мелкодисперсных частиц отмечены в воздухе Липецка, Омска, Челябинска, Магнитогорска, однако эти примеси практически не учитываются в системе квотирования, поскольку в базах данных отсутствуют источники их выбросов. Следовательно, отсутствуют и объекты регулирования посредством квотирования. Ситуация не изменилась и при включении в проект новых городов.

Инструментальные измерения дают примеры и обратных зависимостей, когда расчётные концентрации превышают полученные при измерении. Так, в Чите расчётные уровни оксида углерода выше ПДК не были подтверждены инструментальными измерениями на постах СГМ за период наблюдения с 2019 по 2021 г. Вещество не формировало значимого вклада в риски для здоровья населения, однако, согласно расчётным данным, входило в перечень приоритетных примесей. Поэтому подлежали квотированию объекты, выбросы которых содержали оксид углерода. В Братске пропе-2-ен-1-аль (акролеин) в течение года наблюдений в рамках СГМ вообще не обнаруживался в концентрациях выше порога определения метода (при этом чувствительность метода обеспечивала и $0,8 \text{ ПДК}$ и $0,8$ референтного уровня). То есть целесообразность включения вещества в перечень приоритетов не была подтверждена инструментальными измерениями.

Несомненно, с позиций принципа предосторожности и минимизации рисков для здоровья недоучёт интенсивности фактора риска представляется менее серьёзным недостатком оценок, чем рассмотрение его избыточного уровня. Вместе с тем для хозяйствующих субъектов избыточное нормирование — бремя, требующее дополнительных финансовых, материальных и иных затрат, что необходимо учитывать в системе управления выбросами.

В целом верификация результатов расчётов рассеивания инструментальными данными, обоснование и применение критериев надёжности и адекватности расчётов (или критериев допустимости расхождений натурных и расчётных данных), выявление и устранение причин выявленных несоответствий, идентификация и параметризация неучтённых источников выбросов должны стать неотъемлемой частью этапа выбора приоритетных веществ в рамках системы квотирования.

Выбор приоритетных примесей и последующее квотирование, основанные только на расчётных данных, могут препятствовать достижению реального результата в части улучшения качества среды обитания жителей и одновременно формировать дополнительную нагрузку на хозяйствующие субъекты без достижения социально значимого результата.

Вторым шагом системы управления качеством воздуха в рамках проекта является определение хозяйствующих субъектов, выбросы которых подлежат директивному нормированию (квотированию). Роспотребнадзор при гигиеническом обосновании квотируемых объектов руководствуется алгоритмом, закреплённым указанным выше методическим документом. Квотировать предлагается выбросы объектов, которые вносят вклады в превышения гигиенических нормативов и (или) формируют более 95% неприемлемого риска. Например, до 95% вклада в неприемлемый риск в санитарной зоне Братска вносили 12 хозяйствующих субъектов, источники которых расположены на 16 различных промплощадках, а также автотранспорт и автономные источники теплоснабжения (АИТ) (табл. 2).

Снижение выбросов определённых веществ на указанных объектах представлялось оптимальным путём достижения наиболее безопасных условий проживания населения. Аналогичные расчёты для каждого города становились основанием для формирования перечня квотируемых объектов по гигиеническим критериям.

Вместе с тем при формировании перечня квотируемых объектов в рамках проекта принимают во внимание несколько иные критерии, предусмотренные действующим законодательством и рядом методических документов. В перечень включают расположенные в черте поселения объекты, выбросы которых содержат хотя бы одно приоритетное вещество. Этот подход применяется даже в том случае, когда объект не формирует вкладов в превышение гигиенических нормативов и неприемлемые риски для здоровья.

При этом из квотирования исключаются объекты (при условии отсутствия вклада в превышение ПДК), которые относятся к IV категории (по классификации Росприроднадзора) и (или) имеют выбросы менее 10 т в год^9 , даже если выбросы этих предприятий вносили вклады в риски для здоровья (прежде всего в силу их расположения в непосредственной близости к жилой застройке). Так, в Братске исключению из квотирования по критерию «выброс менее 10 т/год » подлежат площадки 1, 2, 3 предприятия № 7 (см. табл. 2), однако близость объектов к жилым строениям, которая и определяет неприемлемый риск для здоровья, формируемый выбросами бензола (канцерогенное действие, негативное влияние на кровь и иммунную систему), требует снижения выбросов источников именно этих объектов. Сокращение выбросов бензола как приоритетного вещества на иных источниках либо вообще не даст требуемого эффекта в точках максимального риска для здоровья людей, либо потребует существенно больших затрат на достижение приемлемого уровня риска.

Несомненно, в городах, где загрязнение воздуха продолжает длительное время оцениваться как высокое или очень высокое, любое снижение выбросов представляется позитивным процессом, позволяющим улучшить качество жизни граждан. Однако подход, которым каждому хозяйствующему субъекту вменяется директивное снижение выбросов на 20% независимо от реального вклада в загрязнение воздуха и риск для здоровья населения, который этот субъект формирует, требует оценки с позиций результативности в отношении качества воздуха и с позиций «затраты — выгоды». В качестве выгоды могут рассматриваться показатели предотвращённого риска либо показатели состояния здоровья населения, в том числе оценённые в рамках направленных исследований.

Таким образом, представляется, что этап выбора объектов квотирования методически должен быть ориентирован на количественную оценку реального вклада хозяйствующих

⁹ Протокол межведомственного совета от 11.11.2023 г.

Таблица 2 / Table 2

Вклады отдельных объектов в 95% неприемлемого риска для здоровья населения в целом по городу**Contributions made by some objects to 95% of unacceptable health risks in the city as a whole**

Вид, уровень, характеристика риска Type, level and characteristics of risk	Предприятие (объект) Enterprise (object)	Вклад в риск, % Contribution to risk, %	Вещества, формирующие данный вклад (% для данного объекта) Chemicals responsible for this contribution (% for this particular object)
Канцерогенный риск Carcinogenic risk	Предприятие 1 / Enterprise 1	78.02	Бенз(а)пирен (76.1), хром (24.9) / Benzo(a)pyrene (76.1), chromium (24.9)
	Предприятие 2 / Enterprise 2	10.54	Хром (VI) (100) / Chromium (VI) (100)
	Предприятие 3 / Enterprise 3	9.26	Сажа (95.0) / Soot (95.0)
	АИТ / Autonomous heating source	1.14	Сажа (60.2), бенз(а)пирен (39.8) / Soot (60.2), benzo(a)pyrene (39.8)
	Автотранспорт / Motor transport	1.04	Бенз(а)пирен (86.1) / Benzo(a)pyrene (86.1)
Острый риск формирования болезней органов дыхания Acute risk of developing diseases of the respiratory system	Предприятие 4 (площадка 1) Enterprise 4 (site 1)	20.42	Азота диоксид (27.2), серы диоксид (46.8), азота оксид (7.8) Nitrogen dioxide (27.2), Sulfur dioxide (46.8), Nitrogen oxide (7.8)
	Предприятие 4 (площадка 2) Enterprise 4 (site 2)	20.12	Пыль неорганическая (99.0) / Inorganic dust (99.0)
	Предприятие 5 (площадка 1) Enterprise 5 (site 1)	15.03	Пыль неорганическая (99.0) / Inorganic dust (99.0)
	Предприятие 1 Enterprise 1	13.27	Пыль неорганическая с содержанием до 20% SiO ₂ (35.0); натр едкий (22.1), фториды газообразные (18.9), взвешенные (17.7); серы диоксид (6.7) Inorganic dust up to 20% SiO ₂ (35.0) Caustic soda (22.1), Gaseous fluorides (18.9), Particulate matter (17.7) Sulfur dioxide (6.7)
	Автотранспорт Motor transport	17.84	Азота диоксид (91.0); азота оксид (7.3) Nitrogen dioxide (91.0); Nitrogen oxide (7.3)
	Предприятие 5 (площадка 2) Enterprise 5 (site 2)	5.40	Пыль древесная (100) / Wood dust (100)
	Предприятие 6 / Enterprise 6	3.72	Пыль неорганическая с содержанием 70–20% SiO ₂ (99.2) Inorganic dust 70–20% SiO ₂ (99.2)
Острый риск нарушения иммунной системы, крови Acute risk of diseases of the immune system and blood	Предприятие 7 (площадка 1) Enterprise 7 (site 1)	48.60	Бензол (100) / Benzene (100)
	Предприятие 7 (площадка 2) Enterprise 7 (site 2)	41.07	Бензол (100) / Benzene (100)
	Предприятие 7 (площадка 3) Enterprise 7 (site 2)	4.74	Бензол (100) / Benzene (100)
	Предприятие 8 / Enterprise 8	1.30	Бензол (100) / Benzene (100)
Острый риск системных нарушений Acute risk of system disorders	Предприятие 6 / Enterprise 6	31.40	Пыль неорганическая с содержанием 70–20% SiO ₂ (99.1) Inorganic dust 70–20% SiO ₂ (99.1)
	Предприятие 5 (площадка 1) Enterprise 5 (site 1)	20.16	Пыль полистирола (78.0) Пыль полисульфонов (21.2) Polystyrene dust (78.0) Polysulfone dust (21.2)
	Предприятие 4 (площадка 2) Enterprise 4 (site 2)	15.62	Пыль неорганическая с содержанием 70–20% SiO ₂ (100) Inorganic dust 70–20% SiO ₂ (100)
	Предприятие 1 / Enterprise 1	11.14	Взвешенные вещества (36.1) Пыль неорганическая с содержанием до 20% SiO ₂ (48.5) Смолистые (возгоны пека) (14.9) Particulate matter (36.1) Inorganic dust up to 20% SiO ₂ (48.5) Resins (pitch sublimates) (14.9)
	Предприятие 5 (площадка 2) Enterprise 5 (site 1)	8.28	Пыль древесная (100) / Wood dust (100)
	Предприятие 9 / Enterprise 9	6.64	Взвешенные вещества (100) / Particulate matter (100)
	Предприятие 4 (площадка 1) Enterprise 4 (site 1)	1.93	Пыль неорганическая с содержанием 70–20% SiO ₂ (100) Inorganic dust 70–20% SiO ₂ (100)
Хронический неканцерогенный риск болезней органов дыхания Chronic non-carcinogenic risk of diseases of the respiratory system	Предприятие 1 / Enterprise 1	42.15	Фториды газообразные (59.2), серы диоксид (19.1) Пыль неорганическая с содержанием 20% SiO ₂ (13.8) Gaseous fluorides (59.2), Sulfur dioxide (19.1) Inorganic dust up to 20% SiO ₂ (13.8)
	Автотранспорт Motor transport	21.05	Азота диоксид (89.1) Азота (II) оксид (9.9) Nitrogen dioxide (89.1) Nitrogen (II) oxide (9.9)
	Предприятие 5 (пл. 1,3) Enterprise 5 (sites 1,3)	20.68	Хлора диоксид (75.2), хлор (18.4) Chlorine dioxide (75.2), chlorine (18.4)
	Предприятие 10 / Enterprise 10	5.27	Пыль неорганическая с содержанием более 70% SiO ₂ (92.2) Inorganic dust > 70% SiO ₂ (92.2)
	Предприятие 11 / Enterprise 11	4.37	Азота диоксид (84.7.) Азот (II) оксид (9.2) Nitrogen dioxide (84.7) Nitrogen (II) oxide (9.2)
Хронический риск воздействия на развитие потомства Chronic risk of developmental disorders in offspring	Предприятие 1 / Enterprise 1	81.23	Бенз(а)пирен (100) / Benzo(a)pyrene (100)
	Автотранспорт / Motor transport	8.00	Бенз(а)пирен (95.6) / Benzo(a)pyrene (65.6)
	АИТ / Autonomous heating source	3.98	Бенз(а)пирен (100) / Benzo(a)pyrene (100)
	Предприятие 12 / Enterprise 12	2.12	Бенз(а)пирен (100) / Benzo(a)pyrene (100)

субъектов, АИТ и автотранспорта в загрязнение воздуха и риски для здоровья с минимизацией вторичных критериев, не связанных с параметрами воздействия объекта на среду обитания и здоровье жителей.

Наиболее адекватным инструментом обоснования целевых критериев, верификации расчётных рисков и выбора объектов квотирования являются направленные эпидемиологические и медико-биологические исследования, опыт которых уже наработан в системе Роспотребнадзора [20–22]. В результатах таких исследований заинтересовано не только государство, но и социально ответственные хозяйствующие субъекты. Последние демонстрируют эффективность собственных инвестиций в природоохранную деятельность (когда риски оценены корректно), но при этом обоснованно избегают нерезультативных трат (когда риски неадекватно оценены как неприемлемые и не подтверждаются данными о состоянии здоровья населения).

Третий важнейший этап регулирования выбросов — это установление допустимых для хозяйствующего субъекта квот выбросов. В соответствии с Правилами квотирования¹⁰ «...для приоритетных загрязняющих веществ, среднегодовые и (или) максимальные разовые концентрации которых по результатам сводных расчётов хотя бы в одной точке квотирования превышают гигиенические нормативы качества атмосферного воздуха, квоты выбросов для квотируемых объектов устанавливаются на основе определения допустимых вкладов в концентрацию... для приоритетных загрязняющих веществ, создающих риски для здоровья человека и не влияющих в точках квотирования на превышение гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха, квоты выбросов устанавливаются с учётом целевых показателей снижения выбросов (для квотируемых объектов, на которых осуществлялась хозяйственная и (или) иная деятельность в 2017 году».

Этап ориентирован на задачу достижения гигиенических нормативов, что, безусловно, должно рассматриваться как первый и важнейший шаг к формированию благоприятной среды обитания населения. Однако многокомпонентность и длительность загрязнения атмосферного воздуха может быть причиной формирования неприемлемых рисков для здоровья даже в условиях соблюдения гигиенических нормативов для каждого химического вещества по отдельности. Последнее доказано многочисленными эпидемиологическими и специальными углублёнными медико-биологическими исследованиями как в нашей стране, так и за рубежом [20, 21, 23–25]. Поэтому следующим (или одновременным) этапом государственного регулирования должно быть сокращение выбросов «рискогенных» примесей и достижение приемлемого риска для здоровья жителей на территории. Такой шаг делает оправданным, обоснованным и имеющим дальнейшее смысловое развитие выбор приоритетных веществ по критериям рисков, обеспечивает улучшение качества жизни населения городов — участников проекта как ключевой стратегической цели.

Важнейшей составляющей системы квотирования должна стать оценка результативности проекта. Критериями результативности, по нашему мнению, могут стать:

- достижение соответствующего установленным гигиеническим критериям качества атмосферного воздуха по каждому отдельному веществу;
- достижение уровней приемлемого (допустимого) риска для здоровья при кратковременных и долгосрочных воздействиях.

В качестве доказательного инструмента оценки результативности проекта должны рассматриваться данные о снижении уровня смертности и заболеваемости населения по причинам, ассоциированным с факторами загрязнения атмосферного воздуха.

Накопленный в рамках федерального проекта «Чистый воздух» опыт работы позволил предложить расширенный и

уточнённый алгоритм обоснования, верификации и корректировки приоритетных загрязняющих веществ и объектов квотирования в задачах управления качеством воздуха и аэрогенными рисками для здоровья населения (см. рисунок).

Алгоритм предполагает обязательную верификацию расчётных данных инструментальными измерениями на постах мониторинга. Оптимальным представляется использование всех доступных данных, получаемых аккредитованными лабораториями экологического и социально-гигиенического мониторинга. Верификация перечня приоритетных примесей позволит снять дополнительное бремя с хозяйствующих субъектов, если расчётные данные не подтверждены инструментальными исследованиями и включение вещества в перечень приоритетных нецелесообразно. При этом выявление реальных уровней загрязнения, идентификация и дополнительное включение в перечень приоритетов веществ, негативное влияние которых доказано специальными исследованиями, позволит принимать максимально адекватные решения по требуемым уровням снижения выбросов.

Важным элементом предлагаемого подхода является включение в перечень объектов, подлежащих квотированию, источников, которые вносят вклад в нарушение гигиенических нормативов и неприемлемый риск для здоровья, независимо от категории объекта, суммарной массы выбросов и иных второстепенных признаков, не имеющих прямой связи с формируемым уровнем воздействия на среду обитания и здоровье населения.

Алгоритм предполагает изменение директивного снижения выбросов всех хозяйствующих субъектов, имеющих в составе выбросов приоритетные вещества, на заданную величину (20 или 50%), на адресное просчитанное снижение, адекватное уровню риска и вкладу хозяйствующего субъекта в этот риск.

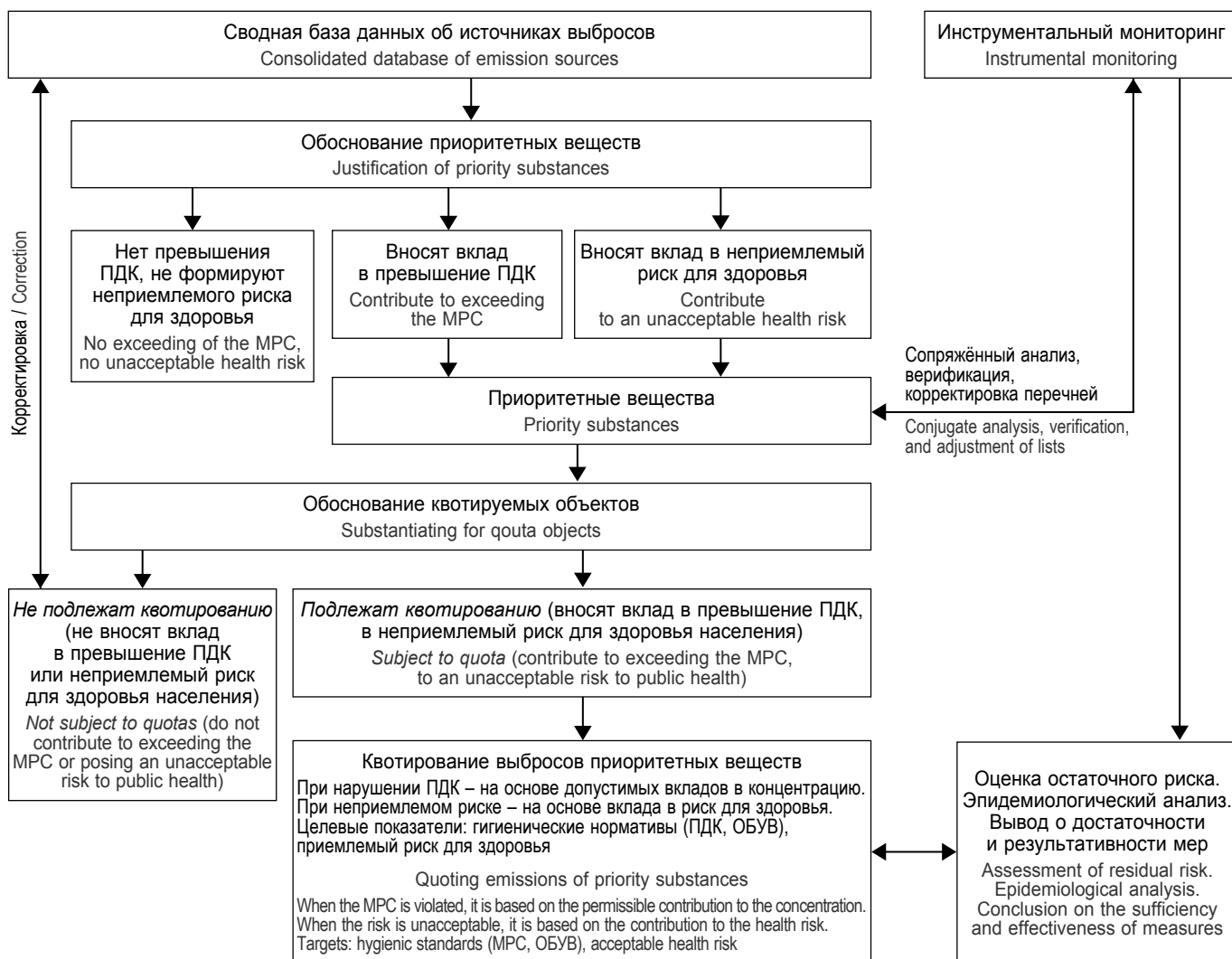
Обязательным элементом системы квотирования представляется оценка результативности мероприятий проекта по критериям соблюдения гигиенических нормативов и остаточного риска как по данным расчётов рассеивания, так и по данным инструментального мониторинга. Оптимально сопряжение системы квотирования с эпидемиологическим и специальными медико-биологическими исследованиями, которые могли бы доказательно подтвердить социальный и демографический эффект проекта.

В рамках таких исследований целесообразно количественное определение в биологических средах лиц из зон влияния специфических, индикаторных для выбросов предприятий веществ (определение маркёров экспозиции), фиксация адекватных воздействию биохимических, функциональных и иных тестов, подтверждающих уровень влияния внешнесредовых факторов (маркёров ответа). В настоящее время Роспотребнадзор располагает всеми методами и средствами оценки фактической реализации рисков и формирования доказательной базы вреда здоровью, причинённого многокомпонентной аэрогенной экспозицией [20, 22, 25] и снижающегося в результате реализации воздухоохраных и санитарно-гигиенических мероприятий [26]. Важна и оценка динамики заболеваемости населения до и после внедрения мероприятий, особенно в группах риска. Сопоставительные лонгитюдные эпидемиологические исследования являются затратным мероприятием, однако подтверждение результативности воздухоохраных мер данными о снижении медико-демографических потерь, ассоциированных с загрязнением воздуха, важно для органов власти, хозяйствующих субъектов и гражданского общества [27].

Предлагаемый алгоритм максимально полно отвечает задачам обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, сохранения здоровья населения и увеличения ожидаемой продолжительности жизни, а именно эти задачи поставлены перед системой государственного управления.

Подходы требуют внесения некоторых изменений в действующую законодательную, нормативно-правовую и методическую базу. Так, представляется целесообразным определить понятие квоты через целевую функцию, а не через

¹⁰ «Правила квотирования выбросов загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух». Утверждены приказом Минприроды России от 29.11.2019 г. № 814.



Предлагаемый алгоритм квотирования выбросов приоритетных загрязняющих веществ.

Suggested algorithm for setting emission quotas of priority pollutants.

процедуру её установления и законодательно принять в следующей редакции: «квоты — величины допустимых выбросов <...> достижение которых в совокупности обеспечивает соблюдение гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха и приемлемые уровни риска для здоровья населения».

Особую важность имеет закрепление определения квотируемых объектов как «вносящих вклад в превышение гигиенических нормативов приоритетных веществ и (или) в неприемлемый риск для здоровья населения...».

Требует законодательного утверждения оценка остаточного риска после выполнения отдельных природоохранных мероприятий и в результате применения всех мер, предусмотренных комплексными планами. Достижение обеспечивающих приемлемые риски для здоровья квот выбросов повысит социальную значимость проекта и позволит получить реальные позитивные изменения состояния здоровья населения в виде сокращения смертности и заболеваемости. Достижение приемлемого риска должно подтверждаться эпидемиологическими данными на территории и результатами углублённых медико-биологических исследований.

Заключение

Предложен алгоритм выбора и корректировки приоритетных веществ и объектов квотирования, максимально ориентированный на адекватный учёт факторов риска

для здоровья населения и инструментальную верификацию расчётных данных.

Предлагается смена директивного подхода к квотированию выбросов хозяйствующих субъектов, имеющих в своём составе приоритетные вещества, на дифференцированное нормирование выбросов, которые формируют вклады в загрязнение воздуха и риски для здоровья населения, независимо от категории и годового объёма выбросов. Подход представляется наиболее адекватным и эффективным путём достижения безопасной среды обитания человека, где безопасность рассматривается как отсутствие недопустимого риска для здоровья. Предлагается включение в систему квотирования обязательного элемента — оценки по данным расчётов рассеивания и мониторинга результативности мероприятий проекта с учётом критериев соблюдения гигиенических нормативов и остаточного риска для здоровья. Оптимальным является сопряжение системы квотирования с эпидемиологическим и специальными медико-биологическими исследованиями как инструментами доказательства социального и демографического эффекта проекта.

Рассмотрены пути совершенствования нормативно-правовой базы регуляторного механизма системы государственного управления качеством воздуха в части повышения значимости критериев здоровья во всех звеньях системы нормирования выбросов.

Литература

- Марцинковский О.А., Двинянина О.В., Васькина А.А., Романов А.В. Федеральный проект «Чистый воздух»: новый уровень жизни. *Стандарты и качество*. 2022; (3): 93–5. <https://elibrary.ru/iohatu>
- Гриневский А.М. Федеральный проект «Чистый Воздух». *Черные металлы*. 2021; (10): 76–7.
- Магдеева А.Р. Сводные расчеты как инструмент управления качеством атмосферного воздуха. *Экология производства*. 2022; (5): 26–35. <https://elibrary.ru/mpmmly>
- Шагидуллин А.Р. Применение сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха для решения задач по управлению качеством окружающей среды. *Российский журнал прикладной экологии*. 2022; (1): 60–7. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.1.60.67> <https://elibrary.ru/syjrck>
- Черных Н.А., Бурма А.В., Недре А.Ю., Азаров В.Н., Козловцева Е.Ю. Расчет индекса загрязнения атмосферы города Красноярск с применением инструмента «сводные расчеты». *Инженерный вестник Дона*. 2020; (4): 34. <https://elibrary.ru/wvylqn>
- Костылева Н.В., Гилева Т.Е., Опутина И.П. Сводные расчеты загрязнения атмосферного воздуха. *Антропогенная трансформация природной среды*. 2017; (3): 106–7. <https://elibrary.ru/xfvird>
- Сергеева А.С., Герко А.Г.К. Недостатки системы сводных расчетов загрязнения атмосферы. *Неделя науки Санкт-Петербургского государственного морского технического университета*. 2020; 2(4): 62. <https://elibrary.ru/bwixlm>
- Лукин А.Ю., Гилева Т.Е., Костылева Н.В. К вопросу о кватировании выбросов предприятий в атмосферный воздух. В сб.: *Современные проблемы экологии. XXIV международная научно-практическая конференция*. Пермь; 2020: 128–33. <https://elibrary.ru/ntslrh>
- Петелин С.А., Вивчар А.Н., Бублей П.В., Сердюков В.А., Сигитов О.Ю. Проблемы определения мощности выбросов загрязняющих веществ от ТЭС в атмосферу. *Электрические станции*. 2022; (9): 63–7. <https://elibrary.ru/oxfize>
- Загороднов С.Ю., Кокоулина А.А., Попова Е.В. Изучение компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов предприятий металлургического комплекса для задач оценки экспозиции населения. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2015; 17(5–2): 451–6. <https://elibrary.ru/vyzmjd>
- Просвирыкова И.А., Шевчук Л.М. Гигиеническая оценка содержания твердых частиц PM₁₀ 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): 14–22. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.2.02> <https://elibrary.ru/xrnwhj>
- Растокина Т.Н., Пешкова А.А., Унгуриану Т.Н. Качество атмосферного воздуха и риск развития болезней системы кровообращения у населения крупного города европейского севера. *Анализ риска здоровью*. 2024; (3): 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2024.3.01> <https://elibrary.ru/fhijaa>
- Зайцева Н.В., Клейн С.В., Четверкина К.В., Андришунас А.М., Цинкер М.Ю. Об уровне безопасного содержания микроразмерных твердых частиц PM_{1.0} в атмосферном воздухе. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(11): 1434–40. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-11-1434-1440> <https://elibrary.ru/hipitl>
- Anenberg S.C., Tinney V., Henze D.K., Davila Y., Kinney P.L., Raich W., et al. Estimates of the global burden of ambient PM_{2.5}, ozone, and NO₂ on asthma incidence and emergency room visits. *Environ. Health Perspect.* 2018; 126(10): 107004. <https://doi.org/10.1289/EHP3766> <https://elibrary.ru/gjcrim>
- Lee D.W., Hong Y.C., Han C.W., Lim Y.H., Oh J.M., Bae H.J., et al. Long-term exposure to fine particulate matter and incident asthma among elderly adults. *Chemosphere*. 2021; 272: 129619. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129619> <https://elibrary.ru/zuvmjf>
- Волкодаева М.В., Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Канчан Я.С., Левкин А.В., Тимин С.Д. Учёт выбросов загрязняющих веществ от автономных источников теплоснабжения индивидуальных жилых домов при проведении сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха для населённых пунктов. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(2): 141–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-2-141-147> <https://elibrary.ru/nybmxl>
- Никитин М.В., Миронова А.Д. Обзор существующей нормативно-правовой базы по определению выбросов загрязняющих веществ от передвижных источников и предложения по ее усовершенствованию. В сб.: *Современные технологии в области защиты окружающей среды и техноосферной безопасности. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием*. Казань; 2024: 361–4.
- Оводков М.В., Ткачев М.А., Сухов В.В. Проблемы учета фоновой добавки при проведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2024; (8): 21–7.
- Зайцева Н.В., Жданова-Заплесвичко И.Г., Землянова М.А., Пережогин А.Н., Савиных Д.Ф. Опыт организации и проведения санитарно-эпидемиологических исследований по выявлению и доказательству связи нарушений здоровья населения с качеством атмосферного воздуха в зонах влияния хозяйствующих субъектов. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНСО*. 2021; (1): 4–15. <https://elibrary.ru/kdjfsy>
- Зайцева Н.В., Землянова М.А., Кольдибекова Ю.В., Пескова Е.В. Научно-методические основы итерационного прогноза риска и вреда здоровью человека при воздействии химических факторов среды обитания: от белковых мишеней до системных метаболических нарушений. *Анализ риска здоровью*. 2024; (2): 18–31. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2024.2.02> <https://elibrary.ru/cerxjr>
- Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В., Кириянов Д.А. Методические подходы к расчету фактических и предотвращенных медико-демографических и экономических потерь, ассоциированных с негативным воздействием факторов среды обитания. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(7): 95–9. <https://elibrary.ru/vckpxn>
- Rodea-Palomares I., González-Pleiter M., Martín-Betancor K., Rosal R., Fernández-Piñas F. Additivity and interactions in ecotoxicity of pollutant mixtures: some patterns, conclusions, and open questions. *Toxics*. 2015; 3(4): 342–69. <https://doi.org/10.3390/toxics3040342>
- Mustafa E., Valente M.J., Vinggaard A.M. Complex chemical mixtures: Approaches for assessing adverse human health effects. *Curr. Opin. Toxicol.* 2023; 34(3): 100404. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2023.100404>
- Шилов В.В., Маркова О.Л., Кузнецов А.В. Биомониторинг воздействия вредных химических веществ на основе современных биомаркеров. Обзор литературы. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(6): 591–6. <https://elibrary.ru/qlaqms>
- Аликина И.Н., Долгих О.В. Биомаркеры аэрогенной экспозиции формальдегидом на примере детского населения с аллергопатологией. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(11): 1412–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-11-1412-1416> <https://elibrary.ru/twibii>
- Зайцева Н.В., Землянова М.А., Май И.В., Алексеев В.Б., Трусов П.В., Хрушева Е.В. и др. Комплексная оценка эффективности минимизации вреда здоровью на основе теории нечетких множеств при планировании воздухоохраных мероприятий. *Анализ риска здоровью*. 2020; (1): 25–37. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.1.03> <https://elibrary.ru/cueyva>
- Барг А.О., Лебедева-Несевря Н.А., Пестерева Д.Ю. Результаты мониторинга социальных сетей при оценке удовлетворенности населения санитарно-эпидемиологической ситуацией. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(5): 433–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-5-433-439> <https://elibrary.ru/iewcva>

References

- Martsinkovskiy O.A., Dvinyanina O.V., Vaskina A.A., Romanov A.V. Federal project "Clean air": a new standard of living. *Standarty i kachesvo*. 2022; (3): 93–5. <https://elibrary.ru/iohatu> (in Russian)
- Grinevskii A.M. Federal project "Clean Air". *Chernye metally*. 2021; (10): 76–7. (in Russian)
- Magdeeva A.R. Summary calculations as a tool for managing ambient air quality. *Ekologiya proizvodstva*. 2022; (5): 26–35. <https://elibrary.ru/mpmmly> (in Russian)
- Shagidullin A.R. Application of summary calculations of atmospheric air pollution to solve problems of environmental quality management. *Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii*. 2022; (1): 60–7. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.1.60.67> <https://elibrary.ru/syjrck> (in Russian)
- Chernykh N.A., Burma A.V., Nedre A.Yu., Azarov V.N., Kozlovtsava E.Yu. Calculation of the air pollution index of the city of Krasnoyarsk using the "summary calculations" tool. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2020; (4): 34. <https://elibrary.ru/wvylqn> (in Russian)
- Kostyleva N.V., Gileva T.E., Oputina I.P. Summary calculations of pollution of atmospheric air. *Antropogennaya transformatsiya prirodnoi sredy*. 2017; (3): 106–7. <https://elibrary.ru/xfvird> (in Russian)
- Sergeyeva A.S., Gerko A.G.K. Disadvantages of the summary settlement system of atmospheric pollution. *Nedelya nauki Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnicheskogo universiteta*. 2020; 2(4): 62. <https://elibrary.ru/bwixlm> (in Russian)
- Lukin A.U., Gileva T.E., Kostyleva N.V. To the question of quoting of emissions of the enterprises into the atmospheric air. In: *Modern Problems of Ecology. XXIV International Scientific-Practical Conference [Sovremennye problemy ekologii. XXIV mezhduarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya]*. Perm'; 2020: 128–33. <https://elibrary.ru/ntslrh> (in Russian)
- Petelin S.A., Vivchar A., Bubley P., Serdyukov V., Sigitov O. Legal problems of the methods for determining the mass emission of pollutants into the atmosphere. *Elektricheskie stantsii*. 2022; (9): 63–7. <https://elibrary.ru/oxfize> (in Russian)
- Zagorodnov S., Kokoulina A., Popova E. Studying of component and disperse structure of dust emissions of metallurgical complex enterprises for problems of estimation the population exposition. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. 2015; 17(5–2): 451–6. <https://elibrary.ru/vyzmjd> (in Russian)
- Prosviryakova I.A., Shevchuk L.M. Hygienic assessment of PM₁₀ and PM_{2.5} 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. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.2.02> <https://elibrary.ru/vtczvu>
- Rastokina T.N., Peshkova A.A., Unguryanu T.N. Ambient air quality and risk of circulatory diseases for population of a large city in the European north of Russia. *Analiz riska zdorov'yu*. 2024; (3): 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2024.3.01> <https://elibrary.ru/fhijaa> (in Russian)

13. Zaitseva N.V., Klein S.V., Chetverkina K.V., Andrishunas A.M., Tsinker M.Yu. On the safe levels of micro-sized particles PM_{1.0} in ambient air. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(11): 1434–40. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-11-1434-1440> <https://elibrary.ru/hipitl> (in Russian)
14. Anenberg S.C., Tinney V., Henze D.K., Davila Y., Kinney P.L., Raich W., et al. Estimates of the global burden of ambient PM_{2.5}, ozone, and NO₂ on asthma incidence and emergency room visits. *Environ. Health Perspect.* 2018; 126(10): 107004. <https://doi.org/10.1289/EHP3766> <https://elibrary.ru/gjcrim>
15. Lee D.W., Hong Y.C., Han C.W., Lim Y.H., Oh J.M., Bae H.J., et al. Long-term exposure to fine particulate matter and incident asthma among elderly adults. *Chemosphere*. 2021; 272: 129619. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129619> <https://elibrary.ru/zuvmj1>
16. Volkodaeva M.V., Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Kanchan Ya.S., Levkin A.V., Timin S.D. On accounting for emissions of pollutants from autonomous heat supply sources of individual residential buildings when conducting summary calculations of atmospheric air pollution for settlements. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(2): 141–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-2-141-147> <https://elibrary.ru/nybm1> (in Russian)
17. Nikitin M.V., Mironova A.D. Review of the existing regulatory framework for determining emissions of pollutants from mobile sources and proposals for its improvement. In: *Modern Technologies in the Field of Environmental Protection and Technosphere Safety. Materials of the All-Russian Scientific Conference with International Participation [Sovremennye tekhnologii v oblasti zashchity okruzhayushchei sredy i tekhnosfernoi bezopasnosti. Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Kazan'; 2024: 361–4. (in Russian)
18. Ovodkov M.V., Tkachev M.A., Sukhov V.V. Problems of accounting for background contribution in integrated calculations of atmospheric air pollution. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2024; (8): 21–7. (in Russian)
19. Zaitseva N.V., Zhdanova-Zaplesvichko I.G., Zemlyanova M.A., Perezhogin A.N., Savinykh D.F. Experience in organizing and conducting epidemiological studies to detect and prove the causal relationship between ambient air quality and health disorders in the population of industrially contaminated sites. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2021; (1): 4–15. <https://elibrary.ru/kdjfsy> (in Russian)
20. Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., Koldibekova Yu.V., Peskova E.V. Scientific and methodological grounds for iterative prediction of risk and harm to human health under chemical environmental exposures: from protein targets to systemic metabolic disorders. *Analiz riska zdorov'yu*. 2024; (2): 18–31. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2024.2.02> <https://elibrary.ru/cerxjr> (in Russian)
21. Popova A.Yu., Zaitseva N.V., May I.V., Kiryanov D.A. Methodological approaches to the calculation of actual and prevented as a result of the control and supervisory activities, medical-demographic and economic 95 losses, associated with the negative impact of environmental factors. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(7): 95–9. <https://elibrary.ru/vckpxn> (in Russian)
22. Rodea-Palomares I., González-Pleiter M., Martín-Betancor K., Rosal R., Fernández-Piñas F. Additivity and interactions in ecotoxicity of pollutant mixtures: some patterns, conclusions, and open questions. *Toxics*. 2015; 3(4): 342–69. <https://doi.org/10.3390/toxics3040342>
23. Mustafa E., Valente M.J., Vinggaard A.M. Complex chemical mixtures: Approaches for assessing adverse human health effects. *Curr. Opin. Toxicol.* 2023; 34(3): 100404. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2023.100404>
24. Shilov V.V., Markova O.L., Kuznetsov A.V. Biomonitoring of influence of harmful chemicals on the basis of the modern biomarkers. Literature review. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(6): 591–6. <https://elibrary.ru/qlaqms> (in Russian)
25. Alikina I.N., Dolgikh O.V. Biomarkers of exposure to airborne formaldehyde in children with allergic pathologies. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(11): 1412–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-11-1412-1416> <https://elibrary.ru/twibii> (in Russian)
26. Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., May I.V., Alekseev V.B., Trusov P.V., Khrushcheva E.V., et al. Efficiency of health risk mitigation: complex assessment based on fuzzy sets theory and applied in planning activities aimed at ambient air protection. *Health Risk Analysis*. 2024; 103(11): 1412–6. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.1.03.eng> <https://elibrary.ru/vamexc>
27. Barg A.O., Lebedeva-Nesevria N.A., Pestereva D.Yu. Results of social networks monitoring within assessing population's satisfaction with sanitary-epidemiological situation. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(5): 433–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-5-433-439> <https://elibrary.ru/jewcva> (in Russian)

Сведения об авторах

Зайцева Нина Владимировна, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, научный руководитель ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: znv@fcrisk.ru

Май Ирина Владиславовна, доктор биол. наук, профессор, гл. науч. сотр. — советник директора ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: may@fcrisk.ru

Information about the authors

Nina V. Zaitseva, DSc (Medicine), professor, Academician of the RAS, Scientific Director of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145> E-mail: znv@fcrisk.ru

Irina V. May, DSc (Biology), professor, chief researcher — advisor to the Director of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016> E-mail: may@fcrisk.ru