

# ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА: АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ

УДК 614.7  
DOI: 10.21668/health.risk/2022.4.01



Научная статья

## НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИОРИТЕТНЫХ ВЕЩЕСТВ, ОБЪЕКТОВ КВОТИРОВАНИЯ И НАПРАВЛЕНИЙ ДЕЙСТВИЙ ПО СНИЖЕНИЮ АЭРОГЕННЫХ РИСКОВ ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛНОМОЧИЙ САНИТАРНОЙ СЛУЖБЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Н.В. Зайцева<sup>1</sup>, И.В. Май<sup>1</sup>, Д.А. Кирьянов<sup>1</sup>, Д.В. Горяев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

<sup>2</sup>Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю, Россия, 660049, г. Красноярск, ул. Каратанова, 21

*Исследование выполнялось в связи с актуализацией задач управления качеством атмосферного воздуха в крупных промышленных городах страны, в том числе в рамках федерального проекта «Чистый воздух» и системы квотирования выбросов.*

*Разработаны научно-методические подходы, обеспечивающие реализацию функций и полномочий Роспотребнадзора по управлению качеством атмосферного воздуха, в том числе в рамках проекта «Чистый воздух». При этом учитывали, что исходными данными для всей системы квотирования выбросов являются сводные расчеты рассеивания примесей. Исследования ориентировались на структуру входных и выходных данных программы расчета загрязнения атмосферы «Эколог-Город», реализующей стандартизованные в России методы диффузии выбросов в атмосфере. Расчеты выполняли в точках на жилых территориях города. Учитывали не менее 20 основных вкладов источников в концентрации каждого вещества в каждой расчетной точке. Оценку аэрогенного риска здоровью выполняли в соответствии с актуальными методическими документами. В качестве критериев допустимого (приемлемого) риска принимали: канцерогенный риск – на уровне  $1,0 \cdot 10^{-4}$ ; неканцерогенный хронический и / или острый риск – на уровне индекса опасности для веществ с однонаправленным действием, равным 3,0. Для решения задачи обоснования оптимальных направлений регулирующих воздействий по минимизации рисков здоровью через снижение выбросов в атмосферу использован метод ветвей и границ линейного программирования.*

*Разработан принципиальный алгоритм определения перечня приоритетных загрязняющих веществ, перечня квотируемых объектов и обоснования оптимальных направлений регулирующих воздействий по снижению аэрогенных рисков здоровью населения. К приоритетным предлагается относить вещества, по которым регистрируются превышения гигиенических нормативов и которые в сумме формируют не менее 95 % вклада в неприемлемый риск для здоровья в отношении критических органов или систем хотя бы в одной расчетной точке. К приоритетным относятся объекты, которые формируют суммарно превышения гигиенических нормативов и более 95 % недопустимого риска для здоровья. Предложен и апробирован инструмент выбора оптимальных направлений регулирующих действий по системе гигиенических критериев, включая критерии риска для здоровья населения.*

*Предложенные подходы обеспечивают функции и полномочия санитарной службы в части контроля безопасного качества атмосферного воздуха, позволяя на единой методической основе для всех городов, в том числе включенных в проект «Чистый воздух», определять приоритетные вещества и объекты для последующего квотирования. Разработанный подход позволяет оценить адекватность направлений природоохранных мероприятий характеру и уровням риска для здоровья населения.*

**Ключевые слова:** риск здоровью, выбросы в атмосферу, регулирование, федеральный проект «Чистый воздух», приоритетные вещества, приоритетные объекты квотирования, аэрогенный риск, линейное программирование.

© Зайцева Н.В., Май И.В., Кирьянов Д.А., Горяев Д.В., 2022

**Зайцева Нина Владимировна** – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель (e-mail: znv@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

**Май Ирина Владиславовна** – доктор биологических наук, профессор, заместитель директора по научной работе (e-mail: may@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>).

**Кирьянов Дмитрий Александрович** – кандидат технических наук, заведующий отделом математического моделирования систем и процессов (e-mail: kda@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5406-4961>).

**Горяев Дмитрий Владимирович** – кандидат медицинских наук, руководитель (e-mail: goryaev\_dv@24.rosпотреbnadzor.ru; тел.: 8 (391) 226-89-50; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6450-4599>).

Обеспечение качества атмосферного воздуха, при котором не формируются неприемлемые риски для здоровья населения, отсутствуют факты причинения вреда здоровью или иные нарушения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, рассматривается как важнейшая стратегическая задача развития страны, требующая межведомственного взаимодействия органов власти всех уровней.

Федеральный проект «Чистый воздух» имеет целью кардинальное снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха в крупных промышленных центрах (на момент старта проекта в него были включены 12 городов<sup>1</sup>; в 2022 г. список городов-участников проекта увеличился еще на 29<sup>2</sup>).

Для обеспечения снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха с 1 января 2020 г. в соответствии с Федеральным законом от 26.07.2019 № 195-ФЗ<sup>3</sup> проводится эксперимент по квотированию выбросов, который с учетом поправок Федерального закона от 26.03.2022 № 71-ФЗ<sup>4</sup> планируется завершить 31 декабря 2026 г. Таким образом, проект «Чистый воздух» и эксперимент по квотированию выбросов тесно связаны между собой [1, 2].

Квотирование рассматривается как особый порядок регулирования выбросов с учетом целевых показателей их сокращения, а также введения для предприятий – участников эксперимента квот на выбросы по приоритетным атмосферным загрязнителям на основе сводных расчетов<sup>5</sup>.

Введение в нормативную базу понятия «приоритетные загрязняющие вещества» является крайне важным шагом в развитии всей системы регулиро-

вания выбросов. Прежде всего, это связано с тем, что совокупно промышленные предприятия, автомобильный (в отдельных городах и железнодорожный) транспорт и автономные источники теплоснабжения выбрасывают в атмосферу городов десятки, а то и сотни химических примесей. Например, в атмосферный воздух г. Читы ежегодно выбрасывается более 130 веществ от 211 промышленных предприятий [3], в г. Нижнем Тагиле – порядка 166 веществ [4], в г. Норильске – 107 наименований выбрасываемых примесей [5] и т.п. В связи с этим обоснование наиболее эффективных действий по снижению загрязнения всегда являлось важной научно-методической задачей.

Для ранжирования, приоритизации выбросов на территории в целях государственного управления предлагались и использовались самые разные подходы. Приоритетными, независимо от фактических масс выброса, в ряде случаев считали примеси, включенные в различные международные и отечественные нормативные, инструктивные или информационные документы. К таким документам можно отнести списки приоритетных веществ, публикуемые Агентством по токсическим веществам<sup>6</sup>, Приказ Минприроды РФ «О Порядке установления источников выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, подлежащих государственному учету и нормированию, и о Перечне вредных (загрязняющих) веществ, подлежащих государственному учету и нормированию»<sup>7</sup>, Письмо Минздрава РФ о списке приоритетных веществ, содержащихся в окружающей среде, и их влиянии на здоровье населения<sup>8</sup>, Руководство

<sup>1</sup> Федеральный проект «Чистый воздух» [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – URL: <https://www.mnr.gov.ru/activity/clean-air/> (дата обращения: 15.09.2022).

<sup>2</sup> О распространении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ на городские поселения и городские округа с высоким и очень высоким загрязнением атмосферного воздуха: Протокол совещания у заместителя Председателя Правительства РФ В.В. Абрамченко от 18 ноября 2021 г. № ВА-П11-77пр. – М., 2021.

<sup>3</sup> О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха: Федеральный закон от 26.07.2019 № 195-ФЗ [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201907260064> (дата обращения: 15.09.2022).

<sup>4</sup> О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 26.03.2022 № 71-ФЗ [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203260008> (дата обращения: 15.09.2022).

<sup>5</sup> Об утверждении правил квотирования выбросов загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух: Приказ Минприроды России от 29.11.2019 № 814 [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912260045> (дата обращения: 15.09.2022).

<sup>6</sup> Support Document to the 2022 Substance Priority List (Candidates for Toxicological Profiles) [Электронный ресурс] // Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology and Human Health Sciences. – USA, Atlanta, 2022. – 12 p. – URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/spl/resources/ATSDR-2022-SPL-Support-Document-508.pdf> (дата обращения: 02.10.2022).

<sup>7</sup> О Порядке установления источников выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, подлежащих государственному учету и нормированию, и о Перечне вредных (загрязняющих) веществ, подлежащих государственному учету и нормированию: Приказ Минприроды РФ от 31.12.2010 № 579 (зарегистрировано в Минюсте РФ 09.02.2011 № 19753) [Электронный ресурс] // КонтурНорматив. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=229990> (дата обращения: 18.08.2022).

<sup>8</sup> О списке приоритетных веществ, содержащихся в окружающей среде, и их влиянии на здоровье населения: Письмо Департамента Госсанэпиднадзора Минздрава РФ от 07.08.1997 № 11/109-111 [Электронный ресурс] // Библиотека нормативной документации. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293737/4293737491.htm> (дата обращения: 03.09.2022).

по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89<sup>9</sup> и прочие.

Применялся выбор приоритетов по вкладу в суммарную валовую массу выбросов, по рангу числового значения отношения масс выбросов и предельно допустимым концентрациям или комплексным индексам загрязнения атмосферы [6, 7], по наличию у химических веществ мутагенных, канцерогенных, тератогенных свойств [8]. С появлением российского «Руководства по оценке риска здоровью населения при воздействии веществ, загрязняющих окружающую среду»<sup>10</sup> широко распространилась практика выделения приоритетных веществ по величине индекса опасности, при определении которого учитываются референтные уровни химического вещества и задаваемые весовые коэффициенты для оценки канцерогенных и / или неканцерогенных эффектов [9, 10].

Федеральный закон 195-ФЗ «О проведении эксперимента...» однозначно определяет, что «*приоритетные загрязняющие вещества – загрязняющие вещества, выбросы которых влияют на превышение гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха, создают риски для здоровья человека на территориях эксперимента*». Таким образом, необходимым является установление строгого порядка определения приоритетов по критериям риска для здоровья.

Поскольку сокращение выбросов приоритетных веществ должно осуществляться на конкретных объектах, не менее важной задачей становится определение приоритетных источников этих веществ и их вклада в загрязнение.

Решение обеих задач – определение перечней приоритетных веществ и участие в обосновании перечней приоритетных объектов – Федеральный закон от 26 июля 2019 г. № 195-ФЗ относит к полномочиям, возложенным на федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор статьей<sup>11</sup>.

Вместе с тем следует отметить, что Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»<sup>12</sup> наделяет главных государственных санитарных врачей и их заместителей полномочиями по внесению в органы всех уровней

предложений о реализации мер по улучшению санитарно-эпидемиологической обстановки, охране и укреплению здоровья населения. Данные полномочия целесообразно и важно реализовывать, в том числе в ходе реализации проекта «Чистый воздух». Последнее связано еще и с тем, что нормативные и методические документы по системе квотирования не предусматривают оценку остаточного риска для здоровья или оценку эффективности реализуемых мероприятий по критериям здоровья населения. Отсутствие такой оценки может иметь следствием недостаточные или избыточные затраты хозяйствующих субъектов на низкорезультативные мероприятия и / или снижение социальной и медико-географической значимости принимаемых решений [11, 12]. Вместе с тем представляется целесообразной не только оценка уже реализованных мероприятий, но и упреждающий анализ планов и программ мероприятий на предмет соответствия предполагаемых мер структуре, уровню и пространственному распределению рисков для здоровья населения на территории.

Развитие теоретических основ решения оптимизационных задач при нормировании выбросов описано и практическое воплощение получило в трудах Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова [13, 14].

**Цель исследования** – разработка научно-методических подходов, обеспечивающих реализацию функций и полномочий Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по обеспечению безопасного качества атмосферного воздуха, в том числе в рамках проекта «Чистый воздух».

**Материалы и методы.** Методические подходы разрабатывали с учетом того, что базовыми исходными данными для всей системы принятия решений при регулировании выбросов через инструменты квотирования являются сводные расчеты рассеивания примесей.

В ходе исследования ориентировались на структуру входных и выходных данных унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы «Эколог-Город», версия 4.60.1 с блоком расчета «Средние». Программа реализует утвержденные в Российской Федерации методы моделирования рас-

<sup>9</sup> РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200036406> (дата обращения: 03.09.2022).

<sup>10</sup> Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 22.11.2022).

<sup>11</sup> О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха: Федеральный закон от 26.07.2019 № 195-ФЗ [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201907260064> (дата обращения: 15.09.2022).

<sup>12</sup> О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901729631> (дата обращения: 15.09.2022).

пространения выбросов загрязняющих веществ в атмосфере. При учете вкладов отдельных источников в загрязнение рассматривали не менее 20 приоритетных вкладов в концентрации каждого вещества в каждой расчетной точке.

Разрабатываемые подходы предполагали привязку всех источников расчетных точек к векторным картам территорий и обязательность расчета вкладов в приземные концентрации в каждой точке города хозяйствующих субъектов, автотранспорта (на отдельных участках улично-дорожной сети) и иных источников загрязнения.

Оценка риска выполнялась в соответствии с актуальными методическими документами, утвержденными Роспотребнадзором в установленном порядке<sup>13</sup>. Критериями допустимого (приемлемого) риска принимаются: канцерогенный риск –  $1,0 \cdot 10^{-4}$ ; неканцерогенный хронический и / или острый риск – индекс опасности для веществ с однонаправленным действием (hazard index –  $HI$ ) – 3,0; коэффициент опасности для отдельных веществ (hazard quotient –  $HQ$ ) –  $1,0$ <sup>14</sup>.

В алгоритм включена процедура оценки и верификации расчетных данных данными инструментальных измерений на постах экологического и / или социально-гигиенического мониторинга с последующей корректировкой сводных баз данных об источниках.

Определение направлений действий предполагало установление конкретных хозяйствующих субъектов, снижение выбросов приоритетных веществ на которых обеспечит достижение уровней приемлемого риска для здоровья населения на всей территории города. В качестве критерия оптимизации в рамках данного исследования был выбран критерий минимального достаточного снижения масс выбросов на территории. Процедура строилась на основе базового решения оптимизационной задачи, заключающейся в определении изменений масс выбросов загрязняющих веществ объектами квотирования, обеспечивающих соблюдение задаваемых критериев риска для здоровья в выбранных опорных точках. Для решения задачи в рамках представленной математической постановки был разработан программный модуль, реализующий метод ветвей и границ линейного программирования в среде R-studio (номер государственной регистрации программы для ЭВМ: 2022669645).

**Результаты и их обсуждение.** Предложен принципиальный алгоритм определения перечня приоритетных загрязняющих веществ, перечня квотируемых объектов и обоснования оптимальных направлений регулирующих воздействий по минимизации аэрогенных рисков здоровью населения, который приведен на рис. 1. Алгоритм предполагает, что сводные расчеты выполняются по условиям кратковременного загрязнения атмосферы (20-минутный временной интервал, наихудшие возможные условия рассеивания – условия острого воздействия на население) и условиям среднегодового загрязнения атмосферы (хроническое воздействие).

При выборе приоритетных химических веществ оптимальным представляется определение приземных концентраций в расчетных точках, соответствующих геометрическим центрам всех жилых строений и территорий, используемых населением для рекреационных или лечебно-оздоровительных целей.

Предпочтение расчетным точкам перед регулярной сеткой отдается с учетом нескольких аспектов:

- селитебная застройка зачастую не является сплошным непрерывным территориальным образованием, отдельные участки жилья находятся на значительном удалении друг от друга и представляют собой небольшие зоны, которые некорректно учитывать с шагом сетки более  $200 \times 200$  м;

- устраняется попадание отдельных точек на промышленные площадки, расположенные в непосредственной близости к жилью, на дороги и пр., что повышает корректность оценки риска для здоровья;

- расположение расчетных точек непосредственно в точках проживания населения максимально соответствует задаче оценки рисков для здоровья человека.

Эти же расчетные точки в дальнейшем применяются для решения задачи по выбору оптимальных направлений действий по минимизации рисков здоровью.

Приземная концентрация каждого вещества характеризуется рядом параметров:

- ♦ доли ПДК<sub>мр</sub>;
- ♦ доли ПДК<sub>сг</sub> (или ПДК<sub>св</sub><sup>15</sup>);
- ♦ уровнем формируемого канцерогенного пожизненного риска;
- ♦ уровнем формируемого острого риска, доли  $ARfC$ ;
- ♦ уровнем формируемого хронического риска, доли  $RfC$ .

<sup>13</sup> Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 22.11.2022).

<sup>14</sup> МР 2.1.10.01156-19. Оценка качества атмосферного воздуха и анализ риска здоровью населения в целях принятия обоснованных управленческих решений в сфере обеспечения качества атмосферного воздуха и санитарно-эпидемиологического благополучия населения / утв. руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом РФ А.Ю. Поповой 02.12.2019 [Электронный ресурс] // ЮИС «Легалакт»: законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации. – URL: <https://legalacts.ru/doc/mr-21100156-19-2110-gigiena-kommunalnaja-gigiena-sostojanie-zdorovja-naselenija/> (дата обращения: 22.11.2022).

<sup>15</sup> Для веществ, не имеющих ПДК<sub>сг</sub>.

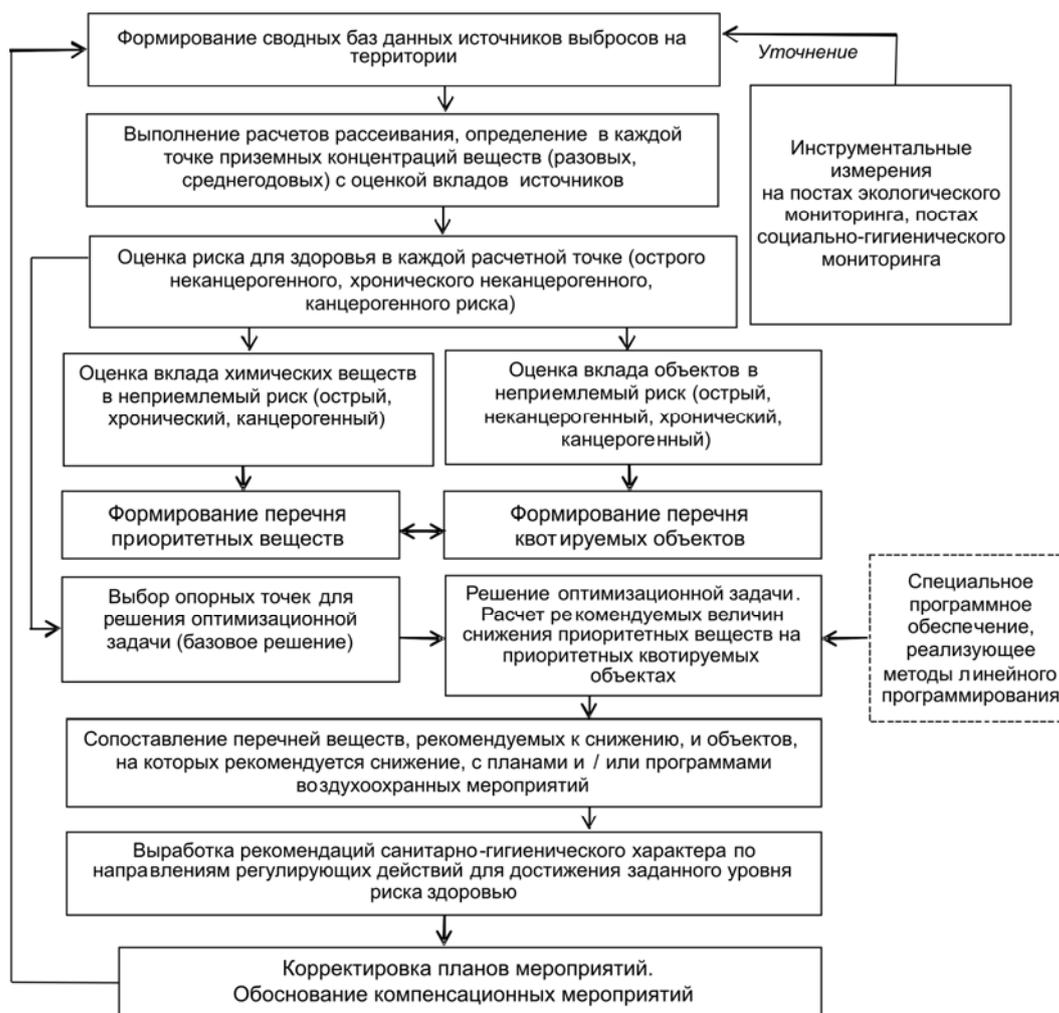


Рис. 1. Принципиальный алгоритм определения приоритетных веществ, приоритетных объектов для квотирования и обоснования направлений регулирующих действий по минимизации рисков здоровью населения

При выявлении недопустимых (неприемлемых) уровней риска для здоровья выполняется оценка вклада отдельных химических веществ в каждый из видов риска для здоровья (канцерогенного, неканцерогенного острого и неканцерогенного хронического) в каждой точке недопустимого (неприемлемого) риска. В каждой расчетной точке, в которой установлен недопустимый (неприемлемый) риск для здоровья, вещества ранжируются по вкладу в суммарный риск.

К приоритетным относят вещества:

- по которым регистрируются превышения ПДК<sub>мр</sub> и / или ПДК<sub>ст</sub> по результатам расчетов рассеивания;
- которые характеризуются индивидуальными индексами опасности ( $HI > 1,0$ ) или канцерогенным риском  $1 \cdot 10^{-6}$ ;
- которые вносят (с учетом порядка убывания вклада) в сумме не менее 95 % вклада в неприемлемый

риск для здоровья в отношении критических органов или систем хотя бы в одной расчетной точке ( $HI > 3,0$ ; канцерогенный риск  $> 1 \cdot 10^{-4}$ ).

Пример выбора приоритетных веществ в точках для одного вида риска приведен в табл. 1.

Итоговый перечень приоритетных веществ в целом по городу формируется по совокупности всех данных. Пример приведен в табл. 2.

Представляется, что перечень приоритетных веществ, подлежащих квотированию, является динамичным, изменяющимся в результате появления новых или передислокации известных источников загрязнения, изменения сводной базы данных об источниках в целом по городу.

Для определения приоритетных квотируемых объектов используются результаты расчета вкладов отдельных источников в приземные концентрации приоритетных загрязняющих веществ и в неприемлемые риски<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> При отсутствии технических возможностей расчета вкладов источников в каждой точке при расчете приземных концентраций в соответствии с п. 4.2. расчет вкладов предприятий, объектов инфраструктуры, иных источников в риск выполняют в опорных точках.

Таблица 1

Пример выделения приоритетных веществ по показателю «Вклад в неприемлемый хронический риск болезней органов дыхания»

Код*	Расчетная точка	1	2	3	4	5	6	7	8
	Индекс опасности (HI) в точке	3,33	4,32	4,49	5,34	5,51	5,97	9,53	12,10
	Сумма пылей, в том числе	<b>69,19</b>	<b>76,33</b>	<b>69,27</b>	<b>60,63</b>	<b>71,12</b>	<b>72,96</b>	<b>77,51</b>	<b>68,95</b>
2908	Пыль неорганическая: 70–20 % SiO <sub>2</sub>	60,44	75,27	55,39	46,31	70,09	44,55	22,75	34,00
2909	Пыль неорганическая: до 20 % SiO <sub>2</sub>	1,02	0,22	0,37	0,56	0,16	0,39	0,30	0,31
2902	Взвешенные вещества	4,13	0,64	10,12	9,10	0,65	22,32	46,02	29,36
2930	Пыль абразивная	0,21	0,02	0,36	0,30	0,02	0,58	1,27	0,67
2936	Пыль древесная	2,21	0,12	1,87	3,86	0,13	4,73	6,87	4,29
2937	Пыль зерновая	1,15	0,05	1,14	0,47	0,06	0,35	0,19	0,27
3749	Пыль каменного угля	0,013	0,001	0,008	0,012	0,001	0,012	0,007	0,01
330	Серы диоксид (ангидрид сернистый)	14,04	17,57	12,96	10,57	16,10	10,28	5,37	7,98
301	Азота диоксид (азот (IV) оксид)	10,83	5,17	13,69	18,89	11,18	11,22	7,06	16,44
150	Натр едкий	0,82	0,21	1,59	3,45	0,16	3,34	3,42	1,27
304	Азот (II) оксид (азота оксид)	4,47	0,55	1,45	2,54	1,19	1,19	0,75	0,75
322	Серная кислота (по молекуле H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	0,08	0,04	0,08	0,06	0,03	0,12	0,09	0,23
1325	Формальдегид	0,24	0,06	0,23	0,47	0,13	0,21	0,12	0,30
1301	Проп-2-ен-1-аль (акролеин)	0,09	0,01	0,21	0,16	0,01	0,39	2,39	1,83
	<b>Сумма вкладов выделенных веществ</b>	<b>98,53</b>	<b>99,07</b>	<b>95,92</b>	<b>96,08</b>	<b>98,4</b>	<b>97,8</b>	<b>95,75</b>	<b>96,47</b>

Примечание: \* – код вещества в системе сводных расчетов; \*\* – тоном выделены вещества, вносящие с учетом ранжированного вклада более 95 % в неприемлемый риск для здоровья.

Таблица 2

Приоритетные вещества – компоненты выбросов предприятий и автотранспорта

№ п/п	Код	Наименование вещества	Критерий включения*						
			1	2	3	4	5	6	7
1	143	Марганец и его соединения (в пересчете на марганца (IV) оксид)	–	–	–	–	–	–	+
2	150	Натр едкий	–	–	–	–	–	+	+
3	164	Никель оксид (в пересчете на Ni)	–	–	–	–	–	+	+
4	301	Азота диоксид	+	+	–	–	+	+	+
5	304	Азота оксид	–	–	–	–	–	–	+
6	328	Углерод (сажа)	–	–	–	–	–	–	+
7	330	Серы диоксид	–	–	–	–	–	+	+
8	337	Углерода оксид	+	–	–	–	–	–	–
9	342	Фториды газообразные	–	–	–	–	–	+	+
10	602	Бензол	–	–	+	+	–	+	+
11	703	Бенз(а)пирен (3,4-бензпирен)	–	–	+	–	–	–	–
12	1301	Проп-2-ен-1-аль (акролеин)	–	–	–	–	–	+	+
13	1325	Формальдегид	–	–	+	+	–	–	–
14	2902	Пыли (суммарно) с приоритетом	–	–	–	+	+	+	+
15	2907	Пыль неорганическая >70 % SiO <sub>2</sub>	+	–	–	+	+	+	+
16	2909	Пыль неорганическая: до 20 % SiO <sub>2</sub>	–	–	–	+	+	+	+

Примечание: \* – критерии включения:

- 1 – регистрируются превышения ПДК<sub>мр</sub> по расчетам рассеивания;
- 2 – регистрируются превышения ПДК<sub>ср</sub> по расчетам рассеивания;
- 3 – фиксируется  $HQ_o > 1$ ;
- 4 – фиксируется  $HQ_{xp} > 1$ ;
- 5 – входит в число веществ, формирующих 95 % неприемлемого канцерогенного риска;
- 6 – входит в число веществ, формирующих 95 % неприемлемого острого неканцерогенного риска;
- 7 – входит в число веществ, формирующих 95 % неприемлемого хронического неканцерогенного риска.

Учитываются все источники, формирующие суммарно превышения гигиенических нормативов и более 95 % недопустимого риска для здоровья.

Вклад отдельного объекта (предприятия, участка улично-дорожной сети с выбросами автотранспорта, автономного источника теплоснабжения) в показатели риска (индексы опасности) в каждой точке определяют как взвешенное среднее вкладов предприятия по формулам:

– для хронического риска:

$$\delta(HI_{Rfcj})_n^k = \frac{\sum_{i \in I_j^{Rfc}} HQ_{Rfci}^k \cdot \delta c_{in}^k}{\sum_{i \in I_j^{Rfc}} HQ_{Rfci}^k}, \quad (1)$$

где  $\delta(HI_{Rfcj})_n^k$  – вклад  $n$ -го объекта в индекс опасности для  $j$ -го органа или системы в  $k$ -й точке при хроническом воздействии;

$I_j^{Rfc}$  – множество загрязняющих веществ, формирующих риск здоровью хронического действия по  $j$ -му органу или системе;

$HQ_{Rfci}^k$  – коэффициент опасности для хронического действия для  $i$ -го загрязняющего вещества в  $k$ -й точке;

$\delta c_{in}^k$  – вклад  $n$ -го предприятия в среднегодовые концентрации в  $k$ -й точке по  $i$ -му веществу;

– для острого риска:

$$\delta(HI_{ARfcj})_n^k = \frac{\sum_{i \in I_j^{ARfc}} HQ_{ARfci}^k \cdot \delta m_{in}^k}{\sum_{i \in I_j^{ARfc}} HQ_{ARfci}^k}, \quad (2)$$

где  $\delta(HI_{ARfcj})_n^k$  – вклад  $n$ -го объекта в индекс опасности для  $j$ -го органа или системы в  $k$ -й точке при остром воздействии;

$I_j^{ARfc}$  – множество загрязняющих веществ, формирующих риск здоровью острого действия по  $j$ -му органу или системе;

$HQ_{ARfci}^k$  – коэффициент опасности для острого действия для  $i$ -го загрязняющего вещества в  $k$ -й точке;

$\delta m_{in}^k$  – вклад  $n$ -го предприятия в максимальные разовые концентрации в  $k$ -й точке по  $i$ -му веществу;

– для канцерогенного действия:

$$\delta(CR)_n^k = \frac{\sum_i SF_i C c_{in}^k \cdot \delta c_{in}^k}{\sum_i SF_i C c_{in}^k}, \quad (3)$$

где  $\delta(CR)_n^k$  – вклад  $n$ -го объекта в канцерогенный риск в  $k$ -й точке при остром воздействии;

$C c_{in}^k$  – среднегодовая концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества, рассчитанного в  $k$ -й точке;

$\delta c_{in}^k$  – вклад  $n$ -го предприятия в среднегодовые концентрации в  $k$ -й точке по  $i$ -му веществу;

$SF_i$  – фактор канцерогенного потенциала (случай-фактор) для  $i$ -го загрязняющего вещества.

Расчет вкладов проводят в каждой точке в отношении всех критических органов и систем для хронического и острого действия.

Интегральную оценку вкладов отдельного объекта в показатели риска здоровью населения проводят с применением взвешенного осреднения по всем точкам:

– для хронического действия:

$$\delta(HI_{Rfcj})_n = \frac{\sum_k HI_{Rfcj}^k \cdot \delta(HI_{Rfcj})_n^k}{\sum_k HI_{Rfcj}^k}, \quad (4)$$

где  $\delta(HI_{Rfcj})_n$  – средневзвешенный вклад  $n$ -го объекта в индекс опасности для  $j$ -го органа или системы при хроническом воздействии по совокупности точек;

$HI_{Rfcj}^k$  – индекс опасности для  $j$ -го органа или системы при хроническом воздействии в  $k$ -й точке.

Аналогично (4) рассчитывается интегральная оценка вклада отдельного объекта в показатели острого и / или канцерогенного риска.

Все объекты, которые вносят вклад в 95 % неприемлемого (канцерогенного, острого и / или хронического неканцерогенного) риска, включаются в перечень объектов, квотирование выбросов которых целесообразно с позиций достижения безопасного уровня риска для здоровья. Для каждого объекта указываются факторы (вещества), которые подлежат первоочередному снижению в выбросах. Пример обоснования списка приоритетных объектов приведен в табл. 3.

Приведенный пример показывает, что на обследованной территории к приоритетам надлежит отнести 20 предприятий, автотранспорт и автономные источники теплоснабжения. При этом вклад источников неодинаков, и перечни веществ, подлежащих снижению, специфичны для каждого объекта. Таким образом, очевидно, что сокращение на определенную долю выброса каждого объекта малоцелесообразно. И может не иметь следствием снижение риска для здоровья до допустимого (приемлемого) уровня.

С целью обеспечения санитарной службы инструментарием, который не заменяет порядок и методу квотирования выбросов, но позволяет оценить адекватность направлений природоохранных мероприятий уровням риска для здоровья, предложен метод выбора оптимальных направлений регулирующих действий по системе гигиенических критериев.

Для снижения временных затрат на выполнение расчетов и сокращения объемов выходной информации для решения задачи выбирается система

Фрагмент обоснования списка приоритетных объектов – источников недопустимого риска для здоровья населения на территории

Параметр	Вклад конкретного объекта в недопустимый риск определенного вида, %						Вещества, вносящие вклад в недопустимый риск
	Хронический, болезни органов дыхания	Хронический, воздействия на развитие потомства	Хронический, болезни нервной системы	Хронический, болезни крови	Острый, болезни органов дыхания	Острый, болезней иммунной системы	
Предприятие 1	38,51	–	56,71	57,90	2,1	67,0	Никель оксид, марганец и его соединения, бензол
Автотранспорт	21,57	–	–	27,87	1,92	–	Азота диоксид, азота оксид
Предприятие 2	17,26	96,35	8,11	–	13,10	–	Фтористые соединения газообр., фториды неорганические, сера диоксид, пыль неорганич., азота диоксид, бенз(а)пирен, бензол
Автономные источники теплоснабжения	8,19	–	–	–	5,50	–	Серы диоксид, пыль неорганическая, азота диоксид, взвешенные вещества
Предприятие 3	3,62	–	11,56	4,33	37,2	–	Азота диоксид, азот (II) оксид, пыль неорганическая, марганец и его соединения, углерод (сажа), серы диоксид
Предприятие 4	3,08	–	–	–	20,4	–	Азота диоксид, серы диоксид, пыль неорганическая, азот (II) оксид
Предприятие 5	1,92	–	–	–	–	–	Пыль неорганическая, натрий гидроксид, меди оксид
Предприятие 6	1,29	–	–	5,20	8,70	–	Проп-2-ен-1-аль (акролеин), сера диоксид, азота диоксид, натрий гидроксид, никеля оксид
Предприятие 7	–	–	7,68	–	–	–	Марганец и его соединения
Предприятие 8	–	–	6,30	–	–	–	Марганец и его соединения
Предприятие 9	–	–	–	–	–	12,3	Марганец, бензол
Предприятие 10	–	–	–	–	–	8,20	Бензол
Предприятие 11	–	–	–	–	–	5,60	Бензол
... Прочие (всего 9 предприятий)	–	–	4,90	–	8,10	2,30	Серы диоксид, пыль неорг., азота диоксид, бензол, взвешенные вещества
Итого	95,44	96,35	95,23	95,30	96,62	95,4	

опорных точек. Последние представляют собой точки локальных максимумов в зонах компактного проживания населения по системе показателей, характеризующих соблюдение гигиенических нормативов (ПДК<sub>сг</sub> и ПДК<sub>мр</sub>), коэффициентов опасности по острому и хроническому действию, индексов опасности по острому и хроническому действию для критических органов и систем, показателю канцерогенного риска.

Использование локальных максимумов в качестве точек квотирования позволяет уменьшить размерность задачи на несколько порядков без существенных потерь в точности оценок, сокращая тем самым потребности в вычислительных ресурсах.

Апробация представленного метода на примере г. Красноярска позволила выделить 35 зон компактного проживания населения с точками локальных максимумов по всей системе показателей безопасности (рис. 2).

В качестве целевой функции (критерия оптимизации) может быть выбрано минимальное суммарное изменение масс выбросов загрязняющих веществ по всем объектам квотирования (5):

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I (1 - q_{in}) M_{in} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $q_{in}$  – доля снижения массового расхода в год  $i$ -го загрязняющего вещества от  $n$ -го объекта;

$M_{in}$  – массовый расход в единицу времени  $i$ -го загрязняющего вещества от  $n$ -го объекта, т/г.

Рассматривается задача сокращения валового выброса, который влияет на уровень среднегодовых концентраций загрязняющих веществ и уровни хронического (канцерогенного и неканцерогенного) риска для здоровья.

Решение предполагает, что в каждой расчетной точке должны выполняться следующие условия:

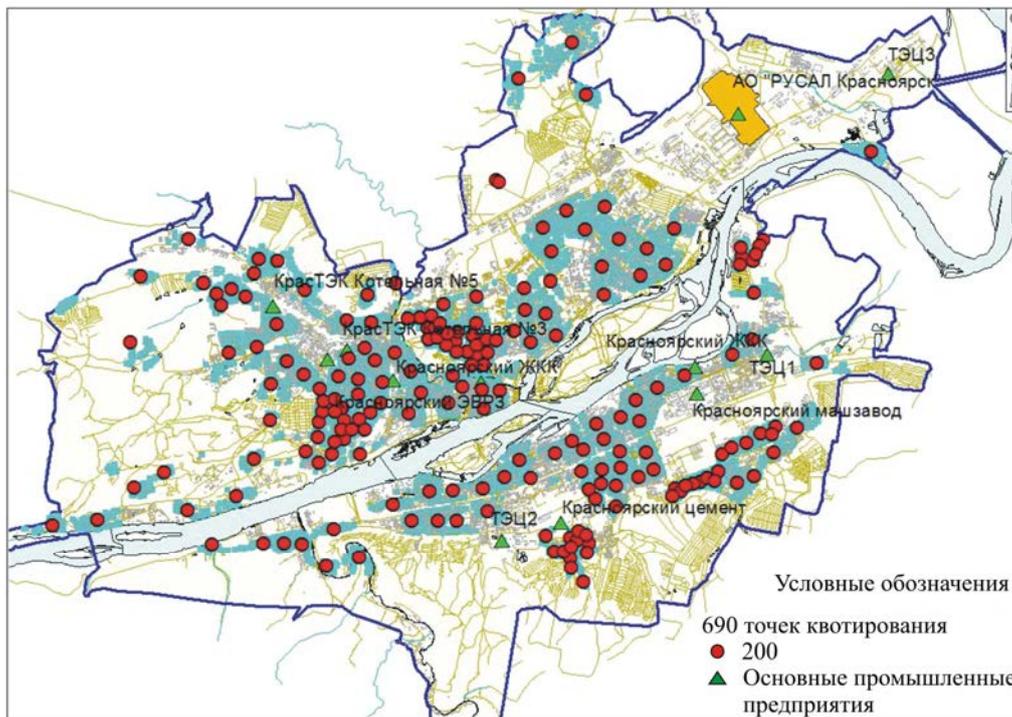


Рис. 2. Электронная карта г. Красноярска с нанесенными точками локальных максимумов, выступивших в качестве опорных точек при решении задачи квотирования

– область допустимых значений доли снижения массового расхода загрязняющих веществ на объектах квотирования колеблется от 0 до 1,0<sup>17</sup> (параметров управления) (6):

$$0 \leq q_{in} \leq 1, i = \overline{1...I}, n = \overline{1...N}; \quad (6)$$

– коэффициент опасности ( $HQ$ ) для веществ, формирующих неканцерогенный риск, не должен превышать 1,0 (7):

$$HQ_{Rfci}^k = \frac{\sum_{n=1}^N q_{in} C cr_{in}^k}{Rfci} \leq R_{HQ}, i = \overline{1...I}, k = \overline{1...K}, \quad (7)$$

где  $Rfci$  – референтная концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества при хроническом (среднегодовом) воздействии, мг/м<sup>3</sup>; прочие обозначения, как в предыдущих уравнениях;

– индекс опасности ( $HI$ ) для поражаемых органов и систем не должен превышать 3,0, если есть цель достичь уровня «приемлемый риск» (8):

$$HI_{Rfci}^k = \sum_{i \in I_{Rfci}^k} \frac{\sum_{n=1}^N q_{in} C cr_{in}^k}{Rfci} \leq R_{HI}, j = \overline{1...J}, k = \overline{1...K}; \quad (8)$$

<sup>17</sup> Определенные ограничения – исключение допустимого снижения выбросов до 0; ограничения снижения ниже определенного уровня на конкретных объектах и т.п. могут вводиться в задачу дополнительно.

– уровень канцерогенного риска  $CR^k$  не должен превышать  $10^{-4}$  (9):

$$CR^k = \sum_{i=1}^I SF_i q_{in} C cr_i^k \leq R_{cr}, k = \overline{1...K}. \quad (9)$$

Получаемые при решении задачи результаты должны рассматриваться как инструмент оценки целесообразности и достаточности планов сокращения выбросов того или иного вещества на том или ином объекте с позиций потенциального снижения рисков для здоровья населения и разработки рекомендаций по внесению коррективов в планы мероприятий как хозяйствующих субъектов, так и органов местного самоуправления.

Пример решения задачи по обоснованию направлений мероприятий по минимизации риска здоровью, связанного с загрязнением воздуха города соединениями марганца, приведен в табл. 4.

Выбросы марганца в городе декларируют порядка 240 объектов. Общая масса – 1,7563 т/г. Неприемлемый уровень хронического неканцерогенного риска возникновения болезней нервной системы формируется в 32 расчетных точках на жилой территории. Диапазон неприемлемого риска – от 3,1 до 6,15  $HI$ .

Вклад в 95 % неприемлемого риска вносят 14 хозяйствующих субъектов. Требуемое снижение – до 3,0  $HI$  во всех точках неприемлемого риска.

Обоснование направлений регулирующих действий по достижению допустимого уровня риска болезней нервной системы при воздействии выбросов марганца и его соединений

Хозяйствующий субъект	Суммарный выброс, т/г.	Вклад в суммарный выброс, доли	Вклад в хронический риск для здоровья (поражение нервной системы)	Рекомендуемый целевой выброс, т/г., обеспечивающий приемлемый риск	Рекомендуемое сокращение, доля от стартового выброса
Предприятие 1	0,640	0,364	0,567	<b>0,353</b>	<b>0,551</b>
Предприятие 2	0,152	0,086	0,019	0,152	0,000
Предприятие 3	0,140	0,080	0,015	0,140	0,000
Предприятие 4	0,117	0,067	0,077	0,117	0,000
Предприятие 5	0,104	0,059	0,116	<b>0,010</b>	<b>0,096</b>
Предприятие 6	0,058	0,033	0,063	<b>0,003</b>	<b>0,052</b>
Предприятие 7	0,049	0,028	0,012	0,049	0,000
Предприятие 8	0,045	0,026	0,004	0,045	0,000
Предприятие 9	0,041	0,023	<0,01	0,041	0,000
Предприятие 10	0,037	0,021	0,015	0,037	0,000
Предприятие 11	0,037	0,019	<0,01	0,037	0,000
Предприятие 12	0,029	0,016	<0,01	0,029	0,000
Предприятие 13	0,027	0,015	0,019	0,027	0,000
Предприятие 14	0,026	0,015	<0,01	0,026	0,000

Решение задачи свидетельствует, что разработка и контроль выполнения мероприятий по снижению выбросов марганца целесообразны на предприятиях 1, 5 и 6. Основное внимание должно быть уделено мероприятиям на предприятии 1. Сокращение выбросов на иных объектах может не привести к достижению приемлемого риска для здоровья.

Критерии оптимизации могут быть иными – в зависимости от поставленных целей и имеющейся исходной информации. Так, в качестве целевых функций (критерия оптимизации), кроме суммарной массы выбросов, могут быть использованы экономические показатели, например, минимальные финансовые затраты на природоохранные мероприятия. В качестве критерия оптимизации может выступать функционал, отражающий закономерности нарастания суммарных затрат на мероприятия по снижению выбросов (т/г.) на основании предположения, что последние обратно пропорциональны относительному изменению их массового расхода (10):

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \frac{M_{in}}{q_{in}} \rightarrow \min. \quad (10)$$

Включение стоимостных параметров в оптимизационную задачу может привести к несколько иным результатам в части выбора направлений действий по сокращению выбросов. Вместе с тем для лиц, принимающих решения, появляется новая информация, позволяющая скорректировать планы и программы действий.

Следует отметить, что инструментарий является универсальным. В качестве критериев безо-

пасности при решении оптимизационной задачи могут быть заданы иные критерии риска для здоровья (например, если стоит задача достижения минимального целевого уровня канцерогенного риска –  $1 \cdot 10^{-6}$  или неканцерогенного риска на уровне  $HI = 1,0$ ).

Реализация полномочий Роспотребнадзора по управлению качеством среды обитания населения, в том числе в рамках федерального проекта «Чистый воздух», имеет целью максимальную ориентацию всей природоохранной деятельности на показатели состояния здоровья населения. Представляется, что такой подход, не ограничиваясь задачами снижения выбросов отдельных хозяйствующих субъектов, может обеспечить выполнение всего комплекса стратегических задач, поставленных национальными проектами, – создание комфортной среды обитания населения, сохранение здоровья нации и увеличение продолжительности жизни граждан [11, 12].

Использование показателей риска и вреда для здоровья населения в качестве критериев управления состоянием воздушной среды в полной мере соответствует рекомендациям Всемирной организации здравоохранения [15–17] и лучшим мировым практикам [18]. Более того, такие подходы существенно усиливают социальную значимость выполняемых мероприятий и существенно повышают удовлетворенность населения деятельностью власти и бизнеса [19, 20].

Вместе с тем реализация подходов требует:

– системного межведомственного взаимодействия на этапе анализа планов и / или программ воздухоохранных мероприятий на территориях;

– повышения социальной ответственности бизнеса, поскольку достижение допустимого (приемлемого) риска для здоровья может потребовать более глубоких и эффективных мер по снижению выбросов, чем достижение предельно допустимых концентраций отдельных веществ или установленных групп суммации. Ситуация касается даже веществ, для которых долгопериодные (среднегодовые) ПДК установлены с учетом критериев риска для здоровья;

– постоянного мониторинга фактического состояния атмосферного воздуха. Последнее связано с тем, что расчетные данные далеко не всегда имеют высокую сходимость с данными инструментальных измерений [21, 22]. В ряде случаев расчетные данные могут иметь более высокие значения, чем фактически измеряемые. Тогда затраты на воздухоохраные мероприятия могут быть избыточными и экономически невыгодными. В случаях, когда расчетные приземные концентрации ниже измеряемых, квоты и сокращения выбросов могут не обеспечивать достижения безопасных уровней как по критериям ПДК, так и по критериям допустимого риска для здоровья;

– предупредительного анализа планов и / или программ природоохранных мероприятий специалистами Роспотребнадзора с целью выработки рекомендаций по совершенствованию этих планов действий с учетом критериев риска и вреда здоровью населения.

**Выводы.** Предложен принципиальный алгоритм определения перечня приоритетных загрязняющих веществ, перечня котируемых объектов и обоснования оптимальных направлений регули-

рующих воздействий по минимизации аэрогенных рисков здоровью населения, который в качестве основных этапов предполагает оценку риска здоровью по данным сводных расчетов рассеивания, определение химических веществ и объектов – источников выбросов – в недопустимый риск для здоровья и расчет рекомендуемых величин снижения приоритетных веществ на приоритетных объектах.

К приоритетным предлагается относить вещества, по которым регистрируются превышения ПДК<sub>мр</sub> и / или ПДК<sub>ср</sub> по результатам расчетов рассеивания и которые в сумме формируют не менее 95 % вклада в неприемлемый риск для здоровья в отношении критических органов или систем хотя бы в одной расчетной точке на территории.

К приоритетным объектам относятся те, которые формируют суммарно превышения гигиенических нормативов и более 95 % недопустимого риска для здоровья.

С целью обеспечения санитарной службы инструментарием, который не заменяет порядок и методику квотирования выбросов, но позволяет оценить адекватность направлений природоохранных мероприятий уровням риска для здоровья, предложен метод выбора оптимальных направлений регулирующих действий по системе гигиенических критериев, включая критерии риска для здоровья населения.

**Финансирование.** Исследование не имело финансовой поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Пуятин Д.П., Оводков М.В. Научно-методическое сопровождение федерального проекта «Чистый воздух» и эксперимента по квотированию выбросов // Охрана окружающей среды и заповедное дело. – 2022. – № 3. – С. 49–59.
2. Комарова А.В., Маклакова Е.А. Квотирование выбросов на территории Российской Федерации // Материалы Всероссийской молодежной конференции, посвященной Международному дню Земли. – Воронеж, 2022. – С. 53–59. DOI: 10.34220/IED2022\_53-59
3. Клейн С.В., Попова Е.В. Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха г. Читы – приоритетной территории федерального проекта «Чистый воздух» // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2020. – Т. 333, № 12. – С. 16–22. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-16-22
4. Методические подходы к оптимизации программ мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» (на примере города Нижнего Тагила) / В.Б. Гурвич, Д.Н. Козловских, И.А. Власов, И.В. Чистякова, С.В. Ярушин, А.С. Корнилов, Д.В. Кузьмин, О.Л. Малых [и др.] // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2020. – № 9. – С. 38–47. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-330-9-38-47
5. Риск здоровью населения Норильска при воздействии веществ, загрязняющих атмосферный воздух / И.В. Май, С.В. Клейн, С.А. Вековщина, С.Ю. Балашов, К.В. Четверкина, М.Ю. Цинкер // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 5. – С. 528–534. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-528-534
6. Определение приоритетных вредных веществ промышленных выбросов по критериям анализа риска здоровью населения / В.Г. Данилкина, В.М. Прусаков, Т.М. Филиппова, Н.В. Селиванова // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – № 3–2. – С. 21–24.
7. Бикташева Г.Х. Основные приоритетные загрязняющие вещества атмосферы городов Ишимбай, Стерлитамак, Салават // Уральский экологический вестник. – 2016. – № 2. – С. 31–35.
8. Подходы к определению приоритетных химических веществ для государственного регулирования / Х.Х. Хамидулина, Д.Н. Рабикова, Е.С. Петрова, Е.А. Гусева // Здоровье и окружающая среда: сборник материалов международной научно-практической конференции / под общ. ред. Н.П. Жуковой. – Минск, 2019. – С. 412.

9. Зайкова З.А. Определение приоритетных загрязняющих веществ атмосферного воздуха г. Иркутска // Анализ риска здоровью – 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью Rise-2020 и круглым столом по безопасности питания: Материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т. / под ред. А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. – Пермь, 2020. – Т. 1. – С. 272–276.
10. Практика применения оценки риска здоровью в федеральном проекте «Чистый воздух» в городах-участниках (Череповец, Липецк, Омск, Новокузнецк): проблемы и перспективы / С.В. Кузьмин, С.Л. Авалиани, Н.С. Додина, Т.А. Шашина, В.А. Кислицин, О.О. Сеницына // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 9. – С. 890–896. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896
11. Ревич Б.А. Национальный проект «Чистый воздух» в контексте охраны здоровья населения [Электронный ресурс] // Экологический вестник России. – URL: <http://ecovestnik.ru/index.php/2013-07-07-02-13-50/nashi-publikacii/3132-natsionalnyj-proekt-chistyj-vozdukh-v-kontekste-okhrany-zdorovya-naseleniya> (дата обращения: 01.10.2022).
12. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В. Здоровье населения как целевая функция и критерий эффективности мероприятий федерального проекта «Чистый воздух» // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 4. – С. 4–13. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.01
13. К разработке методологии нормирования воздействия антропогенных выбросов на окружающую среду / Д.Ю. Румянцев, И.Г. Грачева, Е.А. Яковлева, Е.Л. Генихович // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2016. – № 580. – С. 99–111.
14. Генихович Е.Л., Кириллова В.И. Мониторинг загрязнения воздуха как инструмент оценки эффективности нормирования выбросов и их регулирования в периоды неблагоприятных метеорологических условий // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2019. – № 593. – С. 85–98.
15. Diseases due to unhealthy environmental: as updated estimate of the global burden of diseases attributable to environmental determinants of health / J. Wolf, C. Corvalan, T. Neville, R. Bos, M. Neira // J. Public Health (Oxf.). – 2017. – Vol. 39, № 3. – P. 464–475. DOI: 10.1093/pubmed/fdw085
16. Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth. – Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, OECD, 2015. – 66 p.
17. Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. – Geneva: WHO, 2016. – 147 p.
18. Кузминых Ю.В. Международная практика квотирования выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2006. – № 6. – С. 66–70.
19. Лебедева-Несевря Н.А., Леухина А.В. Удовлетворенность населения состоянием окружающей среды как ключевой показатель нацпроекта «Экология» // Анализ риска здоровью – 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью Rise-2020 и круглым столом по безопасности питания: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т. / под ред. А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. – 2020. – Т. 2. – С. 296–300.
20. Барг А.О., Лебедева-Несевря Н.А., Корнилицына М.Д. Методические подходы к оценке субъективного восприятия риска населением при воздействии загрязнения атмосферного воздуха на здоровье // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 28–37. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.03
21. Анализ доминирующей в российской федерации методологии оценки влияния вредных выбросов на качество атмосферного воздуха / Л.Х. Бадалян, В.Н. Курдюков, А.М. Овчаренко, Ю.В. Горшкова // Устойчивое развитие горных территорий. – 2018. – Т. 10, № 2 (36). – С. 307–314. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-10-2-307-314
22. Oganyan N.G. Measurement uncertainty and corresponding risk of false decisions // J. Phys.: Conf. Ser. – 2019. – Vol. 1420. – P. 012003. DOI: 10.1088/1742-6596/1420/1/012003

*Научное обоснование приоритетных веществ, объектов квотирования и направлений действий по снижению аэрогенных рисков здоровью населения при реализации полномочий санитарной службы Российской Федерации / Н.В. Зайцева, И.В. Май, Д.А. Кирьянов, Д.В. Горяев // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 4. – С. 4–17. DOI: 10.21668/health.risk/2022.4.01*

## SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF PRIORITY CHEMICALS, OBJECTS FOR SETTING QUOTAS AND TRENDS IN MITIGATING AIRBORNE PUBLIC HEALTH RISKS WITHIN ACTIVITIES PERFORMED BY THE SANITARY SERVICE OF THE RUSSIAN FEDERATION

N.V. Zaitseva<sup>1</sup>, I.V. May<sup>1</sup>, D.A. Kiryanov<sup>1</sup>, D.V. Goryaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

<sup>2</sup>Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Krasnoyarsk regional office, 21 Karatanova Str., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

*The study was conducted due to the necessity to streamline management of ambient air quality in large industrial cities in the country. The relevant tasks were set within the 'Clean Air' Federal project and the system for setting emission quotas.*

*The aim was to develop scientific-methodical approaches that would support Rospotrebnadzor in performing its functions and duties as regards management of ambient air quality, including those accomplished within the 'Clean Air' Federal project.*

*We took into account that initial data for the whole system for setting emission quotas were represented by aggregated calculation of pollutant dispersion. The study relied on input and output data provided by the 'Ekolog-Gorod' software package for calculating ambient air pollution. This software employs methods for calculating emission diffusion in ambient air that are applied as standards in Russia. Calculations were accomplished at points located within residential areas in the analyzed cities and covered not less than 20 major contributions made by emission sources to levels of each chemical at each calculation point. Airborne health risks were assessed in accordance with the valid methodical documents. We applied the following criteria for permissible (acceptable) risks: carcinogenic ones should not exceed  $1.0 \cdot 10^{-4}$ ; non-carcinogenic chronic and / or acute risks should be at a level of a hazard index for chemicals with the same effects equal to 3.0. The brunch and bound method of linear programming was applied to substantiate optimal regulatory impacts aimed at minimizing health risks by reducing emissions into ambient air.*

*We developed a fundamental algorithm for identifying a list of priority pollutants and a list of objects for setting emission quotas, as well as for substantiating optimal regulatory impacts to mitigate airborne public health risks. We suggest ranking chemicals as priority pollutants in case their registered levels are higher than the established hygienic standards and they in total account for not less 95 % of contributions to unacceptable health risks for critical organs and systems at least at one calculation point. Priority objects are those that are responsible for not less than 95 % of unacceptable health risks and violations of the established hygienic standards. The study describes a developed and tested instrument for selecting optimal regulatory impacts as per relevant hygienic indicators, including levels of public health risks.*

*The suggested approaches support the Sanitary Service in its effort to provide proper quality of ambient air. They make it possible to identify priority chemicals and objects for setting emission quotas on the unified methodical basis for any city on the country, including those listed within the 'Clean Air' Federal project as priority ones. They also allow estimating whether environmental protection activities are relevant to the essence and levels of public health risks.*

**Keywords:** health risk, emissions into ambient air, regulation, 'Clean Air' Federal project, priority substances, priority objects for setting emission quotas, airborne risks, linear programming.

### References

1. Putyatin D.P., Ovodkov M.V. Scientific and methodological support of the Federal project "Clean air" and the experiment on emission quotas. *Okhrana okruzhayushchei sredy i zapovednoe delo*, 2022, no. 3, pp. 49–59 (in Russian).
2. Komarova A.V., Maklakova E.A. Emission quotas on the territory of the Russian Federation. *Materialy Vserossiiskoi molodezhnoi konferentsii, posvyashchennoi Mezhdunarodnomu dnyu Zemli*, Voronezh, 2022, pp. 53–59. DOI: 10.34220/IED2022\_53-59 (in Russian).

© Zaitseva N.V., May I.V., Kiryanov D.A., Goryaev D.V., 2022

**Nina V. Zaitseva** – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific Director (e-mail: [znv@fcrisk.ru](mailto:znv@fcrisk.ru); tel.: +7 (342) 237-25-34; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

**Irina V. May** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Deputy Director responsible for research work (e-mail: [may@fcrisk.ru](mailto:may@fcrisk.ru); tel.: +7 (342) 237-25-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>).

**Dmitrii A. Kiryanov** – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department for Mathematical Modeling of Systems and Processes (e-mail: [kda@fcrisk.ru](mailto:kda@fcrisk.ru); tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5406-4961>).

**Dmitrii V. Goryaev** – Candidate of Medical Sciences, Head of the Administration (e-mail: [goryaev\\_dv@24.rospotreb-nadzor.ru](mailto:goryaev_dv@24.rospotreb-nadzor.ru); tel.: +7 (391) 226-89-50; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6450-4599>).

3. Kleyn S.V., Popova E.V. Hygienic assessment of ambient air quality in Chita, a priority area of the Federal Clean Air Project. *ZNiSO*, 2020, vol. 333, no. 12, pp. 16–22. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-16-22 (in Russian).
4. Gurchich V.B., Kozlovskikh D.N., Vlasov I.A., Chistyakova I.V., Yarushin S.V., Kornilkov A.S., Kuzmin D.V., Malykh O.L. [et al.]. Methodological approaches to optimizing ambient air quality monitoring programs within the framework of the Federal Clean Air Project (on the example of Nizhny Tagil). *ZNiSO*, 2020, no. 9, pp. 38–47. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-330-9-38-47 (in Russian).
5. May I.V., Kleyn S.V., Vekovshina S.A., Balashov S.Yu., Chetverkina K.V., Tsinker M.Yu. Health risk to the population in Norilsk under exposure of substances polluting ambient air. *Gigiena i sanitariya*, 2021, vol. 100, no. 5, pp. 528–534. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-528-534 (in Russian).
6. Danilkina V.G., Prusakov V.M., Filippova T.M., Selivanova N.V. Opredelenie prioritnykh vrednykh veshchestv promyshlennykh vybrosov po kriteriyam analiza riska zdorov'yu naseleniya [Determination of priority hazardous substances of industrial emissions according to the criteria of public health risk analysis]. *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii*, 2016, no. 3–2, pp. 21–24 (in Russian).
7. Biktasheva G.H. Priority pollutants of the atmosphere of cities Ishimбай, Sterlitamak, Salavat. *Ural'skii ekologicheskii vestnik*, 2016, no. 2, pp. 31–35 (in Russian).
8. Khamidulina Kh.Kh., Rabikova D.N., Petrova E.S., Guseva E.A. Podkhody k opredeleniyu prioritnykh khimicheskikh veshchestv dlya gosudarstvennogo regulirovaniya [Approaches to identifying priority chemicals for state regulation]. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda: sbornik materialov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. In: N.P. Zhukova ed. Minsk, 2019, pp. 412 (in Russian).
9. Zaikova Z.A. Opredelenie prioritnykh zagryaznyayushchikh veshchestv atmosfernogo vozdukhа g. Irkutskа [Determination of priority air pollutants in Irkutsk]. *Analiz riska zdorov'yu – 2020 sovmesno s mezhdunarodnoi vstrechei po okruzhayushchei srede i zdorov'yu Rise-2020 i kruglym stolom po bezopasnosti pitaniya: Materialy X Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem: v 2-kh tomakh*. In: A.Yu. Popova, N.V. Zaitseva eds. Perm, 2020, vol. 1, pp. 272–276 (in Russian).
10. Kuzmin S.V., Avaliani S.L., Dodina N.S., Shashina T.A., Kislytsin 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*, 2021, vol. 100, no. 9, pp. 890–896. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896 (in Russian).
11. Revich B.A. Natsional'nyi proekt «Chisty vozdukh» v kontekste okhrany zdorov'ya naseleniya [“Clean Air” National project in the context of public health protection]. *Ekologicheskii vestnik Rossii*. Available at: <http://ecovestnik.ru/index.php/2013-07-07-02-13-50/nashi-publikacii/3132-natsionalnyj-proekt-chistyj-vozdukh-v-kontekste-okhrany-zdorov'ya-naseleniya> (October 1, 2022) (in Russian).
12. Popova A.Yu., Zaitseva N.V., May I.V. Population health as a target function and criterion for assessing efficiency of activities performed within “Pure air” Federal project. *Health Risk Analysis*, 2019, no. 4, pp. 4–13. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.01.eng
13. Rumyantsev D., Gracheva I., Yakovleva E., Genikhovich E. On development of the methodology of setting the emission standards limiting the anthropogenic impact on the environment. *Trudy Glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A.I. Voeikova*, 2016, no. 580, pp. 99–111 (in Russian).
14. Genikhovich E.L., Kirillova V.I. Monitoring of the air pollution as a tool for evaluation of the effectiveness of setting the standards of pollutant emissions and their control during unfavorable meteorological conditions. *Trudy Glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A.I. Voeikova*, 2019, no. 593, pp. 85–98 (in Russian).
15. Wolf J., Corvalan C., Neville T., Bos R., Neira M. Diseases due to unhealthy environment: as updated estimate of the global burden of diseases attributable to environmental determinants of health. *J. Public Health (Oxf.)*, 2017, vol. 39, no. 3, pp. 464–475. DOI: 10.1093/pubmed/fdw085
16. Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, OECD, 2015, 66 p.
17. Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. Geneva, WHO, 2016, 147 p.
18. Kuzminykh Yu.V. Mezhdunarodnaya praktika kvotirovaniya vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv i parnikovykh gazov [International practice of quotas for emissions of pollutants and greenhouse gases]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoi vestnik*, 2006, no. 6, pp. 66–70 (in Russian).
19. Lebedeva-Nesevrya N.A., Leukhina A.V. Udovletvorenost' naseleniya sostoyaniem okruzhayushchei srede kak klyuchevoi pokazatel' natsproekta «Ekologiya» [Satisfaction of the population with the state of the environment as a key indicator of the “Ecology” National project]. *Analiz riska zdorov'yu – 2020 sovmesno s mezhdunarodnoi vstrechei po okruzhayushchei srede i zdorov'yu Rise-2020 i kruglym stolom po bezopasnosti pitaniya: materialy X Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem: v 2-kh tomakh*. In: A.Yu. Popova, N.V. Zaitseva eds. Perm, 2020, vol. 2, pp. 296–300 (in Russian).
20. Barg A.O., Lebedeva-Nesevrya N.A., Kornilitsyna M.D. Methodical approaches to assessing subjective health risk perception by population under exposure to ambient air pollution. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 28–37. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.03.eng
21. Badalian L.Kh., Kurdyukov V.N., Ovcharenko A.M., Gorshkova Y.V. Analysis of standards and methodology for assessing impact of emissions on the atmospheric air quality prevailing in Russian Federation. *Ustoichivoe razvitie gornykh territorii*, 2018, vol. 10, no. 2 (36), pp. 307–314. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-10-2-307-314 (in Russian).
22. Oganyan N.G. Measurement uncertainty and corresponding risk of false decisions. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2019, vol. 1420, pp. 012003. DOI: 10.1088/1742-6596/1420/1/012003

Zaitseva N.V., May I.V., Kiryanov D.A., Goryaev D.V. Scientific substantiation of priority chemicals, objects for setting quotas and trends in mitigating airborne public health risks within activities performed by the sanitary service of the Russian Federation. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 4, pp. 4–17. DOI: 10.21668/health.risk/2022.4.01.eng

Получена: 03.10.2022

Одобрена: 13.12.2022

Принята к публикации: 22.12.2022